

중학생의 힘의 개념변화 사례 연구: 개념생태적 접근

박지은 · 이선경^{1,*}

한국교육개발원 · ¹서울대학교

A Case Study of Middle School Students' Conceptual Change on the Concept of Force: Conceptual Ecological Approach

Park, Ji-Eun · Lee, Sun-Kyung^{1,*}

Korean Educational Development Institute · ¹Seoul National University

Abstract: This study explored the types of conceptual change of 'force' within middle school students' conceptual ecologies. This qualitative study was implemented with the use of classroom observations and two interviews with the participants. 11 middle school students (7 females and 4 males) joined in this study. The interviews with the participants were conducted individually before and after the 'force' unit. The collected data were all transcribed and analyzed interpretively. The results of this study consisted of two parts. First, the participants' conceptual ecologies of 'force' were categorized into 4: epistemological commitments (fixed or interactional explanatory consistency), analogy (attribute, working), metaphysical beliefs (people-oriented ontology, animism, causationism, mixed), and past experiences. Second, two representative cases including 'stable' and 'transitional' states were explained based on the interactions within their own conceptual ecologies. We can see students' conceptions with the integrated perspective in the sense that this results tried to get contextual and interactional understandings of the status of the conception and the possibilities of conceptual change. In addition, it implied that conceptual change research should have the perspective of conceptual ecology evolution in the future.

Key words: conceptual change, conceptual ecology, the status of a conception, force, case study

I. 서론

우리는 무언가를 끊임없이 배워나간다. 우리는 학령기 이후 많은 것을 알게 되고 지적으로 성장해 간다. 이 말은 학생들이 자신이 가진 개념을 능동적으로 변화시켜 나간다는 것을 의미한다. 반면, 끊임없이 배워나가는 과정에서 우리는 때로 무언가를 배우는데 저항한다. 우리는 학령기 이후 많은 것을 교사에게서 듣고 배우지만 일부만을 이해하고 자신의 것으로 만든다. 이 말은 학생들이 과학적 개념과 다르게 알고 있는 자신의 개념을 쉽게 변화하지 않으려 한다는 것을 의미한다. 과학교육 연구는 후자에 집중하여 학생들의 개념의 본질을 이해하기 위해 노력하였다. 유의미한 교수활동(teaching)은 학생들이 무언가를 끊임없이 배워나가는 과정에서 과학 개념과 다르게 알고 있는 것은 무엇이며 왜 변화하려 하지 않는가를 이해하는 것에서부터

출발해야 하기 때문이다.

1970년대 말 이후 학생들의 과학개념에 관해 활발하게 이루어진 과학교육 연구는 과학학습에 대하여 두 가지 중요한 결과를 제공하였다. 첫째, 아동은 물론 성인에 이르기까지 다양한 비과학적 개념체계를 갖고 있다는 점이다(Driver & Erickson, 1983; Driver *et al.*, 1985; Hashweh, 1986; Lawson, 1986; Osborne & Freybery, 1985). 자연 현상에 대한 과학적 이해는 직관과 일치하지 않는 경우가 많으며 추상적이고 논리적인 사고를 요구하는 데 반해, 사람은 태어나면서부터 자연 현상을 접하면서 직관과 경험적 사고를 발달시켜 개념과 개념체계를 형성해가기 때문이다(Coll & Treagust, 2003; Dole & Sinatra, 1998; Taber, 2003). 둘째, 한번 형성된 비과학적 개념은 과학 수업 후에도 지속되어 과학개념으로 변화하기 어렵다는 점이다(박지연과 이경호, 2004; Gilbert & Swift, 1985; Novak, 1987;

*교신저자: 이선경(sunlee@snu.ac.kr)

**2007.05.17(접수) 2007.07.10(1심통과) 2007.08.13(2심통과) 2007.10.22(최종통과)

Strike & Posner, 1985; Tasker & Osborne, 1985; Watts & Zylbersztajn, 1981). 학생의 비과학적 개념의 이러한 속성은 과학 학습을 어렵게 만드는 원인으로 간주되었고, 많은 연구자들은 학생 개념을 과학 개념으로 변화시키는 것을 중요한 연구 과제로 삼게 되었다.

물리학 분야에서 역학 개념은 국내·외적으로 가장 많이 연구되어 온 물리학의 기본 개념 중 하나이다(한국국원대학교, 1993; 권성기, 1997; 박종원 등, 1994; 백성혜와 조영진, 2006; Duit, 1993; Galili & Bar, 1992; Sadanand & Kess, 1990; Thijs, 1992). 역학에서 학생들이 과학개념과 다른 개념을 많이 갖고 있고 학습에서 개념상의 어려움을 겪는 것은 관성, 힘의 평형, 작용과 반작용 등이다(임정수와 권재술, 1996). 학생들이 과학개념과 다른 개념을 갖게 되는 이유로서 과학적 의미와 일상적 의미 사이의 불일치가 주요 원인이며, 이로부터 학생들은 적지 않은 혼란과 개념상의 어려움을 겪는다고 보고되었다(신우성과 김익균, 1993; 오원근과 박승재, 1995; Pfundt & Duit, 1988).

이러한 개념 연구의 전제는 효과적인 개념변화에 있으므로, 다양한 개념변화 전략이 시도되어왔다. 과학사에서 나타난 과학개념의 발달처럼 학생들의 개념을 과학사적 관점으로 구분하여 개념 변화를 피하고자 하거나(이미숙과 이길재, 2006; Justi, & Gillbert, 2000), 불일치 사례를 이용한 인지갈등 전략이 자주 적용되었다(신상우 등, 2005). 인지갈등 전략, 과학사 도입 등의 다양한 개념변화 수업 전략은 적절한 처치에 의해 학생이 기존의 개념을 포기하고 과학적 개념을 수용하도록 할 수 있다는 연구 논리에 기인한 것처럼 보인다.

그러나 이러한 인지갈등 전략이 과학개념 변화에 효과적이라는 주장에 반하여, 교사가 학생들의 개념이 부적절하다는 것을 드러내는 반대 예나 불일치 자료를 제시할 때조차도 학생들의 갖고 있는 기존 개념들이 많은 경우 변하지 않는다는 연구들이(예, 오준영, 2006; Chin & Brewer, 1998; Shepardson & Moje, 1999) 있다. 또한, 학생의 개인 개념과 학교 과학 개념은 충돌하지 않고 공존한다는 주장(박지연 등, 2006; McCaskey *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 1993)에 따르면, 그 동안의 개념변화 연구는 학생 개념의 본질을 밝혀내는 데 한계를 갖는다. 학생 개념을 과학 개념으로 바꾸려는 시도는 자칫하면 한 개념에 대하여 여러 가지 상황에 대한 각기 다른 설명 방식을 낳을 우려가 있다.

학생개념은 일상 경험에 뿌리내린 신념과 학교 학습에서 다루어진 개념들이 상호작용하며 내면화된 것이

기 때문에, 개념변화는 단순하거나 쉽지 않은 일이다. 개념변화의 중심이 되는 것은 구조적인 개념체계를 기반으로 전체적인 변화가 이루어져야 하기 때문이다. 이에, 효과적인 개념변화 교수활동을 위해서는 학생 개념의 복잡성과 변화의 어려움을 인식하고, 특정 영역 개념의 본질과 특징에 관한 심층적인 이해가 필수불가결한 사항이 된다. 개념변화모델(Conceptual Change Model)(Posner *et al.*, 1982)은 학생의 개념을 개념생태 내에서 생존하고 발달해가는 것으로 설명함으로써, 상황화된(contextualized) 개념의 위치와 설명력을 조명해준다. 개념변화모델은 학생 개념 연구가 비판받아왔던 “단순히 학생 개념을 확인하는 것을 넘어서서(move beyond the identification of misconception)”(Trundle *et al.*, 2007, p. 304) 그 개념의 위치와 존재 이유를 설명해준다.

개념변화모델에서 개념의 존재와 발달에 관해서 설명력이 큰 구인(construct)은 개념생태(conceptual ecology)이다. 개념생태는 Toulmin(1972)이 사용한 생물학적 은유로서, 과학적 개념이 생태적 지위(ecological niche)를 차지한다는 설명을 하기 위해 고안된 구인이다. 개념생태를 적용하면, 학습자의 힘 개념은 홀로 존재하는 것이 아니라 그 개념이 위치하고 있는 개념생태 내에서 다양한 요소들과 상호작용하면서 의미를 형성하고 발달해가는 것이 된다. 학생들은 나름대로 어떤 개념에 대해 의미망(semantic network), 즉 개념생태를 형성하고 있으며, 개념생태는 그 개념을 이해하고 믿고 표현하고 활용하는 체계가 된다. 또한 그 개념생태는 새 개념을 이해하는 준거로 사용되며, 그 체계는 오래되고 많이 이용할수록 견고하여 개념변화를 어렵게 만든다.

따라서 이 연구는 중학생이 갖는 힘 개념의 본질을 심층적으로 이해하기 위하여 개념변화모델을 이론적 근거로 하여 개념생태를 탐색하고자 한다. 앞서 논의했듯이, 힘 개념은 물리학의 기본 개념으로서 추상적 속성을 갖고 있어서 학생들이 직관적으로 이해하기 힘들기 때문에 일상적 의미와 과학적 의미 사이에 일관성 있는 설명체계를 만들어내기 어려운 개념이다. 힘의 일상 개념과 과학 개념은 전제에서부터 차이가 있다. 과학 개념이 물체를 밀고 잡아당기는 상호작용으로서 힘을 규정하는 것에 반해, 일상적 힘 개념은 밀고 잡아당기는 현상의 원인을 요구한다(이상하, 2004). 또한, 과학적 힘 개념은 힘을 대상으로 취급하지 않지만, 학생들은 여전히 힘을 마치 제3의 대상처럼 여기는 경우가 많다. 이와 같은 전제로부터 학생들의 힘 개념은 과학

개념과 다를 뿐 아니라, 학생의 힘 개념을 과학 개념과 어떻게 조정해야 할 것인가에 대한 심층적인 논의가 요구된다. 따라서 본 연구는 과학 교수학습을 통해 과학의 이론적 개념과 갈등하는 일상적 개념을 수정하거나 포기하는 것이 아니라, 일상적 담론(everyday discourse)과 과학적 담론(scientific discourse)의 협상을 피하기 위해 학생 개념에 관한 개념생태 변화의 중심이 되는 생태적 지위의 탐색이 필요하다고 가정한다. 즉, 생태적 지위에서 서로 다른 설명을 제공하는 학생 개념과 과학 개념의 조정(reconcile)이 이루어질 수 있기 때문이다. 이 연구는 중학생의 힘 개념생태에 대한 심층적 이해에 기여할 뿐 아니라, 경험적 데이터를 통해 개념변화 이론을 검증하고, 최종적으로는 교수학습의 유의미한 주장을 이끌어내기 위한 것이다.

구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 힘 개념에 대한 중학생의 개념생태 구성요소는 무엇인가?

둘째, 힘 개념에 대한 중학생의 개념변화 양상은 어떠한가?

II. 연구 방법

1. 연구참여자

이 연구는 서울에 소재한 K 중학교 1학년 1개 반에서 수행되었다. 연구진은 중학교 학생들의 힘 개념을 구성하는 개념생태를 조사하겠다는 연구 목표를 설정한 후, 연구를 위해 연구진의 수업 참관을 허용하고 학생들과의 면담을 적극적으로 도와줄 수 있는 과학교사와 접촉할 수 있었다. 연구 당시에, 그 과학교사는 2년 교사 경력을 지닌 젊은 여교사였고, 연구진이 참관한 과학수업에 참여한 학생들의 담임을 맡고 있었다. 그런 이유로, 수업에서 학생들은 교사와 매우 친밀한 관계를 유지하고 있었고, 대부분의 연구 참여 학생들은 모두 담임이자 과학담당인 그 교사를 좋아하고 있었다. 과학 수업은 대부분 교사의 개념 설명과 문제풀이로 이루어졌으며, 교사는 교수학습을 효과적으로 하기 위한 의도로서 교과서 이외에 유인물을 직접 만들어 학생들에게 나누어주고 수업에 활용하였다. 이 연구에 자발적으로 참여한 학생들은 모두 11명으로 여학생 7명과 남학생 4명이었다. 이 학생들은 과학 수업이 끝난 후 연구진과의 면담에 적극적으로 응하였다.

2. 자료 수집

자료 수집은 수업관찰 및 학생과의 면담으로 이루어

졌다. 연구진은 수업관찰을 통해 수업에서 학생들이 힘 개념과 관련하여 무엇을 어떻게 배우는지 파악하고자 하였다. 교사가 힘 개념을 설명하기 위해 어떤 비유를 사용하여 학생들의 이해를 돕고자 하는지 어떤 점을 강조하는지를 파악하였다. 또한, 연구 참여 학생들을 중심으로 수업 태도는 어떠한지, 교사의 질문에 어떻게(적극적 참여, 소극적 참여 등) 반응하는지를 관찰하였다.

이 연구의 주요 자료원으로 사용된 것은 질문 응답지와 연구 참여 학생들과의 면담이다. 질문 응답지에 사용한 <문항 1>은 ‘책상 위에 놓인 책’에 작용하는 힘에 관한 것(Hewson & Hennessey, 1991)이고, <문항 2>는 ‘사과나무에서 땅으로 떨어지는 사과’에 작용하는 힘에 관한 것이다(그림 1 참조). <문항 1>에서는 문제에 대한 응답을 체크하고 그 이유를 적게 하였으며, <문항 2>는 사과에 작용하는 힘을 표시하고 그 이유를 적게 하였다.

힘 단원 수업이 시작되기 전 단계에서 질문지의 <문항 1>을 통해 학생들의 사전 개념을 파악하였고, 수업 초기와 힘 단원 수업이 모두 종료된 후 2차례의 면담에서 같은 질문지의 <문항 1>과 <문항 2>를 풀게 하고 설명을 하도록 요청하였다. 각 면담은 반구조화(semi-structured)된 심층면담으로 진행되었다. 면담 과정에서, 연구자는 연구 참여 학생에게 <문항 1>의 답을 찾아 그 이유와 함께 적어보게 한 후, 그 이유를 말로 설명하도록 하였다. <문항 2>에서는 사과가 어떻게 되는지, 왜 그렇게 되는지 적어보게 하고, 말로 설명하도록 하였다. 각 문항에서 학생들의 설명이 애매하거나 구체적이지 못한 경우에는 더 자세히 설명해 달라고 요청하거나 그 학생이 사용한 용어를 풀어 설명해 보도록 요청하였다.

두 차례의 면담은 모두 동일한 문항을 사용하여 진행되었으나, 면담에 소요된 시간은 차이가 있었다. <1차면담>은 학생들의 생각과 그 생각에 영향을 준 다양한 개념생태를 파악하기 위해 연구자가 면담 학생의 설명을 듣고 이해하는 데 초점을 두었다. <1차면담> 후 학생들의 개념 이해 및 개념생태의 특징을 연구진 내부에서 논의하였고, <2차면담>에서는 1차면담 결과의 애매한 사항에 대한 구체화 과정이 이루어졌다. <2차면담>에서는 연구자의 수업 관찰을 통해 학생들이 어떤 내용을 배웠고 다루었는지 파악하고 있었으므로, 학생들에게 수업에서 배운 개념과 관련해서 설명해보도록 유도질문을 하기도 하였다. 또한, 설명 논리가 얼마나 탄탄한지 보기 위해 학생들의 설명 전체를 부정하면서 ‘만약, 전제하는 것이 사실이 아니라면 어떻게

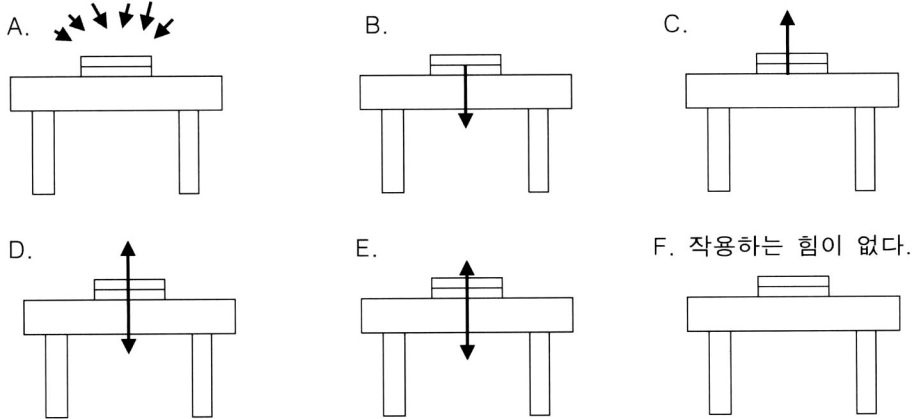
설명할 수 있는가'라고 의도적인 질문을 하기도 하였다. 면담에 걸린 시간은 1차가 45분 정도, 2차가 1시간 정도였고, 면담 내용은 녹음한 후 모두 전사하였다.

3. 자료 분석

자료 분석은 연구 진행 과정 중에도 연구진의 논의를 통해 이루어졌으며, 자료 분석이 끝난 후에는 전체적인 검토와 해석이 이루어졌다. 우선, 사전검사, 1차 면담, 2차면담에서 각 학생들의 응답이 어떻게 변화했

는지를 파악하고, 학생들이 그 문제를 해결할 때 활성화 되어 중요한 역할을 한 개념들은 무엇인지 살펴보았다. 또한, 중심 개념들을 타당화하는 개념생태의 요소를 추출하였다. 이 과정에서는 3성분 분석법(three strands analysis, '개념생태 범주': '소범주': '해당되는 면담 발췌문'의 세 가지 성분을 대응시키는 분석법) (Thorley, 1990)을 사용하였다. 자료 분석 과정에서는 각 학생의 자료에 대해 연구진 내부의 논의를 토대로, 연구원 1명이 처음부터 끝까지 각 연구 참여자별 면담

<문항 1>. 책상 위에 책이 놓여 있습니다. 다음 중에서 책에 작용하는 '힘'을 가장 잘 표현한 것을 선택해 보세요. (그림에서 화살표의 방향은 책에 작용하는 힘(들)의 방향을 나타내고, 화살표의 길이는 힘(들)의 크기를 나타냅니다.)



이유 : _____

<문항 2>. 떨어지는 사과에 작용하는 '힘'을 화살표로 그려보세요.



이유 : _____

그림 1 면담에서 사용한 질문지

전사기록물을 토대로 개념생태 요소를 추출하였다. 그 다음, 과학교육 전문가 1명이 이 결과를 전체적으로 검토한 후 연구진 내부의 논의가 이루어졌다.

다음으로, 연구 참여 학생 사례별로 개념생태(the conceptual ecology) 요소의 종합적 이해를 통해 개념의 지위(the status of a conception)를 파악하고자 하였다. 개념의 지위는 그 조건이 충족될 때 상승한다. 이때, 개념 지위의 조건과 개념생태 요소와의 관계는 표 1의 준거를 사용하였다. 즉, 은유(metaphor)나 비유(analogy)를 통해 개념을 설명하거나, 이미지(image)를 만들어 내거나, 전형적인 예(exemplar)를 작동시키면 그 개념은 설명자에게 이해가능성(intelligibility)의 조건을 충족한다고 파악하였다. 개념의 이해가능성을 토대로 하며, 더 나아가 그 개념이 개인의 세계관과 일치할 때 그럴듯함(plausibility)의 조건을 갖게 된다고 보았다. 개념이 개인의 세계관과 일치한다는 것은 그 개념이 '이미 존재하는 개념생태에 적합화'하여야 한다는 의미이다. 이미 개념생태는 세계가 어떻게 돌아가리라는 형이상학적 신념, 지식에 대한 인식론적 신념, 과거 경험으로부터 얻은 기본적인 가정들로 형성되어 있기 때문이다. 또, 새 개념이 사건의 변칙 사례를 해결하고, 과거 경험을 설명하며, 특정 사례를 포함한 일반적 현상에 적용 가능하면 유용성(fruitfulness)의 조건을 충족하게 된다. 새 개념의 이해가능성, 그럴듯함, 혹은 유용성과 더불어 발생하는 기존 개념의 불만족(dissatisfaction)은 기존 개념이 학습자의 개념 생태에 맞지 않을 때 나타난다. 예를 들어, 기존 개념이 학습자의 형이상학적 신념에 맞지 않거나 과거 경험을 해석할 수 없거나 변칙 사례에 직면하여 해결이 불가능할 때 불만족의 원인이 된다.

개념 변화 연구에서 학습자의 개념 생태는 많은 요소들이 밝혀져 있다. 특히 은유나 비유, 형이상학적 신념, 인식론적 확산근거, 변칙 사례, 과거 경험, 다른 영역에서의 개념이 중요한 역할을 하는 것으로 강조되었다(Beeth, 1993; Hewson, 1985; Hewson et al., 1999; Park, 1995; Posner et al., 1982; Strike & Posner, 1985; Thorley, 1990). 여러 연구들이 목표 개념에 대한 학생들의 개념생태를 탐색하고 조사하는 데 초점을 두어 왔으며, 그 결과 연구 목적과 개념, 그리고 조사 방법에 따라 개념생태들의 요소들은 다르게 나타났다(송헌미와 정완호, 2001). 따라서 일반적인 개념생태 요소를 분석적으로 조사하는 것보다는 목표 개념의 안정성 혹은 과도기 상태의 개념생태를 구성하는 주요 요소들과 그 요소들의 상호작용을 탐구하는 것이 학생

표 1

개념의 지위를 충족하는 조건과 개념생태 요소의 관계 (Beeth, 1993; Hewson & Hewson, 1984; Strike & Posner, 1985)

개념 생태의 구성요소	개념의 지위를 충족하는 조건			
	불만족	이해 가능성	그럴듯함	유용성
변칙 사례	○		○	○
비유, 은유		○	○	
예, 이미지		○	○	
인식론적 확산근거 (일관성, 일반화)	○		○	
형이상학적 신념, 개념	○		○	
과거 경험	○		○	○
기타 지식	○		○	○

들의 개념을 깊이 이해하고 개념변화의 징후를 읽어내는 데 의미있는 일이다. 우리는 이 연구에서 개념생태의 주창자들이 강조한 요소들을 중요하게 고려하였고 (표 1 참조), 그 중에서도 개념생태의 상호작용으로 개념의 안정성 혹은 과도기 상태에 중요한 영향을 주는 것으로서 Hewson(1985)이 강조한 인식론적 확산근거와 형이상학적 신념을 중요하게 다루었다.

위의 준거를 토대로, 각 사례별 개념 생태를 탐색하고 개념 생태를 토대로 지위를 파악하였으며, 1차면담과 2차면담 사이에 개념의 지위가 변화하였는지를 살펴보았다.

마지막으로, 사례 대 사례 비교 분석을 통하여, 각 연구 참여자의 개념변화 양상과 개념생태의 특징을 비교하였다. <문항 1>과 <문항 2>에서 일관성 있는 추리과정을 보이는 사례들은 무엇이며, 그 사례의 개념생태 특징이 어떻게 다른지 살펴보았다. 이와 같은 자료 분석을 토대로, 힘에 관한 연구 참여 학생들의 개념생태는 어떤 요소와 특징을 갖는지 기술하고, 개념변화 과정에서 개념생태 특징이 뚜렷하게 부각되는 2명의 사례 연구를 제시하고자 하였다. 자료해석의 타당도를 높이기 위하여 가능한 한 개념생태 요소가 분명히 드러나는 것을 추출하였고, 분석 과정에서 연구진이 자료를 검토하고 수정하고 논의하는 과정을 순환적으로 수행하였다.

III. 연구 결과

1. 힘 개념을 구성하는 개념생태 요소

연구 참여 학생들의 힘 개념을 구성하는 개념생태는 인식론적 확산근거(설명 일관성), 비유, 형이상학적 신

표 2

연구 참여 학생들의 개념생태 구성요소

개념 생태 요소	특징	내용	연구참여자
인식론적 확신근거 (설명일관성)*	일방향 작용 설명	힘을 한쪽 방향으로 설명	학생 2, 5, 6, 10
	상호작용적 작용 설명**	힘을 상호작용적 관점을 적용하여 설명	학생 3, 7, 8, 9
	기타(해당 범주 없음)***	설명에 일관성을 보이지 않음	학생 1, 4, 11
비유	힘의 속성	슈퍼마켓/스티로폼/절봉	학생 1, 9, 6
	힘의 작용	줄다리기/시소	학생 8, 7
형이상학적 신념 (개념)	인간(지구)중심 존재론	자연 현상이 인간을 위해 존재	학생 2, 7
	물활론	물질이나 추상적 개념에 생명 부여	학생 1, 4, 5
	인과적 추론	자연 현상이나 개념에 대하여 원인에 따른 결과 추리	학생 9
	혼합형	상황 맥락에 따라 다양한 유형의 신념이 표현	학생 3, 6
과거경험	개념이해 경험	대중매체의 시청	학생 8
		교사의 설명	학생 9
	개념정교화**** 경험	문제 풀이	학생 2
		과학 관련 책, 참고서를 통한 독서	학생 1

*설명 일관성: 과학적인 설명의 일관성이라기보다는 학생들의 개념(conception) 내에서 한계를 갖고 일관적으로 설명하는 것을 뜻함.

**상호작용적 설명 관점: 두 물체 사이에 작용하는 힘의 상호작용뿐만 아니라 한 물체에 작용하는 여러 가지 힘의 작용을 고려하여 설명하는 관점을 포함함.

***기타(해당 범주 없음): 힘의 작용을 설명할 때, 한쪽방향 혹은 상호작용적 관점의 일관성을 보이지 않음

****개념정교화 경험: 과거경험을 통해 개념생태의 요소인 일부 개념을 정교화한 경우를 포함함.

념(개념), 과거 경험의 네 범주로 분류할 수 있었다. 표 2와 같이, 각 개념생태 요소는 몇 가지 다른 특징들로 나누어 살펴볼 수 있었다. 예를 들어, 인식론적 확신근거에 해당하는 설명일관성은 힘을 한쪽 방향으로만 설명하는 ‘일방향 설명’과 힘이 작용하는 방향과 더불어 반대 방향도 고려하는 ‘상호작용적 설명’의 특징을 갖는 것으로 나타났다. <학생 2, 5, 6, 10>은 힘에 관해서 ‘일방향 설명’을 하였으며, 반면 <학생 3, 7, 8, 9>는 ‘상호작용적 설명’을 추구하였다.

구체적으로 각 개념생태 요소별 특징과 그 특징을 나타내는 학생들의 추리 내용에 대해 살펴보도록 하겠다.

1) 설명일관성

학생들은 문제 상황을 설명하고 해결하는 과정에서 두 가지 유형의 설명일관성을 보여주었다. 여기에서 설명일관성은 논리적이고 과학적인 설명일관성이라기 보다는 학생들의 개념 내에서 한계를 갖고 일관적으로 설명하는 것을 의미한다. ‘일방향 설명’ 유형은 정지하고 있는 물체에 대하여 한쪽 방향으로만 힘의 작용을 고려하여 문제 상황을 해결하려고 하거나, 두 물체 사이에 힘이 일방적으로 작용한다고 설명하는 경우이다. 반면, ‘상호작용적 설명’ 유형은 정지하고 있는 물체에

대하여 상호작용적으로 힘의 작용을 고려하여 문제 상황을 설명하거나 또는 두 물체 사이에 힘이 서로에게 작용하는 것으로 설명하는 경우이다.

• 유형 1. 일방향 작용 설명

이 설명을 추구하는 학생들은 모두 <문항 1>의 ‘책상 위의 책’에 작용하는 힘에 대하여 설명할 때, ‘아래에서 당기는 힘’만을 고려한다. 이 학생들의 힘에 대한 사고에는 중력이 강하게 자리하고 있다. 이 유형에 속한 대부분의 학생들이 ‘책상위의 책’에 작용하는 힘에 대한 설명으로서 “지구 중심에서 책을 당기므로 힘이 아래로 향해야 한다” 또는 “중력 때문에”라고 질문지에 서술하였다. ‘책상위의 책’에 작용하는 힘에 대하여 중력만을 고려하는 설명은 <문항 2>의 ‘나무에서 떨어지는 사과’에 작용하는 힘에 대해서도 일관적으로 중력만을 고려하였다. 학생들은 이러한 생각이 과학적이라고 확신하고 있었다. 즉, 지구 위의 물체에 중력이 작용한다는 설명에 대한 확고한 신념을 토대로, 이 학생들은 ‘책상 위의 책’과 ‘나무에서 떨어지는 사과’에 작용하는 힘을 설명할 때 아래로 향하는 힘만을 고려하고 있다고 해석된다. 이 유형을 보여주는 면담 진술 문은 다음과 같다.

[‘책상위의 책’ 질문에서 제시된 응답 유형 A에 대하여] “이게 아래로 떨어지지 않는 게 아니에[에]요. 아래로 떨어지지 누르는 게 아니에[에]요...[응답 유형 C에 대하여] C는 중력이 작용하지 않아요. 중력은 위로 가지 않으니까... 중력이 작용한 다니까요. 위로 힘은 없죠.” (학생5, 2차면담)

여기서 가운데... 지구에서 끌어당기잖아요. 가운데서요. 사과도 가운데로 떨어져요... 중력이요. 아래로 잡아당기니까... 위로는 안가니까... 또 힘이 있으니까.. 이것도 아니고, 이것도 아니고... 중력은 아래로만... [응답유형 D나 E에 대하여] 이것은 책상 빼면 공중에 떠 있으니까... “여기가 책상이 있어서요 책상을 빼면 책이 아래로 떨어지잖아요. 그러니까 책상을 빼면 책이 떨어지니까 아래로 중력이 작용해요. 그래서 B를 택했어요. A는 아까 말했듯이 중력은 지구 가운데에서 끌어당긴다고 했잖아요. 근데 위에서 누르고 있잖아요. 그래서 그건 아니죠... D는 위, 아래는 동시에 할 수 없어요. 둘 중에 하나만 봐야 되요.” (학생6, 1차면담)

“중력은요. 물체가 아래로 떨어지는 게 있잖아요. 사람도 [땅에] 붙어 다니잖아요. 애도 중력이 있고, 애도 중력이 있을 것 아니에[에]요. 아래로 힘을 가하면요. 이렇게 땅이라 하면, 힘이 가하잖아요. 책도 힘이 가하려면 붙어있어야 해요. 이게 땅이라 그러면요. 사람이 땅위에서 걸을 수 있는 것도 위에서 사람이 중력 때문에 걸을 수 있잖아요. 그래서 모든 물체가 중력 때문이에요. 땅에 있다고 생각해서요. 애도 중력 때문에 땅에 있고, 저는 위로..힘이 위로 되어있다고는 생각 안하는 데.. 저는 그런 것 같아요.” (학생2, 2차면담)

• 유형 2. 상호작용적 작용 설명

힘에 대한 상호작용적 작용의 설명 일관성은 두 물체 사이에 작용하는 힘의 설명과 한 물체의 평형 상태에 작용하는 힘의 설명에서 나타난다. 힘의 작용에 대해 상호작용적 관점을 갖고 일관성 있게 설명하려는 학생들은 개념변화의 경험을 좀 더 하기 쉬운 것으로 나타났다. 힘의 일방향 관점의 설명을 추구하는 학생들은 ‘책상위의 책’에 작용하는 힘으로서 중력 이외의 다른 힘을 고려하지 못해 개념의 경직성을 보인다. 이와 달리, 상호작용적 관점을 갖고 힘의 작용에 대해 설명을 추구하는 학생들은 개념의 유연성을 보여준다. 이 학생들은 개념 변화의 과도기상태(transition)에 있거나 과학적 사고에 가까운 것으로 나타났다. 학생3, 학생7, 학생8, 학생9는 이 설명 유형을 보이며, ‘책상 위의 책’과 ‘나뭇가지에서 떨어지는 사과’(면담 중에 사과가 떨어지기 전 나뭇가지에 달려있을 때 작용하는 힘에 대해 설명을 요청했다)에 작용하는 힘을 바라보는 관점에 일관성을 보인다. 이 학생들의 면담 진술문을 살펴보면 다음과 같다.

“중력이 밑으로 가는 힘이구요. 확실표가 큰 거는요. 어...책하고 책상하고 잡아당기는 힘이구요. 위로 있는 힘은요. 책상이 책한테 미치는 힘이에요” (학생3, 2차면담)

“예..저는요..위쪽으로 방향을 한 건요..이 물체[책]을 받치고 있는 힘이라고 했구요. 그렇게 생각했구요. 이게[아래로 향하는 힘]은 중력이라고 생각했거든요..그래서 어..물체를 받치고 있는.. 이게 물체라면요..중력이 아래로 작용하고 있는데요..물체를 받치고 있기 때문에 물체가 떨어지지 않는다...”(학생9, 1차면담)

“다른...이렇게 지구가 여기에 있다면은 지구가 책상과 책을 끌어당기는 힘도 있을 수 있겠고, 책상이 책을 받치는 힘도 있겠고...”(학생8, 2차면담)

“이건[B] 이쪽[아래]으로만 작용하잖아요...이쪽으로만 작용하면요..이게 떠받치는 힘이 없다는 얘기잖아요. 중력만 있다는 거잖아요... 그레가지구요. 만약에 이것[D]처럼 떠받치는 힘하고 중력하고 똑같이 작용 한다면은요..이게 무중력처럼 막 떠다니는게 아니구요. 책상에서 약간 떠 있을 것 같아요. 근데 이걸[E] 중력도 작용하고 떠받치는 힘도 작용하는데요. 이것은 왜 책상이 안부러지냐면요.. 이게 중력이 작용하는 것보다 조금 중력이 버틸 수 있는 떠받치는 힘이 있는 것 같아요.” (학생7, 2차면담)

“이렇게 사과가요. 이쪽으로 작용을 하면요. 이것도 책상처럼 이렇게 떨어지는게 있나? 여기 가지에도 무슨 힘이 있을 것 같아요..이렇게 만약에 이 크기랑 이 크기랑 똑같다면요. 이렇게 탁 멈출수도 있잖아요..안 떨어지고..이 가지가 이렇게 안 떨어지게 해 줄 수 있는 힘이 있으니까..잡아주는 힘이 있으니까...”(학생7, 2차면담)

2) 비유

학생들은 개념을 이해하거나 그럴듯한 것으로 여기기 위해 비유를 스스로 창출하기도 하고 기존의 비유를 자신의 것으로 만들기도 한다. 비유는 학생들이 새로운 개념을 이해하기 위해 필요하거나, 또는 기존 개념을 유지시켜 주는 역할을 한다. 면담에서 학생들은 문제 상황에서 설명의 일관성을 만족하지 못할 때나 자신의 기존 논리를 강화하기 위해서 비유를 들어 사고하였다. 학생들이 창출한 비유는 자신들의 개념을 설명하는 데 자연스럽게 비유적으로 사고하여 그들의 개념을 정당화시켰다. 하지만 보이지 않은 힘의 추상적인 개념을 과학적이고 체계적인 사고의 비유추론으로서 현상에 대해 통찰하는 것이 쉽지 않았으며, 따라서 소수의 학생이 비유를 들어 자신의 설명에 타당성을 부여하려는 시도를 하였다. 이 연구에서 힘 개념을 설명하기 위해 학생들이 사용한 비유의 속성은 두 가지 유형이었다. 하나는 힘의 속성을 설명하기 위해 사용된 비유였으며, 다른 하나는 힘의 작용에 관한 것이었다. 학생들이 사용한 비유를 구체적으로 제시하면 다음과 같다.

• 유형 1. 힘의 속성을 나타내는 비유

힘의 속성에 대한 비유는 중력을 설명할 때 주로 표

현되었다. 학생1은 중력의 속성을 ‘사람이 사람을 끄는 힘’에 비유한다. 학생1은 지구 위의 모든 물체가 중력에 의해 자동적으로 이끌리는 현상을 “주위에 사람들을 자기 주위로 물리케 하는 거요. 그니까, 그 사람들 이랑 친하게 되면... 만약 내가 선생님을 따라가게 되면, 선생님이 이끄는 지도력 같은 게 있으니까 이끌려 가는 거죠”라고 설명한다. 또한 물건들을 진열해 놓은 슈퍼마켓을 중력과 비슷한 구실을 하고 있다고 이해한다. “중력하고 비슷한 힘은 슈퍼요... 다르지만 그렇게 잡아당기는 그 힘이라기보다도 그 구실은 비슷한 거 같아요. 자기가 태어나면서 가지고 있는 힘.” 학생1의 중력에 관한 비유적 사고는 사람과 사람이 이끌리는 마음상태를 설명하였고, 물건들이 슈퍼마켓에 있는 것과 유사하다고 설명한다.

학생9는 중력이 물체의 크기와 연관된 힘이 아니라 무게와 연관된 힘이라는 것을 스티로폼을 비유로 들어 설명한다. “중력하고 힘은 상관있을 것 같고요. 크기개와 상관있지 않을 거 같아요. 물체의 크기. 왜냐하면 아무리 큰 스티로폼이 있다고 생각해봐요... 아무리 물체가 커도요 그 무게의... 무게는 가벼울 수도 있고 무거울 수도 있잖아요 [힘 혹은 중력은] 크기와는 상관없는 거 같아요.”

학생6은 사과가 나무가지에서 떨어질 때 작용하는 힘을 설명하면서, 일상생활의 경험으로부터 비유를 생성해내어 자신의 설명을 뒷받침한다. 즉, 아이가 철봉에 매달려 있다가 힘이 들면 떨어지는 상황을 사과가 떨어지는 현상으로 대응시키는 것이다. “[사과가] 힘이 점점 떨어져 떨어지지 않아요 중력이 세지는게 아니라, 이게 여기서 점점 힘이 빠져요 철봉 할 때도 힘이 빠지면 언젠가는 내려오잖아요” 이 비유를 통해, 학생6은 사과에 본질적으로 힘이 존재하며 시간이 지나면 힘이 줄어서 땅으로 떨어지게 된다고 이해하고 있었다.

• 유형 2. 힘의 작용을 나타내는 비유

이 비유는 힘의 작용에 관한 현상을 설명할 때 나타났다. 학생8의 경우, 줄다리기를 비유로 사용하여 힘의 평형과 무중력 상태가 같음을 설명하였다. 학생8은 <문항1>의 ‘책상위의 책’에 대한 응답으로 중력(B)만을 고려했고, D가 힘이 없는 무중력을 나타내기 때문에 답이 아니라고 주장했다. 즉, 같은 크기의 힘이 반대방향으로 작용할 때 힘은 상쇄되어 무중력 상태(D)가 된다고 예상하면서, 무중력 상태에 대한 자신의 논리를 뒷받침하기 위해 ‘줄다리기’ 비유를 든 것이다. 이는 힘의 작용점(줄다리기를 줄의 중앙점), 크기(줄의

길이와 사람수), 방향을 나타내는 화살표의 의미를 포함한 줄다리기를 상황을 창출한 것이다. 줄다리기를 할 때, “똑같이 잡아당기면요 줄은 어느 쪽으로도 움직이지 않잖아요”라며, 양쪽의 힘이 똑같은 경우를 생각한 것이다. 학생8은 줄다리기에 비유하여 무중력 상태를 힘의 평형과 일치시킴으로서 응답 유형 D가 되면 물체는 힘이 없는 무중력 상태이므로 등등 떠다니게 된다고 설명한다. 즉, 학생8에게 있어서 줄다리기를 상황은 힘의 평형으로서 무중력 상태를 설명하기 위한 적절한 비유로 사용된다. 학생8이 제시한 무중력 상태를 설명하기 위한 줄다리기를 비유는 과학적 설명과 일치하지 않는 것이지만, 스스로 아무런 갈등을 느끼지 않고 자신이 제시한 비유에 만족스러워 한다.

학생7은 책상 위에 놓인 책에 작용하는 힘이 E의 형태로 나타난다고 생각하며 그 이유에 대해 시소에 비유하여 설명한다. 두 사람이 시소를 타면 ‘시소는 무거운 사람 쪽으로 기울어지는 것처럼 책상 위의 책에 작용하는 힘도 아래쪽 방향이 더 커야 한다’는 것이다. “시소 같은 거 탈 때 무거운 사람 있으면 그쪽으로 기울어지는 것처럼, 이것도 힘이 큰 쪽으로 가잖아요 책이 이렇게 안 떠 있고...” 다시 말해, 더 무거운 사람은 시소의 아래쪽으로 기울어져 안정감 있게 의자에 앉아 있지만 가벼운 사람은 위쪽에 붕 뜨게 되듯이, ‘책상 위의 책에 작용하는 힘’도 아래 방향으로 작용하는 힘이 위 방향으로 작용하는 힘보다 조금 더 커야(E) 책이 책상위에 안정감 없이 붙어 있다는 논리이다. 학생7은 책과 책상에 작용하는 힘의 작용을 시소에 무거운 사람과 가벼운 사람이 앉아있는 상황에 대응시켜 설명하였다.

3) 형이상학적 신념

앞의 비유를 다루면서, 구체적으로 논의되지는 않았지만 학생들의 비유가 상당히 형이상학적 신념의 특징을 내포하고 있음을 엿볼 수 있다. 형이상학적 신념은 세계의 속성이나 우주의 본성에 대한 가장 기본적인 신념으로서, 어떤 상황이든지 변하기 어렵다. 어떤 과학 개념은 때로 형이상학적 성질을 가지고 있어 우주의 긍정적인 본성에 관한 신념으로 보이며, 이런 경우 과학 개념은 직접적인 실험 반증에도 면역되어 있다 (Posner et al., 1982).

연구 참여 학생들의 힘 개념에 내포되어 있는 형이상학적 신념 특징은 대체로 세 가지로 구분되며, 두 가지 이상의 유형이 혼재되어 있는 혼합형으로 살펴볼 수 있었다. 첫째는 물리학적 현상이나 작용이 인간을

위해 존재한다는 ‘인간(지구)중심 존재론’적 특징이고, 둘째는 물질이나 추상적 개념에 생명을 부여하는 ‘물활론’적 특징이며, 셋째는 자연현상에 대하여 원인에 따른 결과를 추리하는 ‘인과론’적 특징이다. 넷째는 한 학생이 상황에 따라 다른 형이상학적 신념을 보여주는 경우이다.

• 유형 1: 인간(지구)중심 존재론

특정 학생은 힘, 특히 중력이 작용하는 이유에 대하여 설명할 때, 인간 존재를 위해 작용한다는 것을 자연스럽게 당연하게 신념으로 표현하였다. 학생7은 “중력은 인간이 살기 위해서 존재”하며, 인간이 생존하는 지구에 작용하는 절대적인 힘이라고 생각한다. 이 학생들은 지구보다 더 무거운 물체라 하더라도, “지구의 중력 때문에 그 [지구보다 더 크고 무거운] 물체는 지구 쪽으로 떨어질 것”이라고 예상한다. 이 설명에는 우주의 중심이 지구이고, 지구의 중력은 물체의 어떤 성질이나 크기와 관계없이 그 물체를 지구 쪽으로 당기는 힘이라는 신념을 내포하고 있다.

• 유형 2. 물활론

학생들은 무생물이나 힘이 작용하는 대상에 생명을 부여하여 힘의 작용 현상을 설명하려는 경향을 나타내기도 한다. 물활론은 모든 물질은 그 자체로 또는 세상의 다른 영혼들과의 관계에서 생명력을 갖는다는 신념이다. 자연 현상에서 나타나는 힘의 작용에 대해 물활론적으로 설명하려는 경향은 다양하게 표현된다. 이와 같은 학생들의 힘에 대한 물활론적 설명 경향은 “힘은 살아있는 생물이 가질 수 있는 물질 범주가 아닌 통제된 상호작용의 범주에 속하는 존재론적 신념”(박지연 등, 2006) 형성을 어렵게 만드는 역할을 하고 있다.

학생1은 사과가 떨어지는 현상은 지구중심에서 잡아당겨서 떨어지는 데 사과가 땅 표면에서 멈추는 것은 “사과가 더 이상 땅 속으로 들어가지 않으려고 하기 때문”이라고 설명한다. 이처럼 학생1은 사과를 행동의 주체로 고려한다. 또한 학생1은 행성에 작용하는 중력을 그 행성이 처음 생성되었을 때 가지고 있는 고유의 힘으로 그 행성의 본성이라고 설명한다. “행성이 나타나게 되면서요 딱 자기가 태어난 순간부터 자기가 가지는 힘 이에요. 본성.”

학생5는 “생명체만이 힘을 갖는 것”이라고 표현했는데, 학생5의 힘의 개념을 구성하는 것은 일상적 힘에 대한 생각이다. “힘 하면. 눈을 감는데도 힘이 들어가요. 솔직히 말해서, 힘이 들어가는 건. 근육이죠. 움직

일 수 있는 원동력..[중략].. 살아있는 것만 힘이 있는 거 아니에요[에]요? 살아있는 것 모든 것들이 활동하는 게 힘이죠.”

• 유형 3. 인과적 추론

두 가지 이상의 과정, 사건, 변인들 간에 어떤 현상이 다른 현상을 일으키는 원인이 되는 관계에 대한 설명은 과학적 추리의 기본이 되며, 이를 인과적 추론라고 한다. 인과적 추리는 사건(event)으로 사건을 설명하는 일상적이고 서사적인 인식에서 이탈하여, 상황을 판단하고 그 상황에 대한 적절한 이유와 근거를 통해 결과를 이끌어내려는 노력이다. 인과적 추론은 결과가 옳은지 그른지에 관계없이 사고 과정이 원인과 결과의 순서에 의하여 이루어진다.

연구 참여자들 중에서 제시된 문제 상황이나 연구자의 질문에 대하여 일관성 있게 인과적 추리를 하는 학생은 학생9를 제외하고 찾아보기 힘들었다. 학생9는 중력을 “지구가 잡아당기는 힘”이라고 정의하고, 책이 책상 위에 놓여 있는 상황과 사과가 땅에 떨어져 있는 상황에 작용하는 힘을 책(사과)을 아래로 잡아당기는 힘인 중력과 책(사과)을 받쳐주는 힘이 있기 때문이라고 설명하였고(1차면담), 2차면담에서는 평형이라는 개념을 사용하여 설명하였다.

“중력...하나는 중력이 작용하는 데, 모든 물체는, 사람도 중력이 작용하는 거 같아요. 단지 받쳐주는 힘 두 가지...사과는 공중에 떠있고 받쳐주는 힘이 없다. 받쳐주는 힘이 없기 때문에 아래로 떨어져요...나무는 땅속에 있잖아요...땅이 받쳐줘요... 그래서 힘은 두 가지.. 책상위에 책하고 지구위의 나무는 같다고 생각해요...여기[책상위의 책]도 중력하고 받쳐주는 힘이 있잖아요.” (학생9, 1차면담)

“이게 책상이요. 책상이 있으면, 그 위에 책이 있잖아요. 그러면 어떤 한쪽이 힘을 많이 작용했을 때는요. 움직이겠는데요. 이걸 그냥 안 움직이고 있잖아요. 그러니까 서로 힘이 평행하고 같아서요. 위에서 작용하는 힘이나 아래서 작용하는 힘이랑 같아서요. 평형을 이루는 것 같아요.” (학생9, 2차면담)

발췌문에서 볼 수 있듯이, 위의 설명에는 힘을 인간 존재를 위해 존재하는 속성으로 파악(인간중심 존재론)하거나 살아있는 생물이 가질 수 있는 물질 범주로 인식(물활론)하는 목적론적 신념이 나타나지 않는다. 그 보다는 과학철학사에서 볼 수 있듯이 목적론적 신념에서 물활론이나 생기론 등을 제거한 사고가 인과적 추론을 생성한다고 간주할 때(von Wright, 1971), 학생9의 설명은 인과적 추리에 대한 신념이 작용한다고 파악된다. 즉, 힘이 작용(원인)하여 현상(움직이거나 움직

이지 않음)의 설명에서 원인-결과적 추리에 대한 신념을 기저로 하여 인과적 설명(예, 받쳐주는 힘이 없기 때문에 아래로 떨어진다)을 구성한다고 볼 수 있다.

• 유형 4. 혼합형

일부 학생들이 문제를 설명할 때 나타나는 형이상학적 신념의 하위 유형은 상황의존적인 것으로 나타났다. 학생3의 중력 설명은 인간 중심 존재론을 나타내며, 나무에 사과가 달려있는 상황을 설명할 때는 인과적 추론이 나타났는데, 이 두 가지 설명적 신념은 상충하지 않고 상보적으로 작용하여 설명 방식에 영향을 미치고 있음을 보여준다. 중력에 대한 정의에서, “중력은 모든 생명체를 다 끌어당기는 힘이며, [생명체가] 살기 위해서 지구 중심에서 잡아당겨 주는 힘”이라고 정의하면서, “잡아당기지 않았으면 [생명체가] 죽었을 께[?] 아니예[?]요”라고 표현하였다. 즉, 학생3의 설명의 중심에는 ‘생명체는 지구에만 존재하고 생명체가 살기 위해 중력이 작용한다’는 신념이 존재하며, 그 신념은 결과(생명체 생존)를 설명하기 위한 토대가 된다. 이 설명의 방식은 사건(지구가 잡아당긴다)으로 사건(생명체가 살아있다)을 설명하며, 이들 사건과 사건의 관계에 관한 서사적 추리(narrative reasoning)는 중력 개념의 위치를 설정하고 있다. 반면, 나무 가지에 달려 있는 사과에 작용하는 힘을 설명할 때는 지구-사과-나무의 관계에서 힘의 작용에 대한 인과적 추리를 통해 설명하려고 하였다. 즉, 지구는 사과를 잡아당기고(중력 작용), 반대로 나무가 사과를 잡고 있기 때문에(사과가 나뭇가지에 연결) 사과는 “어느 쪽[?]으로도 갈 수 없어서” 나무 가지에 매달려 있다고 설명하였다. 이 설명 방식은 목적론적 신념이 표현에서 벗어난 인과론을 토대로 하기 보다는, 특정 현상의 설명에 목적론적 신념을 포함한 인과적 추리를 보여준다고 할 수 있다. 이와 관련된 면담발췌문은 다음과 같다.

“사과가 지구 중심으로 떨어져요..지구가 사과 중심을 잡아당기고 있기 때문에..매달려 있는 힘은 이거고...당기는 힘은 지구 중심으로...매달려 있는 힘은 이어져 있어요. 사과하고...사과가 안 떨어지는 이유는 나무가 사과를 잡고 있기 때문에...중력도 잡아당기고 있지요 사과가 안 떨어지는 이유는 나무가 사과를 잡고 있고, 중력도 지구 중심으로 잡아당기고 있기 때문에 어느 쪽도 갈 수 없어서..할 수 없어서..나무에..”(학생 3, 2차면담)

학생6은 중력은 “인간이 살기 위해서 존재”하며, 인간이 생존하는 지구에 작용하는 절대적인 힘이라고 생각한다. 이 학생은 지구보다 더 무거운 물체라 하더라도,

“지구의 중력 때문에 그 [지구보다 더 크고 무거운] 물체는 지구 쪽으로 떨어질 것”이라고 예상한다. 비유에서도 나타났듯이, 학생6은 사과나무에서 사과가 떨어지는 현상을 “사과의 힘이 점점 떨어져 떨어지지 않아요”라고 설명한다. 이처럼 학생6은 중력의 존재를 인간 중심으로 생각하며, 사과 내부에 본질적으로 존재하는 힘이 줄어들면서 떨어지는 것으로 “철봉에 달려있는 아이가 힘이 빠지면 떨어지는 것으로” 빗대어 설명하고 있다. 이러한 비유를 통해, 학생6에게 있어서 인간중심 존재론과 물활론은 상충하거나 충돌하는 신념이 아니라 상보적으로 영향을 주는 관계에 있다는 것을 알 수 있다.

4) 과거 경험

학습자 개인은 학습을 할 때 이전 경험들에 비추어 그 의미를 끊임없이 탐색해 나가게 된다. 각기 다른 학습 환경과 성장 배경, 개별적인 성향으로서 주변의 다른 사람들의 영향을 받아 자신만의 지식이 형성되는 까닭에 학습자의 선개념은 개별적이다(West & Pines, 1985). 따라서 자신의 과거경험에 모순되어 보이는 개념은 받아들이기 쉽지 않다(Beeth, 1993; Hewson, 1982; Posner et al., 1982; Strike & Posnet, 1985)

연구 참여자들이 인식하는 힘 개념 이해와 관련된 과거 경험은 두 가지로 대별될 수 있었다. 하나는 대중매체의 시각적 경험이나 교사의 설명 등을 통한 개념 이해 경험이고, 다른 하나는 문제 풀이 혹은 책읽기 등을 통한 개념 정교화 경험이다.

• 유형 1. 개념 이해 경험: 대중매체의 시청, 교사의 설명

학생들은 일상생활에서 또는 교실수업에서 개념의 이해를 경험한다. 개념의 이해는 제시되는 개념이 자신의 신념 또는 개념과 일치하거나 연관성이 있을 때 성공적이다. 연구 참여자들이 과거에 개념 이해를 경험한 것이 힘 개념의 개념생태 내에 중요하게 자리 잡고 있는 것으로 보인다. 학생8은 과거에 쥐가 들어있는 상자가 낙하할 때 쥐가 상자의 중앙에 떠 있는 장면을 비디오를 통해 시각적으로 경험한 이후, 무중력 상태는 힘이 없는 상태이며 무중력 상태에서 모든 물질은 등등 떠 있어야 한다는 확고한 개념을 지니게 된다. 학생8의 무중력 개념은 힘의 평형을 이해하는 데 중요한 기준으로 작용하고 있다.

“중력을 안 받고 있잖아요. 만약에 저번에 비디오를 봤는데 요.. 상자 안에다 놓고 위에서 이렇게 쪽 내려갈 때요. 상자가

이렇게 있으면.. 쥐가요... 쥐가 가운데에 있었거든요.. 책상위에 만약에 이게 이렇게 이게 책이고 이게 책상이라고 생각하면요.. 이 책 위에 있을 것 같아요.... (학생8, 2차면담)

또한 학생들은 수업 도중에 교사의 설명을 통해 개념을 이해하기도 한다. 교사의 설명은 권위를 가지고 학생들의 개념생태 내에 자리를 잡고 있으며 문제 상황에서 해결의 단서로 사용된다. 수업에서 교사의 설명이 학생들의 개념생태와 일치하여 확고하게 자리를 잡는 과거 경험은 그 학생의 개념 안정 또는 정교화에 중요한 역할을 하게 된다. 학생9의 경우 교사의 힘의 평형에 대한 설명은 힘의 평형 개념에 갈등의 여지없이 과학적인 사고로 이끌어주었다.

“예를 들면, 평형 있잖아요...그냥 있는 거 말구요. 물체 딱 보이는걸요. 집어가지구요. [선생님이] 말씀해 주셨어요...물체가 서로 힘이 같아서요. 수평이 되는 거요.. 제가 만약에요. 이 물건이랑 볼펜이랑 가지고 있잖아요. 제가 힘을 더 많이 주었을 때는 이게 더 많이 올라가잖아요. 힘을 똑같이 주었을 때 나란하게 된다고요.” (학생9, 2차면담)

• 유형 2. 개념 정교화 경험: 문제 풀이, 독서

학생들은 개인적으로 다양한 방식을 통해 개념생태를 이루는 일부 개념의 정교화를 경험한다. 개념 정교화는 수업에서만 일어나는 것이 아니라 일상에서도 조건이 충족된다면 일어날 수 있다. 학생들은 다른 사람과의 상호작용이나 개인 내 정신 작용에 의해 의식적 혹은 무의식적으로 개념 정교화를 경험하며, 그 정도는 다양하다. 연구 참여자들이 힘 개념에 대하여 과거에 경험한 것 중에서 현재 학습에 영향을 주는 것으로 힘에 대한 개념 정교화를 언급한 것은 문제 풀이와 독서를 통해서였다. 학생2의 경우, 혼동되는 개념들을 문제풀이 과정을 통해 구별하고 정교화했던 경험을 말하였다.

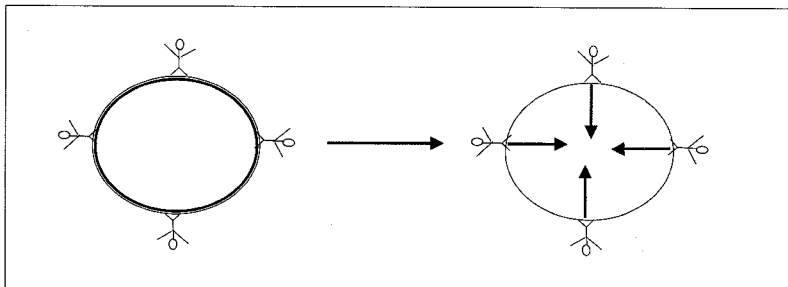
“시험문제예요.. 저울이 있잖아요. 저울에다가 용수철에 과일 바구니를 매달았대요.. 아래로 용수철이 늘어나잖아요... 그게 중력인가?...탄성력인가?...하는 것 이었어요...저는 용수철이니까 탄성력인 줄 알았는데, 근데 중력이더라구요. 용수철이 늘어나긴 했지만요... 과일 바구니가 아래로 떨어지니까요. 아래로 떨어질 때 용수철을 잡아당기니까.. 중력인거 같아요.” (학생2, 2차면담)

또한 학생1은 과거에 과학 관련 도서를 읽고 형성된 중력 개념이 과학적 개념과 다름을 깨닫고 자신의 중력 개념을 재구성했던 경험을 이야기하였다. 학생1의 개념 정교화는 자신의 개념에 대한 초인지적(metacognitive) 각성이 중요한 역할을 하였다. 즉, 학생1은 중력이 지구 표면에 있는 힘이라는 개념에서 지구 중심으로 향하는 힘이라고 정교화한 경험을 언급했다.

“어렸을 때는요. 지구가요..다 이렇게 원이 있는데 다 붙어있었고...‘과학의 힘’ 그런 책에 나왔거든요. 지구에 사람 같은 거 그려 있잖아요. 지구가 있으면 사람들이 이렇게 다 서 있잖아요. 이렇게...지구 중력이.. 지구 중심에 있는 게 아니라 지구 평면에 있는 성질인 줄 알았거든요. 근데, 공부하고 중간으로 작용하는 걸로 알았어요.. 지구의 중심으로..”(학생1, 2차면담)

2. 개념변화의 사례

사전검사, 1차면담, 2차면담을 통해 나타난 학생들의 개념변화는 두 유형으로 나누어 볼 수 있었다. 하나는 직관 개념이 고정된 상태에 있는 경우이고, 다른 하나는 개념 변화의 과도기 상태에 도달한 경우이다. 면담 과정에서 자신의 설명에 대해 일관성 없는 태도를 보이거나, 진술한 자신의 설명을 반복하여 연구자가 신뢰할 수 없거나, 근거 자료가 부족하여 개념변화 양상의 파악이 어려운 경우는 기타로 분류하였다. 개념상태의 상호작용적 특성으로 개념변화의 가능성이 보이지 않는 유형과 과도기상태에 있는 유형의 대표적 사례를 살펴보고자 한다.



중력이 지구 표면에 있는 그림

중력이 지구 중심으로 향하는 그림

그림 2 학생1의 중력에 대한 개념 정교화 경험

표 3
개념변화 양상

개념변화 양상	연구참여자
안정상태	학생1, 학생2, 학생3, 학생4, 학생5, 학생6
과도기상태	학생7, 학생8
기타	학생9, 학생10, 학생11

- 안정상태: 기존 개념이 안정된 상태에 있어 개념변화의 가능성을 보이지 않는 경우
- 과도기상태: 개념이 부분적으로 첨가되거나 정교화되어 과학적 개념으로 변화 가능성을 보여주는 과도기 상태에 도달한 경우
- 기타: 위의 두 범주에 속하지 않는 경우

1) 사례 1. 개념의 안정 상태

학생2는 1차와 2차면담에서 ‘책상위의 책’에 작용하는 힘과 ‘나무에서 떨어지는 사과’에 작용하는 힘에 대해 일방향적 설명을 하였다. 두 경우 모두에서 학생2는 지구 중심으로 향하는 중력만을 고려하며, 중력의 반대 방향으로 작용할 수도 있는 다른 힘에 대해서는 전혀 고려하지 않으며 심지어 “옳지 않다”고 표현하기도 하였다.

학생2는 중력에 대해 “중력이 아래로 떨어지니까..”, “지구 중심에서 끌어당기니까”, “(힘은) 아래로 작용하지”라는 표현을 하여, 중력의 작용이 존재론적으로 당연한 힘으로 간주하고 있었다. 학생2에게 중력 개념은 인간을 위시한 모든 물체가 지구에 존재할 수 있도록 해 주는 힘이였다. 즉, 중력 때문에 “사람이 땅 위에서 걸을 수 있고”, “책이 책상 위에 붙어 있고”, “사과가 나무에서 아래로 떨어지는 것”이다. 학생2의 중력 개념은 연구자가 요청한 모든 상황에 대해 일관성 있는 설명의 근거로 사용되었고, 그로 인해 중력과 다른 힘의 존재에 대해서는 사고에 제한을 받고 있는 것처럼 보인다.

[문항 1의 A에 대한 설명] “이쪽[좌]에서 힘을 주면요. 옆으로 가고, 이쪽[우]으로 큰 힘을 주면 옆으로 가고 그럴 거 아니에[에]요. 그러니까 사방에서 힘을 가하면 안될 거 같아요.”

[문항 1의 C에 대한 설명] “위로 힘을 가하면요. 애[책]가 위로 떠 있어야지..”

[문항 1의 D에 대한 설명] “물체에서 [화살표가] 위로 아래로 있는 거잖아요. 위로 아래로 있으면, 똑같은 힘이잖아요. 책상을 빼도 똑같이 그대로 공중에 떠 있을 거 같은데요... [위로 향한 화살표에 대한 설명] 저는 위로.. 힘이 위로 되어 있다고는 생각 안하는 데... 저는 그런 거 같아요”

[문항 2에 대한 답] “사과나무에 달려 있던 사과가 중력이 없었다면 땅에 떨어지지 못한다고 생각. 지구 중심에서 끌어당기어 아래로 떨어진다.”

[문항 2에 대한 설명] “이게요. 사과가 떨어지면 중력. 물체가 지구 중심방향으로 떨어지는 것.. 손에 있는 거를 아래로 떨어뜨린다. 이러면 아래로 떨어지지않아요. 그게 중력 때문에.”

학생2는 중력이 공기로 인해 작용한다고 생각하였다. 학생2는 중력은 모든 행성에 존재하는 힘이지만, 공기가 활성화하는 것으로 여겼다. 즉, 사람이 지구 표면에 붙어있는 이유가 공기가 있어 중력이 작용하기 때문이며, 반대로 공기가 없는 행성은 중력이 작용하지 않기 때문에 공중에 떠 있게 된다는 것이다.

“우주에는 행성이 많잖아요. 지구도 포함되지만은, 모든 행성들이 다 끌어당길 거 같아요... 예외는 있겠지만요. 끌어당길 것 같아요. 지구에는 공기가 있잖아요. 달은 공기가 없다고 배웠거든요... 공기가 있으면요. 중력의 힘이 활용된다... 공기가 있으니, 중력이, 주위에 공기가 있잖아요. 행성에 중력이 있다 그러면요. 지구에만 공기가 있으니 사람이 떨어질 수 있다 생각해요.”

학생2의 중력 개념은 여러 상황에 적용되어 잘 작동하였다. 학생2는 탄성력 개념을 요구하는 줄 알았던 시험문제가 중력으로 해결되었던 경험을 통해, 중력 개념은 개념생태에 더욱 견고하고 강력한 개념으로 자리하게 된 것으로 보인다.

“시험문제예요. 저울이 있잖아요. 저울에다가 용수철에 과일바구니를 매달았대요.. 아래로 용수철이 늘어나잖아요. 그게 중력인가? 탄성력인가? 하는 것이었어요. 저는 용수철이니까 탄성력인줄 알았는데.. 근데, 중력이더러구요..... 과일 바구니가 아래로 떨어지니까요. 아래로 떨어질 때 용수철을 잡아당기니까.. 중력.. 인거 같아요.”

종합하면, 학생2는 연구자가 제시한 문제 상황과 다양한 현상에 대해 일관적으로 일방향으로 작용하는 힘을 적용하여 설명하였으며, 그 설명일관성과 연관되어 있는 중요한 개념은 중력이였다. 학생2의 중력 개념은 개념생태 내에서 권위를 갖는 것이었는데, 그 중력 개념의 권위는 ‘인간중심 존재론’의 형이상학적 신념, 그리고 ‘힘이 위로는 작용하지 않는다’와 ‘중력이 공기로 인해 활성화된다’는 직관적 개념을 토대로 하고 있었다. 설명일관성, 인간중심 존재의 형이상학적 신념, 직관개념 등이 활성화된 학생2의 개념생태 특징은 지구 중심 방향으로 작용하는 힘 개념의 이해가능성과 그럴듯함의 조건을 충족시키고 있었다. 더 나아가 학생2의 중력 개념은 용수철의 탄성력 상황에서 중력 개념이 매우 작 적용되었고 융화되었기 때문에 유용성의 조건을 충족하여, 일방향적인 힘 개념은 굉장히 안정적인 상태에 있는 것으로 해석할 수 있다.

2) 사례 2. 개념의 과도기 상태

학생7은 1차와 2차의 면담 과정에서 힘 개념이 안정되지 않고 과도기 상태에 있음을 보여주었다. 개념의 과도기 상태는 자신의 설명방식을 의심하거나, 개념들 간의 연관성을 고려하여 설명을 시도할 때 어려움을 겪거나, 새로운 개념을 적용하여 설명을 확장할 때 시작하면서 나타났으며, 개념변화로의 가능성을 내포한다.

학생7은 1차면담에서 ‘책상위의 책’에 작용하는 힘은 아래로 당기는 힘이라고 설명하고 화살표로 B와 같이 표시한다고 응답했다. ‘사과나무에서 떨어지는 사과’에 대해서도 마찬가지로 중력만을 고려했다.

“지구 중심에서 책을 당기므로 힘이 아래로 향해야 한다”
 “[B가 나타내는 것은] 중력.. 지구 중심에서 끌어당기는 힘”
 “위쪽으로 표시한 것 [↑]은요.. 음.. 지구하고 다른데서 중력이.. 단지 지구 중력이 더 세서 [책이 책상 위에 놓여 있다]”
 “[사과가 떨어지는 것은] 중력인데요.. 밑에서 끌어당기고 있잖아요. [사과는] 떨어지지않아요. 힘은 계속 작용하고 있을 거 같아요”
 “[사과랑 책상위의 책이] 관계가 있는 거 같아요.. 만약에 지구[표면]에 떨어져 있다면은요. 이 상황[땅에 떨어진 사과]이랑 이 상황[책상 위의 책]이랑 비슷한 거잖아요... 중심으로 당기는 것도 똑 같아요.”

학생7은 설명과정에서 책상위의 책이나 나뭇가지에 달린 사과에서 물체를 받치는 힘을 인식하지만 그 힘을 화살표로 나타내는 데 어려움을 겪었다. 화살표를 위쪽 방향으로 그리는 힘을 고려하는 것은 지구 외에서 다른 힘이 작용하는 것으로 이해했기 때문이다. 결국, 학생7은 책상이 책을 떠받치는 힘이 있을 거라는 막연한 추측은 하지만 (↑)화살표의 의미에 대응시키지 못했다. 그럼에도 불구하고, 학생7의 설명에서 드러나는 일방향적 힘 개념은 고정되고 안정적이기 보다는 상호작용적 방향을 고려할 수 있는 개념유연성(plasticity)을 보여준다.

“책상이 책을 받치잖아요. 어. 받치고 있긴 받치고 있는 거 같은데요. 그 힘을 표시하는게...”

힘 단원 수업이 모두 종료된 후에 이루어진 2차면담에서, 학생7은 책상위의 책에 작용하는 힘으로 응답유형 E를 선택하고, 중력을 고려함과 동시에 책상이 책을 떠받치는 힘으로서 위 방향으로 그려진 화살표(↑)를 적용하여 설명하였다. 이 설명은 사과가 나무에 매달려있는 상황에서도 일관적으로 적용되었다.

“지구 중심으로 중력이 작용하므로 중력의 힘이 책상을 떠받치는 힘보다 크다”
 “이렇게 사과가요. 이쪽으로 작용을 하면요... 이것도 책상처럼... 여기 가지에도 무슨 힘이 있을 거 같아요..... 여기[↑] 힘이 있으면요. 이렇게 만약에 이 크기랑[↓] 이 크기랑[↓] 똑같다면요. 이렇게 탁 멈출 수도 있잖아요... 안 떨어지고..”

이러한 학생7의 힘의 상호작용적 설명일관성은 책상위의 책과 나뭇가지에 달린 사과의 경우에 약간 다르게 적용되었다. 책은 책상 위에 고정되어 있고, 사과는 매달려 있는 것으로서 학생7에겐 다른 상황으로 인식되었기 때문이다.

“근데, 여기는 아까 이것처럼 또 책상이 있을 때 중력이 크지 떠받치는 힘이 작잖아요. 그래서 여기 고정되는 거고... 아니 틀리나... 이렇게 있으면요... 이 가지가 이렇게 안 떨어지게 해 줄 수 있는 힘이 있으니까.. 잡아주는 힘이 있으니까..”

즉, 학생7은 계속된 질문에서 결국 책상위의 책과 나뭇가지에 달려있는 사과 모두에 작용하는 중력이 위로 향한 힘보다 더 크다고 주장했다.

“중력이 큰데.. 그 큰 중력의 힘을 이 힘[↑] 받칠 수 있을 거 같아요. 힘의 크기는 다른데 왜 버티냐면, 음.. 이렇게 힘 [↓]이 더 크면 언젠가는 떨어지니까.. 사과가 계속 달려있는 건 아니잖아요.”

이 설명을 뒷받침하기 위해 학생7은 ‘시소’ 비유를 스스로 고안해내었다. 학생7이 고안한 비유는 변화된 개념을 이해하기에 적합한 것이었다. 그러나 그 설명은 여전히 과학적인 추리로서 힘의 평형이나 상호작용적 관점을 갖지 못하였는데, 그 이유는 힘의 정의와 상황 적용과의 괴리, 그리고 중력의 일방향으로 모든 물체에 작용하는 힘이라고 인식하는 것에 영향을 받는 것으로 분석되었다.

“시소 같은 거 탈 때 무거운 사람 있으면 그 쪽으로 기우는 것처럼, 이것도 힘이 큰 쪽으로 가잖아요. 책이 이렇게 안 떠 있고...”

이러한 학생7의 중력 개념은 형이상학적 특성을 갖는데, 중력은 사람이 살아가기 위해 존재하는 것이며 지구가 지닌 유일한 힘이라는 속성이 내포되어 있었다. 이러한 형이상학적 신념은 문제 상황에 중력을 일관성 있게 고려하고 설명하는 구인으로 활용하는 데 도움이 되는 반면, 힘의 평형에 관한 보다 과학적인 추리를 방해하는 역할을 하기도 하는 것으로 해석되었다.

“중력이 없으면 사람도 날아가고, 지구에 아무도 못 살잖아요.. 다 날아가 버리잖아요.. [사과는 지구를 안 잡아 당기냐는 질문에] 사과도 잡아당길 수 있겠는데요. 중력보다 힘이 작으니까 못 잡아당기는 거겠죠. [사과가 지구보다 크고 무겁다면 어떻게 될 거 같냐는 질문에] 사과가 [지구로] 떨어질 거 같아요. 물체가 무거워도 중력이 없어지는 거는 아니잖아요.. 아무리 무거워도 사과가 떨어져요.”

종합하면, 학생7의 사례는 힘 개념에 대한 면담에서 개념변화를 보여준 것 못하였지만, 변화의 가능성을 보여주는 과도기상태에 도달한 사례로 해석되었다. 학생7은 1차면담에서는 책이나 사과에 대해 일방향으로 작용하는 힘을 주장했으나 2차면담에서는 상호작용적으로 작용하는 힘을 고려하였다. 다시 말해, 정지한 물체에 작용하는 힘으로 중력뿐만 아니라 그에 상응하는 반대의 힘을 고려하여 정지 상태를 설명하려고 시도한 것이다. 그럼에도 불구하고, 학생7은 책상위의 책과 나뭇가지에 달린 사과의 경우를 다른 상황으로 간주하여 설명하였고, 결국은 상호작용적으로 힘을 고려하였지만 두 경우 모두 중력이 반치는 힘보다 커서 책상위에 있거나 나뭇가지에 매달려 있는 것으로 일관성 있는 설명을 하였다.

이처럼 학생7이 자신의 개념을 설명하는 데 있어서 적용한 일관성의 변화는 개념생태에 위치한 다양한 요소들이 상호작용적 설명에 대한 이해가능성과 그럴듯함의 조건을 충족하였기 때문에 가능한 것으로 보인다. 즉, 화살표 의미에 대한 해석과 자신이 창출한 비유의 장점과 단점을 인지하고 이해하는 과정이 상호작용적 설명과 밀접히 연관되어 있기 때문이다. 그럼에도 불구하고 학생7은 상호작용적 설명 개념으로의 완전한 변화를 이끌어내지는 못하였는데, 인간중심 존재론적 신념이 개념생태 내에 강하게 자리하고 있었기 때문이라고 해석된다. 즉, 학생7의 개념변화는 설명일관성, 개념, 비유 등으로 활성화되는 힘 개념의 생태적 요소들이 함께 변화해야 성공적으로 이루어질 것으로 예상된다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 중학생의 힘 개념을 구성하는 개념생태의 요소, 그리고 개념변화의 특정한 유형을 보여주는 두 사례를 통하여 개념생태 요소의 상호작용을 살펴보았다. 중학생의 ‘힘’ 개념을 구성하는 개념생태의 요소는 크게 인식론적 확신근거(설명일관성), 비유, 형이상학적 신념(개념), 과거 경험으로 분류되었다. 각 개념생태의 범주에 해당하는 개념 특징을 보여주는 유형은 다

음과 같다. 인식론적 확신근거(설명일관성)는 일방향 관점과 상호작용적 관점으로 유형화하였다. 비유는 힘의 작용에 대하여 줄다리기 및 시소 유형이 발견되었으며, 힘의 속성에 대하여 슈퍼마켓과 스티로폼 그리고 철봉 유형이 나타났다. 형이상학적 신념(개념)은 인간(지구)중심 존재론, 물활론, 인과론의 유형으로 분류할 수 있었다. 과거 경험으로는 대중매체의 시각적 경험과 교사의 설명 각인으로서 개념이해 경험을 하였고, 문제 풀이와 과학관련 자료의 독서를 통해 개념변화 경험을 한 것으로 드러났다.

이러한 개념생태의 요소들은 학생들의 힘 개념의 정신적 구인으로서 서로 밀접하게 연관될 뿐 아니라 상호작용하여 개념의 지위를 형성하고 있는 것으로 보인다. 개념변화의 안정화 사례는 개념생태의 요소들이 얼마나 강하고 상호 갈등이나 모순 없이 존재하고 있으며 수업내용이나 다양한 문제 상황에 일관성 있게 적용되고 있는가를 보여준다. 또한, 개념변화의 과도기상태로 파악되는 사례는 설명의 변화가 발생할 때 이와 연관되어 있는 개념생태의 요소들이 일관성 있게 활성화되고 정교화 되는 과정을 보여준다. 이들의 사례를 통해 개념변화를 위해서는 개념생태를 고려해야 하는 것을 다시 확인하였으며, 개념생태 중에서도 강하게 활성화되거나 구속되는 것이 다르게 나타났다.

본 연구의 결과를 통해 연구 및 교수학습에 관하여 몇 가지 시사점을 살펴보고자 한다.

첫째, 중학생의 힘 개념을 구성하는 개념생태 요소들은 비유, 형이상학적 신념, 과거 경험 등이 개념의 이해가능성과 그럴듯함의 상태를 결정하는 데 중요하게 작용하였으며, 설명일관성은 개념의 상태를 안정화 혹은 변화하는 데 불만족의 준거로서 작용한다. 이 결과는 초기 개념변화이론의 주창자들과 계승자들에 의해 강조된 바 있으며, 본 연구에서 한 번 더 확인되었다.

둘째, 학생들의 힘 개념을 구성하는 개념생태의 요소들은 어느 것이 더 중요하고 덜 중요한지를 파악하는 것보다 얼마나 오래되고 다른 요소들과 정합성을 갖고 존재하는가에 달려있다. 여러 연구는 개념생태 중에서 인식론적 확신근거와 형이상학적 신념은 다른 개념 생태적 구성요소보다 더 변화하기 어렵다고 하였다. 그러나 본 연구의 결과를 통해 변화가 어려운 이유는 다른 개념생태의 구성요소들 중 오래 전에 형성되고 잘 사용되어져 온 형이상학적 신념과 과거 경험이 견고하게 자리하고 있으며 설명일관성에서 매우 잘 활성화되기 때문인 것을 알 수 있었다.

셋째, 학생의 개념생태는 수업에서 중요하게 고려해

야 할 것이다. 또한, 학생 개념에 대한 개념생태적 이해는 과학교육연구에도 중요한 시사점을 갖는다. 과학 교육이 학생의 이해에 초점을 둔다면, 학생의 이해를 촉진하고 개념을 변화시키기 위한 다양한 전략들(비유, 탐구활동 등)과 적절한 스캐폴딩이 개념의 지위를 축으로 연구되고 논의되고 수업에서 활용될 필요가 있다. 예를 들어, 수업에서 교사가 비유를 사용할 때 학생들의 개념 생태학적 비유와 맞지 않는다면 또 다른 학습의 장애요소로 작용할 것이다. 가능한 한 교사는 체계적이고 과학적인 비유를 사용함에 앞서 학생의 비유로부터 시작하여 그 비유를 재창출하여 학생들이 자신의 개념을 구성할 수 있도록 도와야 한다. 즉, 교사는 학생에게 낯설고 새로운 개념을 수업에서 다룰 때, 적절한 비유와 활동 등이 학생의 개념생태와 연관되어 있는지, 새로운 개념의 상태를 높이기 위한 가능성을 고려하고 수행하여야 할 것이다.

넷째, 본 연구에서 제시한 개념변화의 사례는 주로 학생들과의 면담을 통해 수집된 자료의 해석이 주어진 것으로서, 개념변화 과정과 그 과정에서 개념생태 요소들이 어떻게 상호작용하여 역동적으로 변화해 가는지를 설명하는 데 한계가 있다. 따라서 향후 개념변화 연구는 연구자가 수업에 참여하여 학생들과 직접 상호작용하면서 자료를 수집하는 등의 연구 설계를 통하여 개념 변화 과정을 보다 가시적으로 보여줄 수 있어야 할 것이다.

국문 요약

이 연구에서는 힘 개념에 대한 중학생의 개념생태 요소를 탐색하고 개념변화의 사례를 살펴보는 데 그 목적이 있었다. 연구는 질적 방법을 사용하였으며, 수업관찰과 면담으로 수행되었다. 연구 참여자는 중학생 11명으로 여학생 7명과 남학생 4명이었다. 면담은 힘 단원의 수업 시작 전 사전 검사와 2차례 개별 심층 면담으로 이루어졌다. 수집된 자료는 모두 전사되고 해석적으로 분석되었다. 연구 결과는 두 부분으로 기술되었다. 첫째, 연구 참여 학생들의 힘 개념을 구성하는 개념생태는 크게 인식론적 확산근거(일방향 및 상호작용적 설명 일관성), 비유(속성, 작용), 형이상학적 신념(인간중심의 존재론, 물질론, 인과적 추론, 혼합형), 과거 경험의 네 범주로 분류할 수 있었다. 둘째, 학생들의 개념변화의 대표적인 유형으로, 개념의 안정 상태와 개념변화로의 과도기 상태를 보여주는 사례를 제시하였고, 개념생태의 특징을 살펴보았다. 이 연구의 결과

는 중학생의 힘 개념의 위치와 변화 가능성에 대하여 개념생태를 통하여 구조적이고 상호 연관적 이해를 추구한다는 점에서 기존 연구 결과를 통합적 관점에서 볼 수 있도록 해 준다. 뿐만 아니라 개념생태의 진화적 관점으로 개념 변화를 추구해야 할 것으로 시사한다.

참고 문헌

- 권성기 (1997). 대학생의 운동학 그래프 작성에 대한 역학 개념의 효과. 한국과학교육학회지, 17(4), 383-393.
- 박종원·서정아·정병훈·박승재 (1994). 힘과 운동 개념 변화를 위한 연역 논리 과제에 대한 중학생의 반응 분석. 한국과학교육학회지, 14(2), 133-142
- 박지연·이경호 (2004). 과학개념변화 연구에서 학생의 개념에 대한 이해: 오개념(misconception)에서 정신모형(metal model)까지. 한국과학교육학회지, 24, 621-637.
- 박지연·이경호·신종호·송상호 (2006). 과학수업 후 변하는 것과 변하지 않는 것: 정신모형 이론을 중심으로 한 고등학생의 원운동 개념변화 사례 분석. 한국과학교육학회지, 26(4), 475-491.
- 백성혜·조영진 (2006). 과학사에 기초한 물체의 운동에 대한 고등학생들의 관점 분석. 한국과학교육학회지, 26(3), 317-329.
- 송현마·정완호 (2001). 생물 존재 필요성에 대한 중학생의 개념생태 특징. 한국과학교육학회지, 21(4), 648-657
- 신상우·김연수·권재술 (2005). 작용-반작용 과제에서 불일치현상에 대면한 실업계 고등학생의 인지갈등 특성. 한국과학교육학회지, 25(5), 571-582
- 신우성·김익균 (1993). 힘과 운동 개념에 대한 국내·외의 연구결과와 동향. 물리교육, 11, 10-22.
- 오원근·박승재 (1995). '힘' 용어에 대한 일상적 용례연구. 물리교육, 13, 110-118.
- 이미숙·이길재 (2006). 과학사에 근거한 학생들의 진화 개념 분석. 한국과학교육학회지, 26(1), 25-39.
- 이상하 (2004). 개념적 전환 장치의 설계 - 힘 개념의 교육을 통해 본 과학의 일상성과 이론성 - 철학연구, 66, 121-145.
- 임정수, 권재술 (1996). 개념제시자의 특성이 고등학생의 물리 개념 변화에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 16(4), 340-350.
- 오준영 (2006). 천문 현상들을 설명하는 예비 초등 교사들의 정신모형에 관한 연구: Vosniadou의 이론적인 틀 중심. 부산대학교 박사학위논문.
- 한국교원대학교 물리교육연구실 (1993). 과학 오개념 편람(역학편)
- Beeth, M. E. (1993). Dynamic aspects of conceptual change instruction. Unpublished doctoral thesis. University

of Wisconsin-Madison.

Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1998). An empirical test of an taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 623-654.

Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2003). Learnings' mental models of metallic bonding: A cross-age study. *Science Education*, 87(5), 685-707.

Dole, J. A., & Sinatra, G. M. (1998). Reconceptualizing change in the cognitive construction of knowledge, *Educational Psychologist*, 33, 109-128.

Driver, R., & Erickson, G. (1983). Theories-in-action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, 10, 37-60.

Driver, R., Guesnes, E., & Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas science*. Philadelphia: Open University Press.

Duit, R. (1993). Research on students' conceptions developments and trends, Paper presented at the Third Internationals Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Cornell University.

Gilbert, J. K., & Swift, D. J. (1985). Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs, *Science Education*, 69(5), 681-696.

Gilli, I., & Bar, V. (1992) Motion implies the force: Where to expect vestiges of the misconception? *International Journal of Science Education*, 14, 63-81.

Hashweh, M. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.

Hewson, P. W. (1982). A case study of conceptual change in special relativity: The influence of prior knowledge in learning. *European Journal of Science Education*, 4, 61-78.

Hewson, P. W. (1985). Epistemological commitments in the learning of science: Examples from dynamics. *European Journal of Science Education*, 7(2), 163-172.

Hewson, P. W., & Hewson, M. G. A'B. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.

Hewson, P. W., & Hennessey, M. G. A'B. (1991). Making status explicit: A case study of conceptual change, IN R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.). *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 176-187). Kiel, Germany: IPN.

Hewson, P. W., & Lemberger, J. (1999). Status and Subscribing: A Response to Schwitzgebel. *Science & Education*, 8, 507-523.

Hewson, P. W., Tabachnick, B. R., Zeichner, K. M., Blomker, K. B., Meyer, H., Lemberger, J., Marion, R., Park, H., & Toolin, R. (1999). *Educating prospective teachers of Biology: introduction and research methods*. *Science Education*, 83(3), 247-273.

Justi, R., & Gillbert, J. (2000). History and Philosophy of science through model. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009.

Lawson, A. E. (1986). Integrating Research on Misconceptions, Reasoning Patterns and Three Types of Learning Cycle, Paper presented at the United State-Japan Seminar on Science Education, East-West Center, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, September, 15.

McCaskey, T. L., Dancy, M. H., & Elby, A. (2003). Effects on assessment caused by splits between belief and understanding. *Proceedings of the Physics Education Research Conference*, Madison, WI.

Novak, J. D. (1987). *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, (Ed.). NY: Cornell University, Department of Education.

Osborne, R. J., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implication of children's science*. Auckland, New Zealand: Heinemann.

Park, H. (1995). A study of the components or students' conceptual ecologies. Unpublished doctoralthesis, University of Wisconsin-Madison

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

Pfundt, H., & Duit, R. (1988). *Bibliography Student' alternative frameworks and Science education*, 2nd Edition, IPN, Institution for Science Education.

Sadanand, N., & Kess, J. (1990). Concepts in force and motion. *The Physics Teacher*, 28, 530-533.

Shepardson, D. P. & Moje, E. B. (1999). 'The role of anomalous data in restructuring forth graders' framework for understanding electric circuits. *International Journal of Science Education*, 21(1), 77-94.

Smith, J. P., diSessa, A. A., & Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: a constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Science*, 3(2), 115-163.

Strike, K. A., & Posner, G. J. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In West, L. H. & Pines, A. L. (Eds.). *Cognitive structure and conceptual change*. London, cademic Press, 211-231.

Taber, K. S. (2003). Mediating mental models of metals: Acknowledging the priority of the learner's prior

learning. *Science Education*, 87(5), 732-758.

Tasker, R., & Osborne, R. (1985). Science teaching and science learning, in *Learning in Science, The implications of childrens' science*, Osborne, R., Freybery, P., Heinemann, Auckland, London Portsmouth N. H., 15-27.

Thijs, G. D. (1992). Evaluation of an introductory course on "force" considering students' preconception. *Science Education*, 76, 155-174.

Thorley, N. R. (1990). The role of the conceptual change model in the interpretation classroom interactions. Unpublished doctoral thesis, University of Wisconsin-madison.

Toulmin, S. (1972). *Human Understanding*. Vol. 1: The Collective Use and Evolution of Concepts. Princeton: University of Princeton Press.

Trundle, K. C., Atwood, R. K., & Christopher, J. E. (2007). A longitudinal study of conceptual change: preservice elementary teachers' conceptions of moon phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 303-326.

Watts, D. M., & Zylbersztajn, A. (1981). A Survey of Some Children's Ideas about Force. *Physics Education*, 15, 360-365.

West, L. H. T. & Pines, A. L. (1985). *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando, FL: Academic press.

von Wright, G. H. (1971). *Explanation and understanding*. Ithaca, NY: Cornell Univ. press. (배철영역, 1994, 설명과 이해, 서광사)