

학습자의 역학적 에너지에 대한 개념변화 중에 살펴본 물리 지식과 앞에 대한 인식론적 신념간의 관계

문성숙 · 권재술
(한국교원대학교)

The Relationship between Learners' Epistemological Beliefs About the Nature of Physics Knowledge and Physics Knowing During Conceptual Change in Mechanical Energy

Seongsook Moon · Jaesool Kwon
(Korean National University of Education)

ABSTRACT

This study focused on research that illustrates the important interplay between learners' epistemological beliefs about science knowledge, physics textbook knowledge and knowing physics in the classroom. Also this study investigated learners' conceptual changes on the value of mechanical energy.

To explore these topics, six sophomores were chosen as participants. Three categories were introduced to classify how participants' understanding of the nature of science knowledge, physics textbook knowledge has been linked with epistemological beliefs of knowing physics. The three categories were (1)receiving physics knowledge as authority, (2)receiving physics knowledge as the perception of teacher's role and (3)understanding physics knowledge as the perception that science knowledge is a product of a variety of human ideas. These categories were also concerned with construction of individual conceptions of mechanical energy. The participants who understood physics knowledge as the perception that science knowledge is a product of a variety of human ideas naturally used metacognitive strategy in classroom compared to other participants. And they had scientific conceptions about the value of mechanical energy. Others who were passive in classroom had unscientific conceptions about the value of mechanical energy due to definition of energy and epistemological beliefs about the nature of science knowledge. In the process of their conceptual changes on the value of mechanical energy, it was important to understand an instrumental aspect of scientific knowledge and to think about the relation between formulae and physical phenomena.

Key words: epistemological beliefs, authority, teacher's role, a product of a variety of human ideas, a definition of energy

I. 서론

20세기가 시작될 즈음에, 현대물리에 대한 관점에는 매우 커다란 변화가 있었다. 과학은 절대적으로 타당한 지식이라는 신념이 위협을 받기 시작한 것이다. 철학적이고

심리학적이며 논리적인 주장들은 지식이 언제나 확증적이라는 것에 반론을 모았다. 이와 같은 맥락으로 과학지식은 발견되기보다는 인간에 의해 구성되는 것이라는 의견이 제안되었다. 따라서 과학지식에 대한 관점은 경험주의와 합리주의적인 전통에 기초한 '절대주의'적 관점보다

는 과학지식은 인간의 구성물이라는 구성주의적 관점이 널리 지지를 받고 있다(Nussbaum, 1989).

이와 같은 과학에 대한 철학적 관점들은 과학 교육에 영향을 주었다. 많은 과학교육자들은 과학적 지식이 임시적이고 수정 가능하다는 것과 그 발달과정에는 사회적이고 인지적인 과정이 상호작용한다는 관점이 강조되고 있음에 동의하였다(Thagard, 1994). 구성주의자들은 학습자들이 직접적으로 접하게 되는 사건이나 사물들로부터 의미를 구성한다고 주장하였다(Wandersee et al., 1994). 또한 Dutch와 Hamilton(1992)은 이와 같이 과학이론과 개념이 수정되고 성장한다는 관점과 구성주의적 관점이 학습에 수용되는 것은 교과과정을 형성하는데 있어서 중요한 역할을 한다고 주장하였다.

10여 년 전부터 과학 교육 분야에서는 학생이 생각하는 과학지식과 학습과정사이의 상호작용과 그 관계에 연구자들이 관심을 갖기 시작하였다(Edmonson, 1989, 1993; Hammer, 1994a, 1994b; Roth & Roychoudhury, 1994; Redish, 1998; Hogan, 2000). 연구 결과물들은 대부분 학생의 과학 지식 또는 물리 지식에 대한 인식론적 신념과 학습과정 사이에서 관계의 중요성을 역설하거나, 그 관계를 기술한 것이었다. 특히 Hammer(1994a, 1994b)는 이와 같은 연구에서 맥락의 중요성을 강조하였다. 그러나 이 모든 연구들은 어떤 한 개념에 대해 수업이 진행되는 동안에 일어나는 학생들의 개념변화과정을 인식론적 신념과 관련지어 살펴보지는 않았다.

우리 나라의 경우 과학의 본성에 대한 연구와 관련하여 과학의 본성에 대한 대학원생과 고등학생의 개념에 대한 것이 있으며(송진웅과 권성기, 1992; 반은기 등, 2000), 교사의 과학관과 학습자료의 서술방식이 학생의 과학관에 미치는 영향을 살펴본 연구를 일부 찾아 볼 수 있었다(소원주, 1998).

피험자의 과학의 본성에 대한 개념과 학습관과의 관계를 살핀 연구도 찾아볼 수 있었다(권성기와 박승재, 1995; 박운배, 2000). 박운배(2000)에 따르면, 중등 과학 교사들이 상대주의, 연역주의, 도구주의, 과정주의적인 과학관과 구성주의적인 학습관을 나타내었으며, 그들의 과학의 본성에 대한 인식과 학습관 사이에는 높은 관련성이 있는 것으로 연구 결과가 나타났다. 그러나 권성기와 박승재(1995)의 연구결과에 의하면 교육 대학생의 구성주의 학습관에 대한 인식은 과학의 본성에 대한 인식과 관련을 갖지 못한 것으로 나타났다. 두 연구는 정량적인 방법을

사용하였고, 과학의 본성에 대한 인식과 학습관을 알아보기 위하여 같은 검사도구를 사용하였으나 서로 다른 결과가 나왔다. 이 두 연구를 비교하면, 한 연구에서는 피험자가 중등 교사이며, 다른 한 연구에서는 장래에 교사가 되기를 희망하는 교육대학생이라는 차이가 있다. 두 연구가 같은 검사도구, 같은 연구방법을 이용하여 피험자의 과학의 본성에 대한 인식과 학습관에 관한 인식사이의 관계를 조사한 것도 주목할 만한 일이다. 그러나 두 연구가 실제로 과학 지식이나 물리지식을 배우는 동안에 과학의 본성에 대한 인식과 학습관이 어떻게 상호작용하고 개념변화에 어떤 영향을 주는지 살펴보는지는 못하였다는 제한점이 있으므로 이를 보완한 연구가 필요하다.

한편, 물리 학습의 소재로서 여러 가지가 있지만, 그 중에서도 '에너지'는 '힘'과 함께 일상생활에서 많이 사용되고 있는 용어이며, 학생들이 이해하는데 매우 어려워하는 개념이다. 그러나 '에너지는 일을 할 수 있는 능력'이라는 에너지에 대한 정의의 부적절함과 이와 같이 에너지를 정의할 수 있는 것으로 보는 철학적 관점은 여러 과학교육자들(Sextl, 1981; Warren, 1982; Duit, 1987; Duit & Haeussler, 1994; Gunstone, 2001)에 의하여 논의되어 왔다. Duit과 Haeussler(1994)는 '에너지는 일을 할 수 있는 능력'이라는 개념화가 지배적이라고 하면서 이와 같은 개념화가 교과서에서 빠져야 한다고 주장하였다.

따라서 학생들이 수업의 맥락에서 특정 개념을 배우는 동안에 과학지식 또는 물리지식에 대한 인식론적 신념과 알(knowing)사이의 관계를 개념변화과정을 살펴보면서 알아보는 것이 필요하다. 특히, 본 연구에서는 참여자들이 역학적 에너지를 수업을 통하여 배우는 맥락에서 이들 사이의 관계를 규명하고, 이러한 인식론적 신념들이 역학적 에너지의 기초개념 변화에 주는 영향을 알아보고자 하여 다음과 같이 연구 문제를 정하였다.

첫째, 학습자들의 과학지식과 교과서에 나오는 물리 지식의 본성에 대한 인식론적 신념은 물리수업시간의 앞에 대한 인식론적 신념에 어떻게 영향을 주는가?

둘째, 역학적 에너지의 기초개념에 대한 이해와 그 변화과정은 학습자의 물리지식 또는 과학지식에 대한 인식론적 신념에 따라 어떻게 다른가?

II. 연구 방법

1. 연구절차

선행연구를 통하여 관심 있는 주제와 연구문제를 찾은 후 연구 설계를 하고 참여자를 선정하였다. 학습자들의 과학지식의 본성과 교과서 내 물리 지식의 본성에 대한 인식론적 신념이 물리 수업시간의 얽에 대한 인식론적 신념에 어떻게 영향을 주며, 실제로 역학적 에너지 개념을 한 학기 이상 배우는 동안 학습자들의 사고가 어떻게 변화되는지 정성적인 방법을 통하여 알아보았다.

인간의 과학 지식에 대한 인식론적 신념을 정량적으로 측정하는 것은 쉬운 일이 아니다. 그리고 인식론적 신념에 대한 정의와 구인(construct)이 확립되지 않은 상태에서 지식에 대한 인식론적 신념과 학습자가 수업시간에 생각하는 얽에 대한 인식론적 신념 사이의 관계를 정량적으로 살피는 것은 더욱 쉬운 일이 아니다. 그러므로 기존에 정량화를 목적으로 과학 지식의 본성에 대한 관점을 조사하는 검사지에 관한 참여자들의 반응을 조사하고, 이것을 바탕으로 심층적인 면담을 하였다.

면담을 시작하기 전에 참여자를 선정하여 그들로부터 동의서를 받고, 반구조화된 면담을 하였다. 참여자 6명 중 일부 참여자는 적극적으로 면담에 임하였으나, 한 참여자는 자신의 생각의 과정을 설명하는 것에 어려움을 표시하면서 중간에 연구에 참여할 수 없다고 하였다. 이 참여자와는 의견조정을 통하여 4월부터 9월까지 6회의 면담을 하였으며, 참여자의 생각을 연구 결과에 반영할 수 있는 정도의 자료는 확보할 수 있었다. 원래 연구자의 의도는 참여자의 과학 지식에 대한 인식론적 신념이 변화되었을 때 얽에 대한 인식론적 신념이 어떻게 변화되는지 알아보고, 역학적 에너지와 위치에너지에 대하여 비과학적인 개념을 가진 참여자가 과학적 개념을 갖도록 하는 것이었다. 그러나 참여자의 인식론적 신념은 짧은 시간 동안 연구자와 상호작용을 통하여 쉽게 변하지 않았다. 또한 이 참여자는 역학적 에너지에 대한 기초 개념에 대하여 비과학적인 개념을 가졌는데 과학적인 개념으로 변화되지 못하였다. 한편, 면담에 적극적인 참여자로서 역학적 에너지와 위치에너지에 대하여 비과학적인 개념을 가진 경우, 과학적 개념으로의 사고변화 과정이 탐색되었다.

면담이 끝나면 면담 당일엔 면담내용을 전사하고 내용을 간추려서 다음 면담에 반영하였다. 또한 정리한 내용을 다음 면담시간에 참여자에게 확인하는 과정이 있었다. 참여자와의 면담은 해석과정과 순환적인 관계가 있으며 면담이 진행되는 동안에도 문헌 연구는 계속 되었다.

2. 참여자

본 연구는 지방 소재 대학교인 H대학교에서 진행되었다. 이 학교에서 과학교육을 전공하는 학생을 표집한 것은 연구의 제한점이 된다. 하지만 이들을 선택한 것은 학교의 설립취지에 비추어 대부분의 학생들이 교직을 희망하고 있으며, 이들의 지식 습득 방법에 따른 과학의 본성에 대한 인식론적 신념과 학습 정도는 앞으로 그들이 교사가 되었을 때 과학교육에 영향을 줄 것으로 생각하기 때문이었다. 또한 질적 연구에서 중요시되는 점으로 연구자가 참여관찰을 하고 면담하기 쉬운 지리적 여건을 갖추었기 때문이었다.

연구문제를 탐색하기 위하여 연구자가 어떤 모집단의 주요 하위집단을 확인하고, 각 범주에서 임의로 몇 명씩 참여자를 선정해 나가는 할당 선택 전략(quota selection strategy)(김윤옥 등, 1996)을 실시하였다. 참여자를 선정하기 위해 우선 일반 물리를 수강하고 있거나 마친지 1년이 되지 않는 과학 교육과 학생을 대상으로 기초 조사를 하였다. 기초 조사에 응답한 학생들은 모두 73명으로 그들의 전공은 수학교육, 물리교육, 환경 교육, 생물교육, 지학교육 등이다.

기초 조사를 위하여 몇 가지 설문지를 사용하였으며 설문내용은 최종적으로 선발되는 참여자들과의 기초 면담자료로 활용되기도 하였다. 연구문제와 관련하여 학습자의 과학 지식의 본성에 대한 인식론적 신념을 파악하는 것이 필요하다. 이와 같은 맥락으로 기초 조사 대상자들에게 기존의 검사지를 이용하여 학습자의 과학에 대한 철학적 관점을 설문조사하였다. 과학의 철학적 관점에 대한 검사지는 J. Stewart에 의해서 개발된 것을 반은기 등(2000)이 번역한 것으로 사용하였다. 기초 조사 대상자들의 과학에 대한 철학적 관점의 분포에서 절충주의는 72.6%, 경험주의는 13.7%, 구성주의는 9.6%, 합리주의는 4.1%를 차지하였다. 또 다른 기초 조사지로서 물리에 대한 태도 검사지는 이경훈의 과학에 대한 태도 검사지(이경훈, 1997)를 이용하였는데, 과학이라는 용어를 물리라는 용어로 바꾸고 학습과 실험요소를 취하여 사용하였다(Chronbach alpha= 0.9765). 물리에 대한 태도는 참여자를 선정하는데 준거로서 작용되지 않았으나 참여자의 한 특성으로서 물리에 대한 태도와 면담에 임하는 태도를 이해하는데 도움이 되었다.

최종적으로 2001년 3월에 6명의 참여자가 선택되었다.

그들은 모두 물리교육을 전공하였으며 일반 물리 연습문제 풀이 시간을 통하여 연구자와 래포(rapport)가 형성되어 있어 면담을 이용한 정성적인 연구를 하기에 적합하였다. 그리고 참여자들의 과학의 본성에 대한 관점의 분포를 보면 기초조사 대상자들의 과학의 본성에 대한 관점의 분포와 정확하게 일치하지 않으나 이 분포를 반영하여, 절충주의자 3명, 구성주의자 1명, 경험주의자 1명, 합리주의자 1명으로 구성하였다. 물리교육과 학생들로만 참여자를 선정한 이유는 그들이 역학 강의를 듣는 동안 역학적 에너지의 개념변화 과정을 살펴 보면서 참여자들의 인식론적 신념이 실질적으로 앞에 대한 신념과 개념변화에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해서였다. 참여자들의 물리학 습과 물리실험에 대한 태도는 과학에 대한 철학적 관점과 상관없이 다양한 것으로 나타났다.

3. 자료수집

본 연구에서 필요한 자료는 크게 과학지식의 본성과 교과서 내 물리지식의 본성에 대한 인식론적 신념, 물리 수업시간의 앞(knowing)에 대한 인식론적 신념, 역학적 에너지에 대한 참여자의 기초 개념이다. 여기서 역학적 에너지에 대한 기초개념이란 위치에너지와 역학적 에너지의 음의 값에 대한 참여자들의 개념을 말한다. 참여자들의 과학지식에 대한 인식론적 신념을 파악하기 위하여 기초조사에서 얻은 응답결과를 참고하고 심층 면담을 하였으며, 물리 수업 시간에 참여자들의 앞에 대한 인식론적 신념을 알아보기 위하여 면담과 참여관찰을 하였다.

본 연구에서는 물리 수업시간에 앞에 대한 인식론적 신념과 관련된 요소로서 초인지 활동을 들었는데, 이 요소는 연구자가 처음부터 예상하기보다는 면담을 통하여 알게 된 것이다. 그러므로 면담의 해석에 타당성을 높이기 위하여 박종원(1992)이 초인지 활동 프로그램에서 사용한 것을 임성민(2001)이 보완하여 개발한 초인지 활동 평가지를 참여자들에게 배부한 후 응답자료를 가지고 계속해서 면담을 진행하였다.

가장 중요한 해석의 근거로 삼은 자료는 참여자들과 2001년 4월에서 2001년 9월까지 5~9차에 걸친 면담 자료이다. 대부분의 참여자들과 반구조화되고, 심층적인 면담을 하였다. 우선 참여자들의 수업 시간을 배려하여 면담약속 시간을 정하였다. 참여자들은 과학에 대하여 각각 다른 인식론적 신념과 역학적 에너지에 대한 기초개념을

갖고 있으므로 1회당 면담에 걸린 시간이 다르며 면담 횟수와 면담 주제의 순서가 달랐다. 참여자들의 과학의 본성에 대한 인식론적 신념과 그들의 역학적 에너지에 대한 개념과의 관계를 알아보기 위하여 물리교육 전문가의 도움을 받아 그들의 관계를 알아보는 지필 검사지를 구성하여 면담의 기초자료로 삼았다. 반구조화 면담의 신뢰도와 타당도를 높이기 위하여 기초조사를 하는 과정에서 사용했던 검사도구를 이용한 결과와 개념도, 과학적 산물에 대한 설문내용, 참여자들이 물리 문제를 어떻게 분리하는지 알아보는 설문내용, 고전역학 교과서의 자료, 인지갈등을 일으키는 역학적 에너지에 대한 논박 자료 그리고 참여자가 역학 시간에 작성한 노트 등을 자료의 원천으로 삼았다. 시간이 없는 참여자와는 전자우편을 한 차례 이용하기도 하였다.

4. 면담자료의 처리와 분석

본 연구 문제의 하나는 학습자가 물리수업에 참여하는 기간동안 과학지식과 교과서 내 물리지식에 대하여 갖는 인식론적 신념이 앞에 대한 인식론적 신념에 어떻게 영향을 주는지 알아보려 하는 것이다. 그러므로 문헌을 통하여 인식론적 신념을 이루는 요소를 조사하고 면담을 통해 나타난 물리수업 상황에서 참여자들의 지식과 앞에 대한 인식론적 신념을 바탕으로 참여자의 분류를 시도하였다. 그러나 참여자를 분류하는 준거는 문헌에 나온 요소들 사이의 관계를 살펴보는 것으로 결론을 내릴 정도로 간단하지 않았다. 면담에 대한 전사자료의 처리와 분석은 다음과 같은 방법으로 하였다.

Hofer와 Pintrich(1997)의 제안에 따라 지식(knowledge)에 대한 인식론적 신념의 하위 구성요소로 '지식의 확정성'과 '지식의 상호관련성'을 생각하고 면담을 하였다. 인식론적 신념의 하위 구성요소에서 Hofer와 Pintrich(1997)가 제안한 '지식의 간단성(simplicity of knowledge)'이라는 어구 대신 '지식의 상호관련성(interrelation of knowledge)'이라는 어구를 사용한 이유는 과학지식의 본성 중에 과학지식은 되도록 간단한 이론, 법칙, 개념을 이용하여 포괄적으로 자연현상을 설명한다는 '과학지식의 간결성'과 혼동될 우려가 있기 때문이었다. 본 연구는 참여자들이 물리수업에 참여하는 상황을 고려한 것이므로 과학 지식의 본성에 대한 인식론적 신념의 하위 구성요소로 '과학지식의 확정성'과 '과학지식의

상호관련성'을 생각하였다.

학생들의 과학의 본성에 대한 인식이 학교에서의 학습 과정에서 어떤 역할을 하는지 알아보기 위해서는 과학자들이 창출하고 대면하는 과학지식의 본성뿐 아니라 학생들이 개인적으로 경험하는 좁은 범위의 과학지식의 본성에 대한 인식도 알아보는 것이 필요하다(Hogan, 2000). 그러므로 교과서 내 물리 지식의 본성에 대한 인식론적 신념의 구성요소로 '교과서 내 물리 지식의 확정성'과 '교과서 내 물리 지식의 상호관련성'을 함께 고려하였다.

Hofer와 Pintrich(1997)의 제안에 의하면 얹에 대한 인식론적 신념의 구성 요소에는 '지식의 근원'과 '얹에 대한 정당화'가 있다. 그러나 본 연구에서는 두 가지 요소 중 면담에 대한 전사 자료의 해석에 있어서 '얹에 대한 정당화'를 찾을 수 없었으므로 배제시켰다. 본 연구에서는 얹에 대한 인식론적 신념 역시 참여자들이 물리수업에 참여하는 상황으로 제한된다.

그러나 참여자들이 물리수업에 참여하는 동안 생각하는 얹에 대한 인식론적 신념은 단순히 과학지식의 본성·교과서 내 물리 지식의 확정성이나 상호관련성의 영향을 직접적으로 밀접하게 받지는 않았다. 예를 들어 과학지식의 불확정성을 인식하므로 얹에 대한 신념이 의미를 구성하는 것에 가깝거나, 과학지식의 상호관련성을 인식하므로 수업시간에 과학지식 사이의 상호관련성을 반드시 생각하지는 않았다. 그러므로 면담자료에 나타난 참여자들의 얹에 대한 인식론적 신념을 알아보기 위해 이것과 관련된 것으로 물리수업시간에 생각하는 자신의 개념에 대한 신념, 이해하는 방식, 에너지의 정의에 대한 이해, 필기에 대한 중요성, 교수자에 대한 인식, 학습자에 대한 인식, 교과서에 기술된 공식에 대한 인식 등이 종합적으로 검토되었다. 이와 같이 참여자가 물리수업에 참여하는 동안 생각하는 얹에 대한 인식론적 신념은 미묘하지만 Hofer와 Pintrich(1997)가 제안했던 과학지식·교과서 내 물리 지식의 확정성, 상호관련성에 대한 인식론적 신념과 함께 과학지식의 본성에 대한 다른 성격이 관련되어 있었다. 따라서 문헌에 나온 인식론적 신념의 요소를 고려하면서 면담자료를 종합적으로 해석하여 학습자들의 과학지식과 교과서에 나오는 물리 지식의 본성에 대한 인식론적 신념이 형성하는 물리수업시간의 얹에 대한 인식론적 신념과의 관계를 연구결과에 기술하는 바와 같이 세 가지 범주로 분류할 수 있었다. 이것은 '권위에 의하여 물리 지식을 받아들이기', '교사에 대한 인식에 의해 물리 지식을 받아들

이기', '과학지식은 인간의 다양한 사고의 산물이라는 인식에 의한 이해'로 구성된다.

Ⅲ. 결과 및 논의

본 연구는 학습자가 역학적 에너지에 대하여 배우는 동안 과학지식의 본성·교과서 내 물리 지식의 본성에 대한 인식론적 신념과 물리 수업시간의 얹에 대한 인식론적 신념 사이의 관계를 역학적 에너지에 대한 기초개념의 변화 과정과 함께 알아보는 것이다. 그러므로 첫째, 참여자들이 물리수업에 임할 때, 과학지식과 물리교과서 내 지식에 대한 인식론적 신념이 그들의 얹에 대한 인식론적 신념에 어떻게 영향을 주는지 기술한다. 그리고 둘째, 학습자의 역학적 에너지에 대한 기초 개념이 어떻게 변화하고 개념 변화에 중요하게 작용한 것이 무엇인지 인식론적인 신념을 고려하면서 기술하고자 한다.

1. 물리 수업시간의 지식과 얹에 대한 인식론적 신념 사이의 관계

과학지식과 교과서 내 물리 지식의 '확정성'과 '상호관련성'에 대한 인식론적 신념을 검사도구(반은기 등, 2000)를 통해 나타난 과학에 대한 철학적 관점과 비교하여 정리하였다. 그리고 물리수업시간의 맥락에서 본 지식과 얹에 대한 인식론적 신념과의 관계를 구체적으로 진술하고 논의하고자 한다.

1) 참여자들의 과학철학적 관점과 과학지식·교과서 내 물리 지식에 대한 인식론적 신념

Hofer와 Pintrich(1997)의 제안에 따라 과학지식의 본성을 구성하는 요소로 '확정성'과 '상호관련성'으로 보고 참여자들의 과학철학적 관점과 과학지식의 본성에 대한 인식론적 신념을 다음과 같이 표로 정리하였다(Table 1).

검사도구를 이용하여 조사한 참여자들의 과학지식에 대한 철학적 관점이 다르다고 하여, 그에 따라 과학지식의 확정성과 상호관련성에 대한 인식론적 신념에 일관성 있는 차이가 있지는 않았다. Y를 제외한 모든 참여자들이 과학지식은 오랜 시간에 걸쳐서 변할 수 있다고 생각하였다.

D는 물리, 화학, 생물 등의 과학지식 간에 관련성이 별로 없으며, 따라서 어떤 분야의 과학이론이나 법칙간의 관련성이 또 다른 이론을 검증하는데 전혀 상관이 없다고

Table 1. Participants' Philosophical views by Questionnaire and Epistemological beliefs about the nature of science

Participant	Philosophical views on science	Epistemological beliefs about the nature of science	
		Confirmation	Interrelationship
K	Eclectic	Can be changed over time	Partly related
J	Eclectic	Can be changed over time	Whole related
Y	Eclectic	Can always be changed	Whole related
D	Empirical	Can be changed over time	Not related
B	Rational	Can be changed over time	Whole related
H	Constructive	Can be changed over time	Whole related

Table 2. Participants' epistemological beliefs about the nature of physics in textbook

Participant	Epistemological beliefs about the nature of physics in textbook	
	Confirmation	Interrelationship between gravitational fields and electrical fields
K	Confirmatory but Can be changed	No relation
J	Can be changed over time	No relation
Y	Correct until now/Can be changed now	No relation
D	Can be changed over time	No relation
B	Can be changed over time	No relation
H	Can be changed over time	Relation

하였다. 참여자 K는 과학지식들 중 일부는 관련이 있지만 일부는 관련이 없다고 하였다. K는 과학이론이나 법칙간의 관련성이 또 다른 과학이론을 검증하는데 상관을 하는 것에 대하여 확신을 갖기보다는 가능성이 있을 것 같다고 생각하였으며, 과학관련 수업시간에 상호관련성을 반영하여 생각하지 않았다. 참여자 J, B, H, Y는 물리, 화학, 생물 등 과학지식 간에 관련성이 모두 있다고 하였다. 그러나 수업시간에 과학지식 간에 상호관련성을 생각하는가라는 질문에 대하여 B, H, Y는 그렇다 라고 대답하였으나 J는 상호관련성을 생각하지 않는다고 하였다.

때 그럴 만한 여유도 없을 수도 있고, 단순히, 혼자, 생각하는게 아니라, 받아들여려고만 생각하고 그냥 수업을 들으니까.

지식에 대한 인식론적 신념을 조사할 때 특수한 맥락을 고려하는 것이 중요하다. 본 연구는 참여자가 물리수업에 참여하는 동안 생각하는 인식론적 신념에 관한 것이므로 광범위한 과학지식의 본성에 대한 신념만을 조사하는 것이 아니라 교과서에 나오는 물리지식의 본성에 대한 신념을 탐색하는 것도 의미 있는 일이다. 따라서 참여자들의 교과서 내 물리지식에 대한 인식론적 신념을 면담을 통해 조사하여, 다음과 같이 정리하였다(Table 2).

교과서 내 물리지식에 대한 인식론적 신념을 알아보기 위하여 물리지식의 확정성과 더불어 물리지식의 상호관련성에 대한 인식을 알아봐야 할 것이다. 본 연구는 참여자들이 중력장 내 역학적 에너지를 배우는 동안 진행되었으므로 물리 지식의 상호관련성에 대한 인식을 알아보는 대신 전기장 내 역학적 에너지의 상호관련성에 대한 참여자

면담자: 지금 J가 그랬잖아, 물리끼리도 같이 연관이 있는 거 같다, 과학지식끼리도 그렇고. 그런데 J는 그런 걸 갖다가 물리수업시간에 적용을 시키려고 노력한 적이 있니?

학생(J): 아니요.

면담자: 전혀 없어?

학생(J): 전혀 없는 게 아니라. 생각이 안나요....어, 수업할

들의 인식을 알아보았다.

설문지로 조사된 과학지식에 대한 참여자들의 철학적 관점(Table 1)을 Table 2와 비교할 때 교과서 내 물리 지식의 확정성에 대한 신념이 철학적 관점에 따라 일관성 있게 차이가 있지 않았다. 참여자들의 교과서 내 물리 지식의 본성에 대한 신념은 과학의 본성에 대한 신념과 약간 차이가 있었으며, 참여자 K는 교과서 내 물리 지식의 변화가능성을 부정한 것은 아니나 거의 확정적이라고 하였다. 하지만 거의 모든 참여자가 교과서 내 물리 지식의 변화가능성을 인식하고 있었다.

면담 결과, 역학 강의가 진행되는 동안 참여자 H가 전기장 내 역학적 에너지와 중력장 내 역학적 에너지의 유사점과 차이점을 비교한 것으로 나타났다. 다음은 참여자 H가 역학적 에너지에 관한 일곱 문제를 분류하고 전기장과 중력장개념의 상호관련성에 대한 인식에 대하여 면담자와 이야기하는 내용이다.

면담자: 다름 바가 없는 문제라는 거지, 음 그러면은 이런 사실은 1번부터 7번까지가 에너지의 전환관계를 나타내는 것이다(=참여자 H의 응답을 다시 한번 정리하는 면담자). 이런 거, 이런 거, 어떤 면에서는 통합적인 거잖아, 그런데, 전 시간에 H하고 얘기를 했을 때, 과학이라고 하는 것은 서로 얽혀있다, 그렇게 표현을 한 걸로 알고 있거든. 그런 걸 수업시간에 응용을 하니 H가? 한 부류다, 한 부류니까 같은 문제다, 이렇게

학생(H): 수업시간에요? 지금 에너지를 배우고 있는데, 그런 생각은 해요, 그러니까 1학년 2학기 때, 전기장, 자기장 그런 거 있잖아요.

면담자: 음.

학생(H): 전, 그런데 다시 역학을 배우면서, 뭐, 중력장 개념 같은 거를 배울 때 보면 상당히 유사한 거를 느끼고, 차이, 차이점도 느껴요.

면담자: 유사하다라는 건 뭐고, 차이점이라는 게 뭔지 얘기 좀 해줄래?

학생(H): 뭐, 장의 개념 그러니까, 굉장히 신기했던 게 그런 장의 개념을 이용해서 이렇게 그런 자연현상을 표현할 수 있다, 포텐셜 에너지 그런 식으로 표현하고, 전기장과 자기장이 상당히 밀접하게 연결되어 있고, 역학에서도 그런 에너지들이 서로 어떤 부류의 에너지든, 상당히 밀접히 연결되어 있잖아요, 그런거. 구체적으로는 지금 잘 생각이 안 나거든요.

다른 참여자들은 수업시간에 자발적으로 전기장 내 역학적 에너지와 중력장 내 역학적 에너지를 비교하지 않았다.

이상을 정리하면, 설문지를 통한 참여자들의 과학철학적 관점에 따라 과학지식과 교과서 내 물리 지식의 확정성에 대한 인식에 일관성 있는 차이를 볼 수 없었다. 그리고 과학지식 사이의 상호관련성과 교과서 내 물리 지식 사이의 상호관련성에 대한 인식에도 일관성 있는 차이가 나타나지 않았다. 그러므로 단순히 설문지를 통하여 알게 된 참여자의 과학철학적 관점으로 과학지식·교과서 내 물리 지식에 대한 확정성과 상호관련성에 대한 인식을 추론할 때는 주의를 기울여야 할 것이라고 생각한다.

2) 물리수업시간의 맥락에서 본 지식과 앞에 대한 인식론적 신념의 관계

면담을 통하여 알게 된 앞에 대한 인식론적 신념의 유형(Table 3)을 앞에서 제시한 표들과 피상적으로 비교하

Table 3. Participants' epistemological beliefs about knowing in physics class

Participant	Epistemological beliefs about knowing in physics class
K	Receiving by Authority
J	Receiving by Authority
D	Receiving by Authority
B	Receiving by perception of teachers' role
H	Understanding by thinking scientific knowledge as the product of human being's multiple thought
Y	Understanding by thinking scientific knowledge as the product of human being's multiple thought

였을 때 검사도구를 이용한 과학철학적 관점과, 과학지식이나 교과서의 물리지식의 본성에 대한 인식론적 신념은 의미 있는 일관성을 제시하지 못한다.

그러므로 학습자가 역학강의를 듣는 동안 과학지식의 본성, 교과서 내 물리지식의 본성에 대한 인식론적 신념에 따라 물리 수업시간에 앞에 대한 인식론적 신념이 어떤 유형으로 나타나는지 면담결과를 해석하여 그 관계를 논의하고자 한다. 참여자들의 앞에 대한 인식론적 신념은 '권위에 의해 물리지식을 받아들이기', '교사에 대한 인식에 의해 물리 지식을 받아들이기', '과학지식은 인간의 다양한 사고의 산물이라는 인식에 의한 이해'로 분류되었다.

(1) 권위에 의해 물리지식을 받아들이기

참여자 K, J, D는 물리수업시간에 교과서와 교수의 물리지식의 권위에 의지하여 지식을 받아들이는 것으로 나타났다. 참여자 K, J, D는 수업시간에 물리지식을 외우기 보다는 이해하는 것이라고 생각하였다. 그러나 참여자들이 교과서 내 물리지식과 과학지식은 권위 있는 과학자나 교수가 인정한 지식이라는 점을 중요하게 생각하는 것은 물리 수업시간에 참여자들의 앞에 대한 인식론적 신념에 바람직하지 못한 영향을 주었다. K, J, D와의 면담 중 한 예로 참여자 J와의 면담을 기록하면 다음과 같다.

면담자: 그렇지는 않아? 그러면 음, 물리 수업시간에 J가 하는 역할이 뭐라고 생각해?

학생(J): 물리 수업시간에 제가 하는 역할이요?, 지금까지는 그냥 객관적인 지식을 받아들이는 입장

면담자: 음, 객관적인 지식을 받아들이는 입장 음 그랬구나, '그 받아들인다는 걸 갖다가 어떻게 어떤 행동을 하고, 어떤 생각을 하는지 구체적으로 표현한다면 어떻게 표현을 하니?' 라고 물어보면 무리일까?

학생(J): 아, 그 받아들이는 이론을 그 지식을 내가

면담자: 그러니까, J가 받아들인다는 게 뭘 말하는 걸까?

학생(J): 아

면담자: 그러니까, 연구자다, 알고 있는 사람이 물어본다라고 (생각)하지 말고, 그냥 중학생이 물어본다, 아니면, 초등학생이 물어본다라고 생각을 하고, 한 번 그걸 표현을 해줘, 알기 쉽게

학생(J): 전 그냥, 다른 친구들은 수업시간에 뭘 배우면, 일상생활에서 아, 저것도 그거다, 이렇게 연관을

지을 수가 있어요 근데, 저 같은 경우는 그렇게 연관이 안되는 거예요, 그냥 지식은 지식이고, 머리 속에 들어왔다가, 그냥 하나의 공식정도 이거는 이렇게 되더라, 단순히 시험보기 위한 그런 거 같아요.

J는 물리지식을 객관적인 지식이라고 생각하기 때문에 수업시간에 자신의 개념과 배우는 내용을 비교하기보다는 그저 받아들이는 것이 중요하다고 생각하였다. 그러므로 수업시간에 배우는 내용을 정리할 때 정리된 공식은 시험을 보기 위한 지식의 하나였다.

권위에 의해 물리지식을 받아들이는 참여자들의 특징을 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

첫째, 참여자 K, J, D는 교과서 내 물리지식이 거의 확정적이기는 하지만 앞으로 변할 가능성은 있으며, 과학지식이 변할 수 있다고 생각하였다. 그러나 이와 같은 지식의 변화가능성에 대한 인식이 물리수업시간에 앞에 대한 인식론적 신념에 영향을 주어 의미 있는 사고의 구성을 하도록 하지는 않았다.

둘째, 그들이 강의 내용을 이해한다는 것은 교수의 강의 내용을 옳다고 인정하고, 자신의 생각을 교수의 생각에 맞추는 것이었다. K, J, D는 교과서에 나오는 물리지식은 여러 과학자들에 의해 현재 객관적이며 옳은 것으로 인정된 것이라는 점을 중요하게 생각하였다. 그러므로 그들은 물리 수업시간에 교수의 강의 내용과 조금이라도 다른 생각이 있으면 그들의 생각을 대안적 개념이라고 인식하기보다는 오개념이라고 인식하여(Wandersee *et al.*, 1994; 권재술, 미발행) 인지갈등의 기회를 만드는 것을 회피하는 것으로 판단되었다.

셋째, 그들은 강의 내용의 대의 파악에 중점을 두거나, 강의 내용 중 중요한 것이 무엇인가를 생각하여 선별하기 보다는 지식의 조각들 사이의 논리적 과정을 이해하는 것에 중요성을 부여하였다. 다음은 K와의 면담내용이다.

(면담자는 K가 역학시간에 필기한 것을 함께 보면서 K가 생각하는 수업시간의 이해에 대하여 면담을 함)

학생(K): 일단 저는 단계 단계 과정을 알고 싶은데 일단 그게 안된다는 거고

면담자: 그래, 그건 얘기를 했고.

학생(K): 전체적인 거는 그냥, 제가 신경 쓰지 않아도 수업 듣다보면 돌리는 거라는 거지요.

면담자: 어, 수업시간에 신경을 쓰지 않아도 알 수 있다는 거야? 그런데 Stokes' theorem에서 이게 뭐냐 라고 생각을 얘기해봐라, 그랬더니, 이건 그냥 경로에 관계없는 거예요, 얘기를 했거든, 그것은 아니야, 이렇게 자연스럽게 알지 못한다면, 그것(=식의 전체적인 내용)을 알려고 노력을 하느냐라는 거지.

학생(K): 시험 공부 때 하죠.

(2) 교사에 대한 인식에 의해 물리 지식을 받아들이기

참여자 B의 과학 지식의 본성·교과서 내 물리 지식의 본성에 대한 인식론적 신념과 물리 수업시간의 앞에 대한 인식론적 신념 사이의 관계를 알아보았다.

B는 '과학 법칙은 어떤 현상에 대한 복잡한 여러 가지 것들의 규칙성을 찾아서 설명해 놓은 것'이라고 하였으며, '설명하는 것을 더 쉽고 편리하고, 간결하게 해야 한다'고 표현하였다. B는 또한 법칙이 다양한 상황에 적용이 가능하며, 식들도 그와 같이 여러 가지 상황에 적용될 수 있다고 생각하였다. 즉 B는 과학 지식의 도구적 성격을 인식하고 있는 것으로 판단되었다. 그러나 B가 물리 수업 시간에 생각하는 앞에 대한 인식론적 신념에 영향을 주는 것은 과학 지식과 교과서 내 물리 지식이 확정적인 면이 많다는 신념과 앞으로 자신이 직업으로 선택할 과학 교사에 대한 인식과 관련이 있었다. 다음 면담은 참여자 B가 희망하는 직업으로서 과학 교사의 역할에 대한 인식이 수업 시간의 앞에 대한 인식론적 신념에 어떻게 영향을 주는가를 보여준다.

면담자: 지식을 왜 받아들이기에 급할까?

학생(B): 호호호, 이제 그러니까 그 물리를 뭐 그냥 나중에 그러겠죠, 교사가 되는 그런 게 있으니까, 그래서 받아들이고, 받아들이는 거 가르치고, 그런 역할밖에, 그런 역할만 생각하고 있으니까 이제 받아들이는지도 모르죠.

면담자: 어어, 그런 역할.

학생(B): 그러니까, 내가 살아갈 그런 거, 맥락에 맞추어서 과학도 그냥 그렇게 받아들이는.

면담자: 그리고 B가 얘기를 했잖아. 그러니까 거기에 대해서 어떤 반응을 제기한다거나 그런 거는 안한다는 거야?

학생(B): 네.

면담자: 그래서 그런 확정력이 있고, 그 다음에 앞으로 내가 될 거하고 연결해서 생각해 봤을 때, 괜히 의문 제기해 시간 없애고 소모하는 거 보다는 그냥 받아들이고, 학생들한테 전달하자는 그런 차원이구나.

학생(B): 예, 그런 입장.

이와 같이 미래의 직업으로서 교사에 대한 인식의 영향을 받은 참여자의 앞에 대한 인식론적 신념은 다음과 같은 특징을 갖고 있었다.

첫째, B는 과학 지식과 교과서 내 물리 지식의 변화 가능성에 대하여 부정하지는 않았으나 이것이 물리 수업 시간에 B의 앞에 대한 인식론적 신념에 영향을 주어 의미 구성을 하는 학습을 하도록 하지 않았다. 그 보다는 B의 장래 직업으로서 교사는 단순히 지식을 전달하기만 하면 된다는 인식은 B가 물리 수업 시간에 지식을 수동적으로 받아들이는 것이 효율적이라는 생각을 하도록 하였다.

둘째, B는 과학 지식의 간결성을 이룬이나 법칙의 수준에서 생각하였지만, 이것을 수업 시간에 식의 풀이 과정에 잘못 연결하여 생각하였다.

면담자: 과학적 지식은 가능한 한 단순하게 전달된다고 생각을 하는 거니?

학생(B): 네.

면담자: 어, 왜 그런지 좀 얘기 좀 해줄래?

학생(B): 과학 법칙이 어떤 현상에서 복잡한 여러 가지 것들에 대한 규칙성을 찾아서 이렇게 설명해 놓은 거잖아요. 그래서요, 이 식이 이 경우에만 적용되는 것이 아니라, 어떤 법칙이 하나 있다면, 그 법칙이 어떤 다양한 경우에도 적용이 될 수 있는 게 옳다고 생각해요.

(중략)

(면담자는 B와 함께 참여자 B가 작성한 노트 필기를 보면서 수업 시간의 앞의 과정에 대하여 어떻게 생각하는지에 대하여 면담함)

학생(B): (학생 B가 과학의 간결성에 대하여 생각하는 것이 수업 시간에는 어떤 영향을 주는가에 대한 질문에 대하여) 그러니까요, 역학 같은 경우 수업 시간에 들어보면요, 어떤 식을 증명하거나 할 때 아주 복잡하게 펼쳐 놔다가 다시 묶어놓고 그렇잖아요.

면담자: 음, 그렇지.

학생(B): 그 때요. 딱 보면요, 딱 복잡하게 풀어놓을 때는 왜 저렇게 해야 되는지 그걸 못 받아들이겠어요.

면담자: 어.

학생(B): 그러구, 그런 거는 잘 안보게 되더라구요.

즉, 강의 중에 어떤 결론을 이끌어 내거나 증명을 할 때 복잡한 식이 나오면 B는 회피하였다. 이것은 과학지식의 간결성이 인식론적 자원(epistemological resources)의 역할을 한 것으로 나타났으며 (Hammer, 2000), 이 상황에서는 학습자의 앞의 방식에 부정적인 효과를 가져왔음을 알 수 있다.

셋째, B는 수업시간 동안에 지식의 조각들을 연결하는 고리들을 아는 것 뿐 아니라, 대의를 파악하고 중요하다고 생각하는 것을 나름대로 분류하는 것도 내용을 이해하는 과정이라고 생각하였다. 다음은 B와의 면담내용이다.

면담자: 아, 그냥 들어? 음 그렇구나. 그냥 듣는다. 그런데 여기서 내가 물리수업시간에 필기하는 게 얼마나 중요하니 그랬더니, 필기를 별로 안한다고 그랬어. 내가 (수업시간에 참여관찰을 하면서) 봐도 별로 필기는 안하더라고, 맞아?

학생(B): 네.

면담자: 그런데 이제 뭐라 그랬나 하면 받아 적는데 그 중요한 것만을 나름대로 골라서 적는다고 그랬거든.

B가 생각하는 중요한 게 뭐야?

학생(B): 중요한 거요?

면담자: 음.

학생(B): 그냥 전체적인, 중요한 개념 같은 거만 적어요.

(3) 과학지식은 인간의 다양한 사고의 산물이라는 인식에 의한 이해

면담을 통하여 참여자 H와 Y의 과학지식의 본성·교과서 내 물리지식의 본성에 대한 인식론적 신념과 물리수업시간의 앞에 대한 인식론적 신념 사이의 관계를 알아 보았다.

H와 Y는 공통적으로 교과서 내 물리지식을 포함하여 과학지식은 인간의 다양한 사고의 산물임을 인식하고 있었으며, 이런 인식은 물리수업시간에 초인지 활동을 하는 바탕이 되었다. H와 Y의 앞에 대한 인식론적 신념은 다음

과 같은 특징으로 정리할 수 있었다.

첫째, 인간 사고의 다양성을 인식하고 이와 같이 다양하고 융통성 있는 생각이 반영된 것이 과학지식이라는 생각은 학습자들의 삶과 인간존재에 대한 견해와 조화를 이루면서 물리수업시간에 초인지 활동을 하도록 하였다. 다음은 교과서 내 물리지식을 포함하여 과학지식은 인간의 독창적이고 다양한 사고가 자연현상에 규칙성을 부여한 것이라고 생각하는 H가 인간의 존재의미를 독특한 사고에 두고 있으며 이것이 앞에 대한 인식론적 신념과 관계가 있음을 나타내는 면담내용이다.

면담자: 어, 그런 수준(중학교에서 배우는 과학수준)이 아주 복잡한 논리적인 수준을 요하는 건 아니었다. 음, 그렇구나, 더 할 얘기가 있어?

학생(H): 할 얘기가요? 어, 그, 제가 교수님이 수업하실 때 제 이론을 만든다기보다는요, 내가 생각했던 거를, 교수님이 말씀하는 건 다른 사람도 다 생각하는 거거든요, 개성이 있다고 하셨는데, 남들이랑 똑같이 생각할 거라면, 내 존재의 이유가 없지요, 아니 너무 좋은 말인가? 왜냐하면, 남들과 똑같이 생각할 거면, 태어나서 남들과 똑같이 생각하고, 똑같이 살다가 똑같이 죽을 거면, 그 무슨, 죽는다는 걸 좀 많이 생각해 봤거든요, 죽으면, 내가 생각하고 있는 내 생각이 그러니까 다 없어지는 거잖아요, 다 소멸되고

면담자: 존재의 이유를 너의 독특한 생각에서 찾고 싶을 수도 있는 거로 보면 되나?

학생(H): 예.

다음은 교과서의 물리지식을 포함하여 과학지식은 융통성이 있고 인간의 무궁무진한 생각이 반영된 지식이라고 보는 Y가 이와 같은 인식론적 신념에 의해 물리수업시간에 생각하는 앞의 인식론적 신념에 어떤 영향을 주는지 보여주는 면담내용이다.

면담자: (과학지식이) 그런 융통성이 있다든가, 인간의 그 머릿속에서 나온 생각이요 들어맞는 이론의 세계가 있다는 것을 언제부터 생각을 하게 되었는지 궁금하네.

학생(Y): 과학을 배우면서.

면담자: 과학을 배우면서?

학생(Y): 안 그랬으면, 그냥 그렇게 그대로 살았을 거 같은 데요.

면담자: 음.

학생(Y): 과학은 대개 논리적이고 막 그렇잖아요.

면담자: 음.

학생(Y): 과학을 배우다 보니까.

면담자: 음, 그러면서 이제 인간의 머릿속에 있는 어 증명이 되지 않았지만, 어느 정도 맞아떨어지는 이론이 있을 수 있다 그런 걸 알게 된거야?

학생(Y): 네, 무궁무진해요.

면담자: 무궁무진해?

학생(Y): 네.

면담자: 무궁무진하다라는 건 뭐까?

학생(Y): 호호 그러니까 어떤 거에 대해서 사람들이 생각하는 바는 정말 많아요.

면담자: 어, 하나의 상상력이야?

학생(Y): 네?

면담자: 하나의 상상력?

학생(Y): 그 사람은 상상은, 그냥 없는 거를 그냥 생각해 냈다기 보다는 자기의 경험에 비추어 볼 때 그걸 설명하려고 했겠조.

(중략)

면담자: 음, 그리고 무궁무진한 면 안에 에너지가 있는 거고, 성립한 요인도 있는 거고, 그렇구나. 어, 참 그런데, 중학교를 좋은 중학교를 나왔나, 고등학교를 좋은 고등학교를 나왔나 Y가 무궁무진하다는 그런 생각을 하게 해준 선생님이 누구일까?

학생(Y): 호호호.

면담자: 어, 딱히 생각나는 선생님은 없고?

학생(Y): 네.

면담자: 어, 그렇구나.

학생(Y): 융통성 있는 게 좋아요.

(과학은 인간의 무궁무진한 생각으로 구성되었기 때문에 수업시간에 자신의 생각을 강의 내용과 비교한다는 참여자 Y)

면담자: 어, 근데, (과학지식을 구성하는 인간의 생각)이 그 무궁무진하다는 생각을 하기 때문에 어떤 이렇게 태도를 갖게 된다거나 그러니깐 만약에 그게 없다면, 이렇게 할 텐데 그게 있기 때문에 좀 더 다른 태도를 갖는, 태도라는 게 행동만을 말하는

게 아니라, 감정이라든가 자기의 마음가짐 같은 게 있을 수 있거든, 그런 게 있을 수 있을까? 아니면 그냥 평소에 수업에 임할 때 Y는 어떤 생각을 갖고 있지?

학생(Y): 음, 그게 그렇게 생각할 수 있어요, 왜 저렇게 하면 안될까 하고 생각할 때 있어요. 교수님이 막 설명하는 거 확인할 때 저렇게 하면 안될까 다르게 그러니까 이런 식으로 하면 안될까.

면담자: 아, 너의 생각을 적용시켜 본다는 거야?

학생(Y): 그냥 생각해 볼 때가 있어요.

면담자: 어어, 그래 그러니까 네 생각을 생각해 볼 때가 있어?

학생(Y): 네, 그리고, 교수님이 정말 틀린 것 같으면 그냥 이렇게 두 줄 긋고, 정리할 때가 있어요.

둘째, 참여자 H와 Y는 물리수업시간에 지식들 사이의 논리적인 연결뿐 아니라 대의와 맥락(context)의 파악에도 관심을 가졌다.

셋째, 참여자 H와 Y는 물리수업시간에 지식들 간의 상호관련성을 항상 생각하며, 특히 H는 전기장에서의 역학적 에너지와 중력장에서의 역학적 에너지 사이의 유사점과 차이점에 주목하여 상호관련성을 생각하였다(Table 2).

(4) 얹에 대한 인식론적 신념과 초인지 활동 정도

면담을 통하여 참여자들의 초인지 활동 정도가 다름을 알게 되고 초인지 활동 평가지를 이용하여 이를 확인하였다. 이제 참여자들의 초인지 활동 정도가 다르게 나타나는 이유를 논의하고자 한다.

Table 4에 나타난 바와 같이 참여자 H와 Y는 물리수업시간에 초인지 활동을 자연스럽게 하였다. 특히, Y는 설문조사에서 과학지식에 대하여 절충주의적 관점을 갖는 것으로 판단되었으며, 교과서 내 물리지식은 현재 옳다고 인정된 지식이라고 생각하고(Table 2) 있었다는 것은 주목할 일이다.

설문조사에서 구성주의적 관점을 갖는 것으로 판단된 H와 절충주의적 관점을 갖는 것으로 판단된 Y의 공통점은 과학지식은 인간의 다양한 사고를 반영한 지식이라는 인식을 하고 있다는 것이었다. 그리고 이와 같은 인식은 인간의 존재 이유를 독특한 사고에서 찾거나 인간 사고의 다양성을 인정하고 융통성을 추구하는 참여자의 관점과도 조화를 이룬 것이었다. H와 Y는 물리수업시간에 학습내용

Table 4. Epistemological beliefs about knowing in physics class and using metacognitive strate

Student (Philosophical views on science)	Epistemological beliefs about knowing in physics class	Using metacognitive strategy
K (Eclectic)	Receiving by Authority	A few
J (Eclectic)	Receiving by Authority	A few
D (Empirical)	Receiving by Authority	Never
B (Rational)	Receiving by Perception of teachers' role	A few
H (Constructive)	Understanding by thinking scientific knowledge as the product of human being's multiple thought	Using naturally
Y (Eclectic)	Understanding by thinking scientific knowledge as the product of human being's multiple thought	Using naturally

에 대하여 스스로 의미를 구성하고 이렇게 구성된 내용을 강의내용과 비교하면서 이해하였다. H와 Y는 이와 같은 초인지 활동을 수업시간에 자연스럽게 하였으며, 초인지 활동에 대한 특정한 훈련을 받은 것은 아니었다. 이들의 초인지 활동 정도가 다른 참여자들에 비하여 활발하다는 것은 초인지 활동 검사지에 대한 응답 결과를 통해서도 재확인되었다. 다음은 H가 수업시간에 생각하는 자연현상에 대한 설명이 자연현상에 규칙성을 부여하는 것이라고 생각하고 자신의 생각을 교수의 생각과 계속 비교하였음을 나타내는 면담내용이다.

(대학교 1학년 물리수업시간에 전기장의 개념에 대하여 자신이 스스로 생각한 개념을 교수가 이야기하는 전기장의 개념과 계속 비교해 보다가 종래에는 전기장에 대한 자신의 개념이 물리적 현상을 설명하기에 적합하지 않는 점을 발견하고, 전기장에 관한 과학적인 개념을 갖게 되었다고 이야기하는 참여자 H)

학생(H): 그 깨져야=어떤 지식이 자연현상을 설명하는 규칙성을 갖고 있으나 반증되는 어떤 현상을 설명할 수 없는 상태) 되는 (과학)지식이 다양한 방법에서 쓰인다면 그것을 완전히 버릴 수는 없잖아요, (음)그러니까 일단 다른 학문으로 생각할 수 있잖아요 그렇게 생각해요.

면담자: 그럼 두 가지 요소 중에 패러다임에 대한 그런 요소하고, 그러니까 과학이 무조건 진리는 아니더라는 요소하고 이해를 해야겠다는 생각이 계속 수업시간에 그런 역할을 한다는 거지?

학생(H): 예, 그러니까 작년 작년에두요, 그 때, 전, 전기장,

자기장 그런 거 배웠었잖아요, 전기장 같은 걸 배워도, 난 그 때 달리 생각했었거든요, 교수님 말보다도 내 생각이 더 괜찮을 것 같아서 그렇게 생각해 왔는데, 또 계속 봐, 배우다 보니까, 아이 교수님 방법이 더 괜찮아 보이는.

면담자: 괜찮아 보인다는 건 뭐야?

학생(H): 그러니까 제가 생각하고 있었던 거는요, 더 배울 수록 빛나는 게 되게 많더라구요.

H, Y와는 달리 권위에 의하여 물리지식을 받아들이거나 참여자가 장래 직업으로 선택하게 될 교사에 대한 인식에 근거한 앞에 대한 인식론적 신념을 갖는 참여자들은 수업시간에 초인지 활동을 활발하게 하지 않았다.

임성민(2001)은 그의 연구에서, 지식과 학습에 대한 학생들의 생각, 태도, 또는 기대 등을 인지적 신념으로 정의하면서, 물리학습에 대한 바람직한 인지적 신념이 성공적인 물리학습과정에 영향을 미치기 위해서는 자신의 인지 상태를 반추하고 인지적 방략을 사용하는 초인지 활동과 물리학습에 임하는 동기적 요소가 필요하고 주장하였다. 그러나 그의 연구에서 학습자가 초인지 활동을 할 수 있는 생각의 인식론적 근거는 구체적으로 제안되지 않았다. 참여자 H와 Y와의 면담결과에 따르면 교과서의 물리지식을 포함하여 과학지식은 인간의 다양한 사고가 반영된 것임을 인식하는 것이 참여자들로 하여금 초인지 활동을 하는 근거가 되었으며, 그런 인식은 그들의 '인간존재의 의미에 대한 생각' 그리고 '융통성을 좋아하는 성향'과 조화를 이룬 것이었다.

2. 역학적 에너지에 대한 기초 개념 변화 과정

역학적 에너지와 위치에너지의 음의 값에 대한 참여자들의 개념이 한 학기의 역학 수업에 참여하는 동안 어떻게 변화하는지 알아보았다. 참여자들 중 K, J, D, B는 '에너지는 일을 할 수 있는 능력'이라는 중학교 교과서에 나오는 에너지의 정의를 피상적으로 받아들였다. 따라서 그들은 면담을 시작할 때 역학적 에너지와 위치 에너지가 음의 값을 가지면 안된다고 주장하였다. 그러나 참여자 H와 Y는 에너지에 대하여 그 정의를 문자적으로 또는 피상적으로 받아들이지 않고 과학적 개념을 구성하여 갖고 있었다. 그러므로 역학적 에너지와 위치에너지의 음의 값에 대하여 비과학적 개념을 갖고 있는 참여자를 피상적 의미 형성자로 칭하고 과학적 개념을 갖고 있는 참여자를 유의미 형성자로 칭하였다. 이제 참여자들의 비과학적 개념의 원인과 그들의 개념변화 과정을 기술하고 논의하고자 한다.

1) 피상적 의미 형성자의 개념변화 과정

면담 전 참여자 6명 중 4명(D, J, B, K)이 역학적 에너지와 위치에너지의 음의 값에 대하여 비과학적 개념을 갖고 있었다. 면담을 하면서 D를 제외한 J, B, K가 위치에

너지와 역학적 에너지의 값에 대하여 과학적 개념을 구성하게 된 것이 확인되었다. D는 본인의 의사에 따라 개념변화를 위한 연구자와의 면담시간을 갖지 않았다. 권재술(1989)은 개념변화 유형별로 세 가지 인지적 과정 모델을 제시하였다. 그 모델 중 참여자 J, B, K의 개념변화 과정은 '확장형 개념변화'에 속한다고 할 수 있다. K의 개념확장 과정은 J, B의 개념확장 과정과 차이가 있었다. 그러므로 대표적으로 K와 J에 대한 개념변화에 대한 논의를 분리하여 진술할 것이다.

(1) 참여자 K

에너지는 일을 할 수 있는 능력이라는 정의를 피상적으로 받아들인 참여자 K는 음의 위치에너지 값과 음의 역학적 에너지 값의 개념을 이해하는데 갈등과 어려움을 겪었다(Table 5). K의 위치 에너지와 역학적 에너지의 값에 대한 생각은 과학에 대한 인식론적 관점 그리고 기준점의 위치에 대한 생각과 관련되어 있었다.

3월에 실시한 설문지에서 참여자 K는 위치에너지와 역학적 에너지가 음의 값을 가질 수 없다고 생각하고 있었다. 과학적 지식이 변화 가능성이 없는 것은 아니나 현재 상태로서는 확정적이라고 생각한 K는 역학적 에너지의 값과 위치에너지의 값을 과학적 지식으로 생각하였다. 그러

Table 5. Process of conceptual change experienced by participant K

Interview	Negative potential energy	Negative mechanical energy	Standard position
On the questionnaire (March)	Reject	Reject	Objective verification is needed
Interview about questionnaire(9th, April)	Agree	Agree	Both above and under the object being placed on the ground
Cognitive Conflict (9th, April)	Reject	Reject	Under the object
Interview (16th, April)	Reject	Reject	Center of earth
Interview (30, April)	-	-	-
Interview (5th, May)	-	-	-
Interview (14th, May)	Confused	-	On the ground
*Interview (28th, May)	Confused	Confused	Confused
Interview (31th, May)	-	Reject	Logical and convenient position
Interview (4th, June)	Agree	Confused	Logical and convenient position
Interview with graph(16th, September)	Agree	Agree	Logical and convenient position

*Interviewer explained about change of potential energy value and standard position to K

므로 한 지점의 역학적 에너지의 값과 위치에너지의 값이 기준점의 높이에 따라 달라질 수 없다고 생각하였다. 또한 과학적 지식은 객관적인 지식이며, 귀납적인 과정을 거치므로 우주에 있는 물체의 역학적 에너지를 계산하는 기준점은 편리성보다는 객관적인 검증을 거쳐야 한다는 것에 표기하였다. 그러므로 K는 역학적 에너지와 위치에너지를 계산하는 기준점은 항상 같은 것이 바람직하다고 생각하였다.

4월 9일의 면담에서 K는 자신의 생각을 수정하였으나 완전히 개념변화가 된 것이 아니었다. K는 지표면 위 물체의 위치에너지를 측정할 때 기준점이 꼭 지표면일 필요는 없다고 하면서 기준점의 위치에 따라서 음의 값을 갖는 위치에너지와 역학적 에너지가 가능하다고 하였다. 그러나 지표면을 기준으로 역학적 에너지와 위치에너지를 측정하였을 때, 에너지는 항상 양의 값을 가져야 한다고 주장하였다.

면담자: 역학적 에너지도? 아니면 역학적 에너지만 마이너스값이 나오면 안돼?

학생(K): 아니 위치에너지가 마이너스가 나오면 안되고

면담자: 그리고 역학적 에너지는 마이너스가 나와도 되고?

학생(K): 역학적 에너지도 마이너스가 나오면 안되고.

면담자: 왜 어떤 면에서?

학생(K): 근데,

면담자: 아 마이너스 그럼 ... 좋아. 양의 값이어야 된다?

학생(K): 근데 위치에너지가 마이너스값이 나오지 않으면은

면담자: 응.

학생(K): 어떻게, 에너지가 마이너스가 나올 수 없잖아요.

그러므로 본 연구자는 지하의 물체에 대한 역학적 에너지와 위치에너지를 논하게 함으로써 인지갈등을 일으키게 하였다. 이 때, K는 지하에 있는 물체의 위치에너지와 역학적 에너지를 계산할 때 기준점을 지표면으로 잡으면 안 된다고 하였다. K는 반박자료를 읽으면서 결론이 논리적으로는 틀린 것이 없는데 물리적으로 모순점이 있다고 주장하였다. 지하에 있는 물체의 위치에너지를 계산하기 위하여 길이 값을 대입할 때 길이는 스칼라양이므로 음의 값을 대입해서는 안 된다고 하였다.

4월 16일의 면담에서 K는 기준점에 따라 위치에너지의 값이 달라지면 안 된다고 하였다. K의 표현에 의하면 이것은 '기준점에 따라 데이터가 달라지는 것'이었다. 그러므로 그는 정확한 기준점이 필요하다고 하였다. 그리고 지구 위 물체의 위치에너지를 계산하기 위해 기준점은 지구 중심에 있어야 한다고 주장하였다. K는 에너지의 정의에 의하여 위치에너지와 역학적 에너지는 항상 양의 값이 나오도록 기준점이 정해져야 한다고 생각하였다. 그러므로 면담자가 보통은 무한대로 기준점을 놓지 않는다고 반문하자 맞다고 하면서 혼란스러워 하였다. 이와 같은 생각은 면담을 시작한지 2개월이 지날 때까지 계속되다가 6월 4일에는 위치에너지가 음의 값을 갖는 것에 대하여는 동의할 하지만 역학적 에너지가 음의 값을 갖는 것에 대하여는 혼란스러워 하였다(Fig. 1).

K는 역학적 에너지의 값에 대하여 에너지의 정의에 대한 문자적인 해석 때문에 그것이 양의 값이어야 한다는 생각을 버리지 못하였다. 그러므로 수업시간에 배우는 역학적 에너지에 대한 표현과 기준점에 대한 생각의 변화로 인한 역학적 에너지의 값에 대한 개념은 K에게 혼란스러움을 주었다. 즉 역학적 에너지 값의 부호에 대하여 비과학적 개념과 과학적 개념이 서로 충돌하고 있음을 알 수

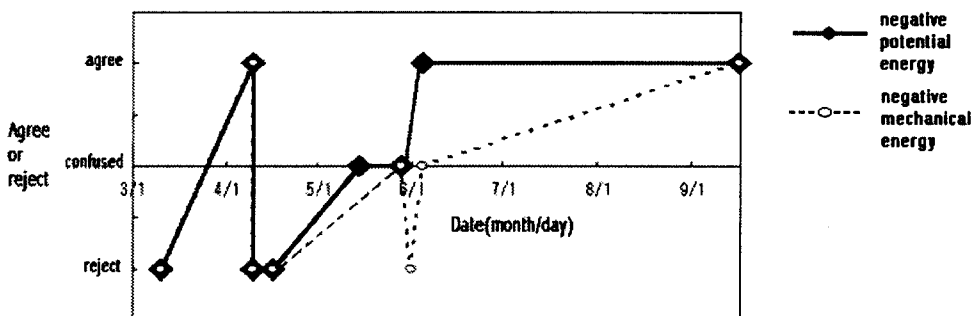


Fig. 1. Process of conceptual change experienced by K

있었다. 그러므로 에너지는 일을 할 수 있는 능력이라는 문자적 정의는 K가 위치에너지와 역학적 에너지의 부호에 대한 과학적인 개념을 갖는데 커다란 방해역할을 하고 있음을 알 수 있었다.

갈등을 겪고는 있지만 위치에너지의 값에 대한 개념의 진전에는 K가 과학지식에 대한 인식론적 신념에 있어서 도구주의적 성질을 이해한 것이 효과적인 역할을 하였다. K는 물리실험을 하면서 선배와의 대화를 통하여 과학지식이 자연현상을 설명하기에 편리하면서 논리에 맞는다면 성립할 수 있음을 생각할 기회를 갖게 되었다.

이와 같은 생각은 역학 강의를 통하여 만유인력에 의한 기준점을 논리상 맞으면서 편리함에 의해 정하게 된다는 교수의 강의내용과 조화를 이루었다. 그러므로 K는 어떤 물체의 위치에너지를 계산하는 기준점은 계산하기 편하고 논리에 맞는다면 어디를 정해도 된다고 생각하였으며, 위치에너지가 음의 값을 가질 수 있다고 생각하였다. 이와 같이 과학 지식은 자연현상을 설명하기 위하여 도구적인 성질을 띠기도 한다는 생각을 하게 된 K는 전자기학을 역학보다 어려워했던 이유를 깨닫게 되었다고 진술하였다. 다음은 K와의 면담내용이다.

면담자: 음, 이론 물리니까, 편리성에 의한 거는 받아들일 수 있다. 그런데 내가 궁금한 거는, 예전에는 그렇게 생각하지 않았는데, 왜 그런 식으로 생각이 변했을까라는 거야.

학생(K): 예전에는 이론물리랑 실험물리가 완전히 분리되었다는 사실을 몰랐어요.

면담자: 아, 그런데, 이 역학시간을 통해서 알았어?

학생(K): 역학시간을 통해서 배운 게 아니라, 선배한테 들었어요.

면담자: 어느 선배한테?

학생(K): 3학년 선배한테요

면담자: 뭐라고?

학생(K): 이론물리를 연구하는 사람들, 이론을 내놓은 사람이 실험까지 같이 하는 줄 알았는데, 이론물리를 해서 이론을 내놓는 사람이랑, 직접 실험을 해 놓는 물리학자들이랑, 완전히 따로 이렇게 구분이 되었다고.

면담자: 어, 어떤 선배가 그런 얘기를 했어?

학생(K): ○○ 형이요

면담자: ○○이?, 아 2학, 지금 3학년? 어, 그러면은 사람

의 생각에 의해서, 편리성에 의해서 어떤 개념이 만들어지기도 한다라고 ○○이라는 사람이 얘기를 한거야?

학생(K): 아이, 그래서, 제가 그냥, 그 때, 그렇게 생각을 했어요, 이 사람도 파인만도 이론 물리학자잖아요.

면담자: 어, 그래서.

학생(K): 이 사람도 했듯이, 그러니까, 아 그러니까, 논리적으로 생각을 하는 거니까,

(누군가 소강의실로 들어 오려함)

면담자: 잠깐만, 여기 뭐 좀 하거든요.

학생(K): 그러니까 설명을 할 때, 편리하게 설명을 하기 위해 하는 거니까, 편의성도 어느 정도 인정을 할 수 있다고 보거든요, 그냥 이론 물리에서는.

(중략)

면담자: 그 다음에 과학적인 지식, 물리적인 지식이 추상성을 갖고, 개념에 의해서 만들어진 거고, 그건 편리성을 추구할 수 있다, 그렇다면, 그 편리성이라는 건 뭔가 하면, 내가 생각할 때 그거거든, 어떤 자연현상을 설명하기 좋게 하는 거, 그거에 대해서는 어떻게 생각을 하니?

학생(K): 그렇죠, 설명하기 좋다거나, 그러니까 편하게.

면담자: 편하게

학생(K): 예.

면담자: 아, 그래.

학생(K): 그러니까, 문제 푸는 거에 있어서도, 똑 같은 적분이라도 이제 좀 더 쉬운 방법이 있고, 개념도 아주 복잡한 방법이 있잖아요.

면담자: 음.

학생(K): 똑같이 설명하는 거라면, 그냥 쉬운 방법으로 푸는 게 낫잖아요, 그런 것처럼, 물리에서도

면담자: 그게, 물리를 설명하는 데 있어서도.

학생(K): 설명하는데 있어서도, 똑같이 그러니까, 편하게 설명할 수 있는 방법이 있으면, 편하게 설명할 수 있는 게 좋은 거 같아요.

(2) 참여자 J

Table 5에 나타난 바와 같이 3월에 실시한 역학적 에너지에 대한 기초 개념조사 설문지에서 참여자 J는 위치에너지와 역학적 에너지가 음의 값을 가질 수 있다고 표기하였으며 위치에너지를 계산하는 기준점은 한 지점일 필요는 없다고 표기하였다. 이 설문지에 표기한 결과에 의

Table 6. Process of conceptual change experienced by participant J

Interview	Negative potential energy	Negative mechanical energy	Standard position
On the questionnaire (March)	Agree	Agree	Wherever
Interview about questionnaire (13th, April)	Reject	Reject	Just on the ground
Interview (1st, May)	Reject	Reject	Just on the ground (convenience)
Cognitive conflict (12th, May)	Reject	Reject	Under the object
After explanation of $F=-dU/dx$ (21th, May)	Agree	Agree	Convenient position
Interview (2nd, June)	Agree	Agree	Convenient position
Interview with graph (14th, September)	Agree	Agree	Convenient position

하면 J는 위치에너지와 역학적 에너지의 값의 의미와 기준점에 대하여 과학적인 개념을 갖고 있는 것으로 생각되었다.

그러나 4월 13일에 설문지에 응답한 결과를 가지고 J와 면담을 하면서 음의 위치에너지와 음의 역학적 에너지가 가능하다고 생각하는 이유를 묻자, 3월에 답한 것은 주어진 공식에 생각 없이 짜 맞춘 것이고 틀렸다고 생각하면서 자신의 생각을 바꾸었다. J는 에너지는 일을 할 수 있는 능력이므로 역학적 에너지와 위치에너지가 항상 양의 값이어야 하며, 기준점은 지표면이어야 한다고 생각하였다. 이것은 과학지식이 일반화되려면 변하지 말아야 한다는 생각을 바탕으로 한 것이었다. 다음은 4월에 실시한 J와의 면담내용이다.

학생(J): 잠깐만 위치에너지가 여기서 왜 이렇게...(생각함)

지금 여기 높이 차이가 지표면을 기준으로 해야지, 그 위치에너지 측정할 때 그 에너지 값이라고 생각이 되는데, (생각함) 지금 여기는 아까 여기가 아니라, 더 높은 지점을 기준으로 반대로 그걸 기준으로 해서 아랫방향이나니까 음수처럼 나왔는데, 위치에너지를 측정할 때 기준을 잡는 거는 지표면이 되어야 될 거 같아요.

면담자: 응응.

(중략)

학생(J): 에너지가 이렇게 음수가 나올 수는 없지만, 그러니까 두 개를 더한 값은 일정하게 나왔다는 거에서.

면담자: 아, 두 개를 더한 것이 일정하게 나온 거에 대해서는 동의할 하고

학생(J): 예.

면담자: 에너지가 음수가 나온 것에 대해서는 맞지는 않는 거 같다.

학생(J): 예.

(중략)

(J는 위치에너지의 값과 역학적 에너지의 값이 과학적 지식으로서 일반화되려면 기준점이 하나이고 값도 하나만 존재해야 한다고 이야기하고 있다)

학생(J): 예, 그 다음에 응, 잘 기준을 따로, 아까 그 위치 에너지 그거 같은 경우도 기준이 그냥 달랐을 뿐이지, 난 그거 상관이 없다고 생각을 했었거든요,

면담자: 응.

학생(J): 측정할 때는 근데 그게 아닌 거 같아요, 그러니까 일반적으로 이게 항상 성립을 해야 되니까, 일반화가 되어야 되니까, 기준이라는 거는 하나가 되어야 되는 거구,

면담자: 그러면은 그거는 그 다음에 생각하는 기준은 하나이어야 된다고 하는 거에 대해서는 어떻게 생각해? 그걸 맞는 거라고 생각을 해?

학생(J): 예.

J의 개념을 살펴보면, 과학지식에 대한 인식론적 신념과 에너지의 정의가 J로 하여금 역학적 에너지와 위치에너지의 값에 대하여 대안적 개념을 갖게 하는 원인이 된

것으로 판단되었다. J가 역학적 에너지의 값과 위치에너지의 값이 항상 일정해야 한다는 생각을 갖게 된 이유를 분석하면 다음과 같다. 과학적 지식이 일반화되려면 일정해야 한다는 생각이 위치에너지와 역학적 에너지의 값을 계산하는 상황(context)에 잘못 적용된 것이다. 이것은 과학 지식이 일반화되기 위해 일정해야한다는 인식이 위치에너지와 역학적 에너지의 값에 대한 개념형성에 바람직하지 않은 역할을 한 것으로 해석할 수 있다. 즉, J는 과학 지식으로 법칙이나 이론을 생각하기보다는 위치에너지와 역학적 에너지의 값을 과학지식의 수준으로 생각하고 일반화를 적용시킨 것이다.

또한, J는 에너지의 정의를 피상적으로 생각하므로 음의 값을 가진 역학적 에너지나 위치에너지는 존재할 수 없다고 생각하였다. J가 생각하는 에너지의 양의 값이 어떤 과정을 거친 후 일로 될 수 있는 값으로 전제된다면, 에너지의 음의 값은 기준점과는 상관없이 어느 방향으로 물체가 움직이든 도리어 일을 받아야 하는 값이다. 즉, 지표면 위 어떤 물체의 위치에너지가 음의 값이라면, J가 생각하기에 그 물체가 낙하하려고 할 때 위치에너지의 부호가 음이기 때문에 그 물체는 에너지가 모자라서 외부로부터 에너지를 공급받아야 하는 것이다. 하지만 실제로 지표면 위의 모든 물체는 외부로부터 에너지를 공급받지 않아도 중력 때문에 낙하하여 일을 할 수 있는 것이다. 이와 같은 생각은 '양의 값은 남는 것', '음의 값은 반대로 모자라는 것'이라는 생각이 학습자의 위치에너지의 값에 대한 개념형성에 영향을 준 것으로 판단된다. 그러므로 학생의 대안개념을 이해하기 위한 기초로서 에너지의 값에 대한 개념형성에 있어서 '양의 값은 남는 것', '음의 값은 반대로 모자라는 것'과 같은 개념적 자원(Hammer, 2000)이 한 역할을 담당한다고 볼 수 있다.

이와 같은 개념적 자원은 기준점을 함께 고려하여 중력장에서 물체의 위치에너지와 역학적 에너지를 기술하는데 적용되어야 한다. 물체가 기준점보다 위에 있을 때 물체가 기준점으로 돌아오는 경우 위치 에너지가 양의 값인 이 물체는 일을 할 수 있는 능력이 있게 된다. 그러나, 기준점으로부터 물체가 아래에 있을 때, 그 물체는 위치에너지가 음의 값을 가지며, 이것은 기준점으로 다시 돌아오는데 외부로부터 에너지를 공급받아야 한다. 이 경우에는 위치 에너지가 '음의 값이라는 것이 모자람'을 뜻한다고 볼 수 있다.

그러나 J는 이와 같은 에너지의 양의 값과 음의 값을

기준점과 상관없는 상황에 적용하므로 혼란스러워 한 것이다. 5월 21일에 면담이 진행되면서 혼란스러움은 제거되었는데, 위치에너지와 역학적 에너지의 음의 값의 의미는 식 $F(x)=-dU/dx$ 를 중력과 위치에너지에 대응시킨 설명을 듣고 나서였다.

($F(x)=-dU/dx$ 의 식의 의미를 물체가 낙하운동을 할 때 위치에너지의 변화량과 중력과의 관계를 예를 들어 설명함)

면담자: 또 얘기하고 싶은 거.

학생(J): 근데, 내가 에너지에 대한 개념을 너무, 그러니까, 단정적으로 외우고 있지 않았나.

면담자: 어어, 외우고 있었지 않았나, 어, 그런 단정적으로 외우지 않는다면 어떤 걸까?

학생(J): (생각한다), 그러니까 얼마만큼의, 그게 지금 힘하구 에너지하구 관련된 거잖아요.

면담자: 응응, 힘하고 에너지하고 관련되어 있어.

학생(J): 그러니까, 어떤 힘의 방향과 일을 해주는 방향과의 관계니까, 거기에서는 방향에 따른 거지, 그게, 뭐, 그 양이 정말 음수이다. 그런 개념이 아니라면.

면담자: 음.

학생(J): 그러니까,

면담자: 방향에 따른 거지, 그 값이 음수이다, 그런 게 아니다!

학생(J): 그러니까, 에너지가 일을 할 수 있는 능력이라고 해서 무조건 그게 양수라는게 아니라, 그것도 힘과의 방향에 따른 어떤 값을 지닐 수 있어요.

즉, 식의 의미를 참여자와 함께 음미하면서 구체적인 상황에 적용시켰을 때, 음의 위치에너지와 음의 역학적 에너지도 일을 할 수 있는 능력이 있음을 이해하였다. 결과적으로 면담을 통하여 참여자가 식의 의미를 구체적으로 생각하고 적용시킬 수 있는 상황을 제시하는 것은 개념변화를 가져올 수 있다는 것을 의미한다.

K, J, B의 위치에너지와 역학적 에너지의 개념변화과정을 전체적으로 살펴볼 때 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다. 역학적 에너지와 위치에너지의 값에 대한 개념확장이 학습자들에게 일어나려면 식 $F(x)=-dU/dx$ 를 물리적 현상과 연관지어 반추하고 과학지식의 도구적 성질을 인식하는 것이 중요한 역할을 한다고 생각한다. 이와 같은

생각을 좀 더 일반화하면 물리 교과서에 나오는 식의 유도도 중요하지만 유도된 식을 수업 중에 학습자가 여러 가지 맥락과 관련지어 생각하고 서로 이야기하는 시간을 갖도록 하는 것이 과학적 개념형성에 필수적이다. 그리고 과학지식과 교과서 내 물리지식에 대하여 소박한 도구주의에 빠지지 않으면서 비대표적 실재론적 입장에서 과학 지식의 도구주의적 성격을 인식하는 것은 학습자가 과학적 개념을 형성하는데 도움이 될 것으로 생각한다.

2) 의미 형성자

참여자 H와 Y가 중력장 내 역학적 에너지와 위치에너지의 음의 값과 기준점에 대하여 어떤 개념을 갖고 있는지 알아보았다. 그들은 면담 전부터 위치에너지와 역학적 에너지의 값에 대하여 과학적 개념을 갖고 있었으며, 면담을 하는 동안 그들의 개념은 변하지 않았다. 9월에 실시한 면담에서 H와 Y의 역학적 에너지와 위치에너지 값에 대한 과학적 개념을 확인할 수 있었다. 그들은 모두 물체의 운동을 올바르게 기술하였다. 과학지식은 인간의 다양하고, 융통성 있는 생각의 산물이라고 인식하고, 이와 같은 과학지식에 대한 인식이 참여자들의 인간사고에 대한 견해와 조화를 이루는 의미 형성자 H와 Y는 중력장 내 역학적 에너지와 위치에너지의 값의 의미, 그리고 기준점에 대하여 과학적인 개념을 갖고 있었다.

IV. 결론 및 제언

학습자들이 역학수업을 듣는 동안 과학지식·교과서 내 물리지식에 대한 인식론적 신념과 앞에 대한 인식론적 신념사이의 관계를 알아보고, 그에 따르는 역학적 에너지와 위치에너지의 기초개념에 대한 이해와 변화과정을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 설문지의 응답결과 나타난 참여자들의 과학철학적 관점에 따라 그들의 과학지식과 교과서 내 물리지식에 대한 인식론적 신념은 일관성 있는 차이가 보이지 않았다. 또한 과학지식과 교과서 내 물리지식의 확정성에 대하여 참여자들은 이분법적으로 생각하지 않았으며, 지식 간의 상호관련성을 인식할지라도 수업시간에 상호관련성을 모든 참여자가 반영하지는 않았다.

둘째, 면담을 통하여 과학지식의 본성·교과서 내 물리 지식의 본성에 대한 인식론적 신념과 물리수업시간의 앞 에 대한 학습자들의 인식론적 신념의 관계를 다음과 같이

분류할 수 있었다. '권위에 의해 물리지식을 받아들이기', '교사에 대한 인식에 의해 물리 지식을 받아들이기', '과학지식은 인간의 다양한 사고의 산물이라는 인식에 의한 이해'라는 세 가지 유형으로 구분할 수 있었으며, 이 세 가지 유형을 고찰하여 과학지식은 인간의 다양한 생각의 산물이며 과학지식에는 융통성이 있다는 점을 깨달은 학습자가 수업시간에 초인지 활동을 활발하게 함을 알 수 있었다. 따라서 연구자는 학습자가 과학지식 안에서 인간 사고의 다양성과 융통성을 깨닫는다면 교과서에 나오는 여러 가지 과학적인 개념의 정의를 문자적으로 또는 피상적으로 받아들이기보다는 자연스럽게 초인지 활동을 하면서 개념이 의미하는 바를 구성할 것이라고 생각한다. 그러므로 수업시간에 교사가 학습자로 하여금 초인지 전략을 인위적으로 반복하여 사용하게 함으로서 초인지 활동을 활성화시키는 것도 좋지만, 학습자가 인간의 다양한 생각의 구성물인 과학지식의 다양성과 융통성을 인식하게 하는 것도 자연스러운 초인지 활동의 활성화를 위해 매우 필요하다고 생각한다.

셋째, 역학적 에너지의 기초 개념으로서 위치에너지와 역학적 에너지 값에 대하여 일부 참여자들은 음의 값으로 표현할 수 없다고 하였다. 이와 같은 대안적 개념의 원인은 '에너지는 일을 할 수 있는 능력'이라는 중등 교과서에 나타난 에너지의 정의와 관련이 있었다. 권위에 의해 물리지식을 받아들이는 학생들은 에너지의 정의 때문에 역학적 에너지에 대하여 대안적 개념을 견고하게 유지하였다. 교사에 대한 인식에 의해서 물리지식을 받아들이는 참여자도 에너지의 정의 때문에 대안적 개념을 주장하였다. 에너지의 정의에 의한 대안적 개념형성은 '양의 값은 남는 것', '음의 값은 모자라는 것'이라는 개념적 자원과 관련이 있었다.

넷째, 과학지식은 일관성이 있어야 한다는 인식은 위치에너지와 역학적 에너지의 값에 대한 개념형성에 부정적인 역할을 하였다. 이와 같은 과학지식에 대한 인식과 관련하여 위치에너지와 역학적 에너지의 값에 대하여 대안적 개념을 가진 학습자는 위치에너지와 역학적 에너지의 값을 과학지식의 수준으로 생각하고 항상 일정해야 한다고 생각하였다. 교사가 학습자의 개념상태를 진단하는 것은 중요하며 대안적 개념의 원인을 아는 것이 필요하다. 대안적 개념의 원인이 여러 가지가 있겠으나 개념적 자원(Hammer, 2000)과 물리지식이나 과학지식에 대한 인식이 학습자의 개념에서 어떻게 연결이 되는지 파악하는 것이

필요하다고 생각한다.

다섯째, 기준점을 객관적이어야 할 과학지식 수준으로 생각한 학습자는 기준점이 항상 일정해야 한다고 생각하였다. 그러나 역학적 에너지에 대한 기초 개념 변화 과정에서 과학지식의 도구적 성질을 인식하는 것은 기준점에 대한 이해에 도움을 주었다. 그러므로 학습자가 과학지식에 대하여 극단적인 도구주의로 치우치는 것은 경계해야겠지만, 과학지식의 도구적 성질을 인식하는 것이 필요하다. 위치에너지와 역학적 에너지의 개념을 배우면서 학생들은 과학적 개념은 논리적으로 합당할 뿐만 아니라, 자연 현상을 설명하기 위하여 인간의 다양한 생각에 의해 창조된다는 것을 생각하는 계기를 가져야할 것이다. 또한 $F(x) = -dU/dx$ 를 지구 위 물체에 작용하는 중력과 위치에너지를 관계와 관련을 지어 의미를 반추하는 것은 역학적 에너지에 대한 갈등상황을 해소하는데 도움을 주었다. 대부분의 참여자들이 물리에서 다루는 식들이 자연현상과 관계가 있을 것이라고 생각하지만 스스로 연결하는데 어려움을 가졌다. 그러므로 식의 물리적인 의미를 서로 토론하는 시간을 반드시 갖는 것이 과학적 개념을 형성하는데 도움을 준다고 생각한다.

국문 요약

본 연구에서는 학습자들이 역학적 에너지에 대하여 배우는 동안 과학지식·교과서 내 물리 지식에 대한 인식론적 신념과 앞에 대한 인식론적 신념사이의 관계를 새롭게 규명하고 역학적 에너지와 위치에너지의 기초개념에 대한 변화과정을 정성적인 방법으로 살펴보았다. 연구를 진행하면서 6명의 대학생을 참여자로 선정하였으며, 과학지식·교과서 내 물리 지식에 대한 인식론적 신념과 앞에 대한 인식론적 신념사이의 관계는 다음과 같이 세 개의 범주로 분류하였다: 권위에 의해 물리 지식을 받아들이기, 교사에 대한 인식에 의해 물리 지식을 받아들이기, 과학지식은 인간의 다양한 사고의 산물이라는 인식에 의한 이해. 과학지식이 다양한 인간사고의 산물임을 인식하는 참여자가 초인지활동을 활발하게 하였으며 역학적 에너지의 값에 대하여 과학적 개념을 갖고 있었다. 그러나 그 외 범주에 속하는 참여자들은 수업시간에 초인지 활동을 활발하게 하지 않아 수동적이었으며 역학적 에너지의 값에 대하여 비과학적 개념을 갖고 있었다. 위치에너지를 포함하여 역학적 에너지의 값에 대하여 비과학적 개념을 가진 참여

자들의 개념변화과정을 살펴보면, 과학 지식에 대한 인식론적 신념과 에너지의 정의가 대안적 개념을 유지하게함을 볼 수 있었다. 참여자가 위치 에너지의 음의 값에 대한 대안적 개념을 극복하는데 과학 지식의 도구적 성질을 이해하고 공식을 물리적 현상과 연결 지어 생각하는 것이 중요한 역할을 하였다.

참고 문헌

- 권성기, 박승재(1995). 교육대학생의 과학의 본성 개념과 구성주의 학습관의 연관성 및 변화 조사. 한국과학교육학회지, 15, 105-115.
- 권재술(1989). 과학 개념의 한 인지적 모형. 물리교육, 7, 1-9.
- 권재술(미발행). 인지갈등과 과학교육.
- 김윤옥, 김성혜, 신경숙, 신경일, 정명화, 허승희, 황희숙(1996). 교육 연구를 위한 지적 연구 방법과 설계. 문음사.
- 박윤배(2000). 중등과학교사들의 과학관과 학습관. 한국과학교육학회지, 20, 244-249.
- 박종원(1992). 상대론 기초 개념 변화에 있어서 초인지의 역할. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- 반은기, 이선경, 김우희, 박현주(2000). 고등학생들의 과학철학적 관점에 대한 연구. 한국과학교육학회지, 20, 88-100.
- 소원주(1998). 과학교사의 과학철학적 관점과 과학 서술방식이 중학생들의 과학관의 변화에 미치는 영향. 한국교원대학교 대학원 박사학위 논문.
- 송진웅, 권성기(1992). 과학철학을 수강하는 대학원생의 과학의 본성에 대한 인식의 변화. 한국과학교육학회지, 12, 1-9.
- 이경훈(1997). 탐색적·확인적 요인분석을 통한 "과학에 대한 태도" 3요소 모델의 타당도 연구. 한국과학교육학회지, 17, 481-492.
- 임성민(2001). 물리학습에 대한 인지적 신념과 파동 개념 이해의 관계. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- Duit, R.(1987). Should energy be illustrated as something quasi-material?. *International Journal of Education*, 9, 139-145.
- Duit, R., & Haeussler, P.(1994). Learning and teaching energy. In P. J. Fensham, R. F. Gunstone, R. T.

- White (Eds.), *The content of science: A constructivist approach to its teaching and learning* (pp.185-200). The Falmer Press.
- Dutchl, R. A., & Hamilton, R. J.(1992). Introduction: Viewing the domain of science education. In R. A. Dutchl & R. J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*, (pp.1-18), Albany, NY: State University of New York Press.
- Edmonson, K. M.(1993). The interplay of scientific epistemological views, learning strategies, and attitudes of college students. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 547-559
- Edmonson, K. M.(1989). College students' conceptions of the nature of scientific knowledge. In D. E. Herget (Ed.), *The History & Philosophy of Science of in Science Teaching* (pp.132-142). Florida State Univ, Science Education and Department of Philosophy, Tallahassee.
- Gunstone, R.(2001). Physics education past, present and future: An interpretation through cultural contexts. 2001 International Association for Research in Science Teaching Annual Meeting, August 13-17.
- Hammer, D.(1994a). Students' beliefs about conceptual knowledge in introductory physics. *International Journal of Science Education*, 16, 385-403.
- Hammer, D.(1994b). Epistemological beliefs in introductory physics. *Cognition and Instruction*, 12, 151-183.
- Hammer, D.(2000). Student resources for learning introductory physics. *American Journal of Physics, Physics Education Supplement*, 68, S52-S59.
- Hofer, K. B. & Pintrich, P. R.(1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, 67, 88-140.
- Hogan, K. (2000). Exploring a process view of students' knowledge about the nature of science. *Science Education*, 84, 51-70.
- Nussbaum, J.(1989). Classroom conceptual change: Philosophical perspectives. In D. E. Herget (Ed.), *The History & Philosophy of Science of in Science Teaching* (pp.278-291). Florida State Univ, Science Education and Department of Philosophy, Tallahassee.
- Redish, F. R., Saul, J. M., & Sternberg, F. N.(1998). Student expectations in introductory physics. *American Journal of Physics*, 66, 212-224.
- Roth, W. M., & Roychoudhury, A.(1994). Physics students' epistemologies and views about knowing and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 5-30.
- Sexl, R. U.(1981). Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, 3, 285-289.
- Thagard, P.(1994). Mind, society, and the growth of knowledge. *Philosophy of Science*, 61, 629-645.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp.177-210). MacMillan Publishing Company.
- Warren, J. W.(1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4, 295-297.