

중등학생의 특수상대론 학습에서 VR과 사건도표를 이용한 수업방법의 제안

김재권¹ · 김영민^{2*}

¹학성고등학교 · ²부산대학교

A Proposal of a Teaching Method using Virtual Reality and Event-Diagram for Secondary Student's Understanding of Basic Concepts in Special Relativity

Jaekwon Kim¹ · Youngmin Kim^{2*}

¹Haksung High School · ²Pusan National University

Abstract: The purpose of this study were to develop a tutorial for secondary students to understand of basic concepts of special relativity, which is appropriate for the cognition level of secondary student. We developed the concept evaluation tool and the tutorial material. Result from pretest and post-test are presented to verify the effect of the tutorial for helping student understanding of the concept such as time, event, reference frame, relativity of simultaneity. Secondary student had intense cognitive conflict about the complex concepts such as simultaneity, length contraction and time expansion. This tutorial could be proposed methodology to overcome cognitive difficulty for understanding these concepts.

Key words: Special Relativity, Event diagram, Virtual reality , Secondary school, Paradox

I. 서론

‘2009 개정 과학과 교육과정’의 ‘과학’의 목적은 과학적 소양을 바탕으로 하는 수준 높은 창의성과 인성을 골고루 갖춘 인재 육성을 목표로 한다.’로 설정되어 있다(2009, 교육과학기술부). 2009 개정 과학과 교육과정의 ‘물리 I’의 목표에서도 과학적 사고력과 창의적 문제 해결력을 강조하고 있다. ‘물리 I’과 ‘물리 II’의 내용 측면에서는 학생들이 일상생활에 친숙한 현상이나 첨단기기에 대한 물리학의 기초 개념을 이해시키기 위하여 최소한의 현대물리 내용을 도입하여 완전한 이해에 도달하지는 못하더라도 정성적으로 이해하는 것을 목표로 하고 있다.(김영민, 김재권, 2009)

2009 개정 고등학교 물리교육과정에는 그동안 대학에서 주로 가르쳐 왔던 상대성 이론, 반도체, 레이저, 양자물리 등의 현대 과학의 기초이론들이 도입되었다. 새로운 교과서에 소개되는 기술적 응용의 사례

들도 GPS, RFID 와 같은 초고속 인터넷을 기반으로 하는 온라인 정보기술이 소개되고 있다. 고등학생들은 이런 첨단과학의 학습에 대한 중요성을 인식하고 있고 현대 물리를 배워야 할 필요성을 느끼고 있다.(김영민, 이승우, 박수경, 2011). 고등학교 물리교육의 패러다임은 느리고 큰 세계를 바라보았던 ‘고전적 사고’에서 매우 빠르고 작은 세계를 바라볼 수 있는 ‘현대적 사고’로 변화하고 있다.

고전역학을 이끌었던 Newton, Kepler, Galilei, Carnot와 같은 과학자들의 사고과정은 학생들의 창의성지도에 효과적인 모형으로 제시된 바 있다(김영민, 2007). 하지만 중등학생을 대상으로 현대물리학 이론의 교수학습에 대한 연구는 거의 없다. 본 연구에서는 절대적인 시공간을 전제로 한 ‘고전적 사고’의 틀을 벗고 시공간을 상대적 관점에서 창의적으로 해석하여 ‘현대적 사고’로 전환하는 시발점이 되는 아인슈타인의 특수상대성이론(Einstein, 1905)을 연구 내용으로 선정하였다

*교신저자: 김영민(minkiy@pusan.ac.kr)

**2011년 11월 04일 접수, 2011년 12월 26일 수정원고 접수, 2011년 12월 27일 채택

1. 선행연구

특수 상대론을 내용으로 하는 과학교육 관련 선행 연구는 많지 않았다. 이 중 대학생을 대상으로 한 몇몇 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Savage & McGrath(2010)은 상대론을 비롯한 현대 물리의 소재를 시각화하는 가상현실 프로그램을 대학생들에게 적용한 결과를 발표 했다. 이 연구에서는 가상현실이 추상적인 물리적 개념을 이해하는데 도움을 주는 도약적 탐구(scaffolded exploration)의 역할을 하였고 새로운 세대의 학생들에게 태도, 자신감, 개념이해, 시험 결과, 탐구능력 등에서 긍정적 변화를 일으킨 것으로 보고 하였다

Scherr(2001)는 특수상대론 기초 개념에 대하여 조사해 본 결과 학생들은 ‘기준좌표계’와 ‘사건’의 개념과 시간과 공간에 대한 정의를 이해하는 데 어려움을 갖고 있었으며, 동시성의 상대성 개념은 특수상대론의 결과를 혼란스럽게 만드는 대부분의 경우에 관련되어 있음을 지적하였다. 이 연구에서는 특수상대론의 개념을 시각화하고 학생들의 사고과정을 표현하는 도구로 사건도표(event diagram)을 사용하였다. 사건도표는 시공간도표(spacetime diagram)보다 학생들이 사건, 좌표계와 같은 개념을 표출할 수 있는 효율적인 방법이라고 주장했다.

박중원(1992)은 대학생을 대상으로 초인지 학습방법을 특수상대론 기초개념 학습에 적용하였다. 이 연구에서 학습자들 스스로 자신들의 인지 상태에 대한 점검을 통해서 능동적이고 적극적인 형태의 수업활동을 하였다. 특수상대론과 같이 개념의 특성상 실제 실험이 불가능한 경우 개념에 대한 불신이 학습 장애의 요인으로 작용하는 경우가 많은 것으로 보고하였다.

김영삼(2003)은 기존의 개념변화 모형을 개선한 개념구조변화모형을 고안하여 대학생을 대상으로 한 특수 상대론 수업에 적용한 효과를 발표하였다. 특수상대론 개념 체제는 특정 개념 자체에 대한 학습만으로는 유의미한 학습이 될 수 없다고 가정하였다. 동시성의 상대성, 길이 수축, 시간 팽창의

현상은 광속 불변의 원리와 상대성의 원리 개념을 구조적으로 적용하여야 논리적으로 설명할 수 있는 속성임을 가지고 있다. 그래서 특수상대론은 단순 개념을 이해하는 과정이 아니라 개념의 구조를 이해하는 학습이 이루어져야 함을 주장하였다.

선행 연구의 고찰에서 주요 시사점은 추상적인 개념을 학습할 때 메타 인지적 사고를 사용하는 것이 효율적이고, 특수 상대론적 현상들은 여러 가지 개념들을 구조적으로 적용해야 설명이 가능하다는 것이다. 그리고 추상적이고 직접 실험을 하기 힘든 물리현상은 ‘가상현실’을 이용하여 설명하는 것이 대안이 될 수 있고, 사건도표를 그려보는 활동은 특수상대론의 효과를 명료화하는 방법으로 제시될 수 있다.

2. 이론적 배경

Bruner(1960)가 『교육의 과정(The Process of Education)』에서 제시한 나선형 교육과정은 “어떤 교과 내용이든, 어떠한 발달단계의 학생이든 가르칠 수 있다(Any subject could be taught to any child at any stage of development).”라는 소위 ‘대담한 가설(Bold Hypothesis)’을 기본 가정으로 하였다. 이 가정은 인지발달 단계에 따라 각각 작동적 표현양식, 영상적 표현양식, 상징적 표현양식으로 적절히 표현해 주면 어떤 추상적인 학습개념도 가르칠 수 있다는 의미로 해석할 수 있다.(Bruner, J.S. 1966)

특수 상대론적 효과는 광속에 가깝게 빠르게 움직이는 경우에 나타나는 물리현상으로 일상생활에서는 경험할 수 없는 반직관적이고 추상적인 현상이다. 중등학교의 현실 상 직접 조작을 해 보는 ‘작동적 표현방’을 학생들에게 제공해 주기는 어렵다. 최근의 변화된 인터넷 기반 학습 환경과 가시적인 매체를 선호하는 신세대 학습자들의 취향을 고려 할 때 추상적이고 빈 직관적인 특수상대론의 효과를 구체적인 영상물로 보여주는 것을 대안으로 제시할 수 있다. 본 연구에서 고안한 수업방법의 도입 부분에서 인터넷 유튜브(Youtube) 등에서 ‘가상현실(Virtual Reality)’동영상을 선별하여 보여준다. 학생들은 자신이 배우게 될 학습 내용이 나타내는 물리적 현상의 결과물을 먼저 시각적으로 인식하게 된다.

구성주의 교육이론(Piaget & Inhelder, 1969)은 교육적 패러다임에 많은 영향을 미쳤다. 그 중에서도 교수-학습 과정에 대한 가장 중요한 원칙은 학습자 중심의 수업이다. 구성주의의 기본 가정은 ‘학습은 학습자의 경험에 기초하여 학습자의 머릿속에서 구성된다.’는 것이다. 이러한 구성주의 입장에서는 학습자는

학습에 대한 주인 의식을 가지고 인식의 주체로서 능동적이며 적극적으로 학습 과정에 참여하여야 한다.

대학에서 특수상대론 강의는 해박한 지식을 가진 교수자가 중심이 되어 수학적 표현을 사용한 수업으로 주로 진행되어 왔다. 인지적 발달단계가 낮고 고차원적 수학적 표현에 숙달 되지 않은 고등학생이 특수상대론과 같은 추상적인 학습테마를 배우기 위해서는 대학과는 다른 수업방법이 필요할 것이다. 그래서 본 연구에서는 학생들은 ‘가상현실’ 보기 활동을 한 후에 그 영상물에 나타나는 특수 상대론적 현상을 ‘사건도표(Event diagram)’로 표현해 봄으로써 능동적으로 수업에 참여하도록 하였다.

본 연구의 목적은 먼저 고등학교 특수상대성이론을 효율적으로 가르치기 위하여 학생들의 기초 개념에 대한 이해도를 알아보는 것이다. 그리고 수학적 표현을 사용하지 않고 고등학생들이 유의미하게 받아들일 수 있도록 ‘가상현실’과 ‘사건도표’ 그리기 활동이 포함된 수업방법을 고안하여 적용한 효과를 분석해 보는 것이다. 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

고등학생들의 특수상대론 기초 개념의 전반적인 경향과 선 개념 유형은 어떤 것이 있는가? 개발된 프로그램을 이용한 수업(프로그램 수업)과 교사의 강의 위주의 수업(전통적 수업)을 이수한 학생들의 특수상대론 기초 개념의 변화는 어떤 차이를 나타내는가?

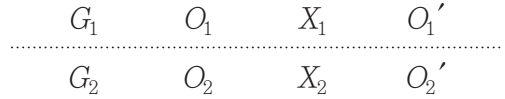
프로그램 수업과 전통적 수업을 이수한 학생들의 특수상대론적 역설문제 해결과정에서의 어떤 차이를 나타내는가?

II. 연구 방법

1. 연구 대상 및 방법

2009 개정 교육과정의 물리1 과목을 이수하고 있는 인문계 남자고등학교인 H 고등학교 1학년 280여명을 연구 대상으로 하였다. H고등학교는 울산광역시에 소재하고 있고 성적 분포는 중상위권에 속한다. 연구 대상인 학생들은 중학교까지 국민공통기본교육과정인 과학을 이수하고 고등학교에 진학한 후 2009개정 교육과정에 편재된 ‘융합과학’을 이수하지 않고 물리1 과목을 바로 이수하는 경우이다. 신설된 물리1 과목은 집중이수과정을 통하여 주당 6 차시수업을 하여 1학기 동안에 이수 하는 과정이다. 실험집단(4개 반 160여명)은 본 연구에서 개발한 수업교재를 이용하여 수

업을 하였고, 통제집단(3개 반 120여명)은 교사의 강의와 교과서 위주로 전통적 수업을 실시하였다. 연구 설계의 도식은 다음과 같다.



- * G_1 : 실험집단, G_2 : 통제 집단
- * O_1, O_2 : 특수상대론 기초 개념 검사(사전)
- * X_1 : 가상현실 보기 활동과 사건도표 그리기 활동 수업
- * X_2 : 전통적 수업
- * O_1', O_2' : 특수상대론 기초 개념 검사(사후), 서술형 고사(로켓 역할)

2. 개념 검사 도구 개발

중등학생의 특수상대론 기초 개념의 이해도를 조사하기 위하여 SRCE-S(Special Relativity Concept Evaluation-Secondary)를 개발하였다. 검사지는 <표1>과 같이 좌표계, 광속불변의 원리, 상대성의 원리, 동시성의 상대성, 시간 팽창, 길이 수축을 평가내용으로 하는 총 6개 선택 후 설명식 문항으로 구성된다. 검사 도구는 사전 검사와 사후 검사 두 가지 유형이 있다. 6문항 중 3문항은 광속불변의 원리, 상대성의 원리와 좌표계의 개념 중 하나만 묻는 ‘단일 개념형 문항’이다. 단일 개념형 문항은 몇 단계의 논리적 사고 과정이 없이도 단순한 현상의 암기나 기억만으로 답할 수 있는 문항을 지칭한다. 예를 들면 광속 불변의 법칙문항에서 관찰자나 광원이 어떤 운동을 하든 측정되는 속력은 광속만 선택하면 된다. 나머지 3개는 복합 개념형 문항이다. 복합 개념형 문항은 특수상대론 기초 개념인 좌표계, 광속 불변의 법칙, 상대성의 원리를 복합적으로 적용하여 여러 단계의 논리적 사고 과정을 거쳐야 설명할 수 있는 동시성의 상대성, 길이 수축과 같은 개념을 묻는 문항을 지칭한다. 예를 들면 동시성의 상대성은 광속불변의 법칙과 상대성의 원리를 두 관성 좌표계 각각 적용할 때 추론할 수 있는 개념이다.

3. 수업 프로그램의 개발

수업 프로그램의 개발의 초점은 ‘시각화’와 ‘학생

표 1 중등학생용 특수 상대론 기초 개념 검사 도구(SRCE-S)의 문항 내용

평가개념	평가문항의 내용	구분
좌표계	여러 운동 상태의 사람 중에 같은 좌표계를 갖는 사람의 모임 찾기	단일 개념형 문항
광속불변	광원이나 관찰자가 움직이는 경우의 빛의 속력 구하기	
상대성	지면(정지 좌표계)과 버스(운동 좌표계)에서 연직상승하거나 하강하는 물체의 운동 경로 예상하기	
동시성	불꽃이 발생하는 두 사건의 정 중앙을 상대론적 속력으로 운동하는 관찰자의 좌표계에서 사건의 발생순서 예상하기	복합 개념형 문항
시간 팽창	정지 좌표계에서 등속운동 하는 빛 시계의 시간(간격)추론하기	
길이 수축	고유길이 가 같은 두 물체가 서로 상대 운동하는 경우 한 물체의 좌표계에서 길이수축과 동시성의 상대성 현상 설명하기	

참여수업'이다. 특수상대론을 시각화하여 학생들이 직접 특수상대론의 효과를 노트에 그려볼 수 있는 활동으로는 시공간도표(Spacetime diagram)와 '사건도표(Event diagram)'가 있다. 개발된 프로그램에서는 사건도표를 채택하였다. 그래서 개발된 프로그램의 주요활동이 되는 사건도표의 작성방법과 시공간도표와의 차이점을 먼저 간단히 소개하고 프로그램의 구성에 대하여 언급하겠다.

1) 시공간 도표와 사건도표

Minkowski(1904, The space and time)가 특수 상대론의 시각화 방법으로 제안한 시공간도표(space-time diagram)는 특수 상대론적으로 움직이는 두 좌표계를 시간 축과 공간 축으로 나타낸 <그림 1>의 우와 같은 그래프이다.

발생한 불꽃의 빛이 먼저 도달되고 뒤 쪽 불꽃의 빛은 나중에 도달되는 것을 보여 주고 있다. 기차 안의

관찰자는 기차의 양끝으로부터 같은 거리에 있기 때문에 앞쪽 불꽃의 빛이 먼저 기차안의 관찰자에게 도착하기 위해서는 광속 불변의 법칙에 의하여 앞 쪽 불꽃이 터지는 사건 자체가 먼저 발생해야한다. 즉 기차안의 좌표계에서는 불꽃이 발생하는 두 사건이 동시가 아니다. 이 현상이 바로 특수 상대론적 효과를 나타내는데 중요한 원인인 동시성의 상대성이다.

시공간도표에서는 지면좌표계의 세계선은 연직으로 표시되고 움직이는 기차의 세계선은 우측으로 휘어지게 그린다. 빛의 속력은 일정하므로 빛의 세계선과 두 좌표계의 세계선이 만나는 사건의 위치가 다르게 되어 두 좌표계에서 동시성을 상대적으로 판단하게 된다.

두 도표의 주요한 차이점은 시공간 도표가 단순하고, 추상적이고 포괄적으로 시공간을 표현할 수 있는 반면 사건도표는 사건을 구체적인 사물로 표현한다는 것이다. 사건도표는 연속적인 그래프로 표현하는 시

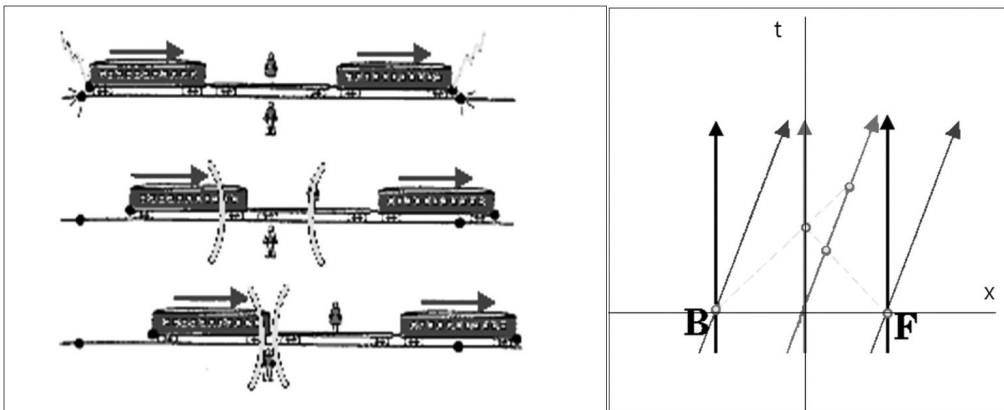


그림 1 기차역설의 사건도표(Event Diagram, 좌)와 시공간도표(Spacetime Diagram, 우)

공간도표와 달리 사건이 일어나는 몇몇 순간들을 불연속적으로 표현한다는 것이다. 그리고 시공간도표는 시간경과의 방향이 수직 그래프와 같이 위쪽 방향이지만 사건도표는 일상적 표현방법과 같은 아래쪽 방향이다.

특수 상대론을 처음 접하는 고등학생에게는 사건, 좌표계, 동시성과 같은 개념 자체가 추상적이다. 그래서 추상적 개념을 구체적 사물로 표현할 수 있는 사건도표가 학생들에게 유의미한 학습도구가 될 수 있다.

본 연구에서 도입된 사건도표는 특수상대성이론을 처음 접하는 학생들이 흥미를 가지고 수업에 참여하도록 하는 매개체 역할을 하였다.

2) 프로그램의 구성

개발된 수업 교재는 총 5차시로 구성하였다. 수업 교재의 전체적인 내용 구성과 수업 진행절차는 <그림 2>와 같다. 특수상대론 기본가정, 좌표계, 사건도표를 학습하는 '기초단계(2차시)'와 동시성의 상대성, 길이 수축, 시간 팽창을 학습하는 '적용단계(3차시)'로 구성된다.

기초 단계의 1차시에서는 특수 상대론 기본 가정인 광속 불변의 법칙과 상대성의 원리를 탐구하고, 2차시에서는 비 상대론적인 일상 상황에서 '좌표계'와 '사건'을 정의하고, 사건도표를 그려보는 연습을 하였다. 그래서 기초 단계는 적용단계에서 특수 상대론

적 효과를 학습하기 위한 준비를 하는 과정이다.

적용 단계에서는 <그림2>에서와 같이 미리보기-생각하고 그려보기-다시보기의 수업절차를 따른다. 적용단계에서는 기초 단계에서 배운 특수상대론의 기초 개념이 구조적으로 복합되어 나타나는 현상인 동시성의 상대성, 길이 수축, 시간 팽창의 개념을 학습하게 된다. 적용 단계의 차시의 첫 단계는 <그림3>과 같이 '미리보기(Seeing)' 활동으로 시작된다. '유튜브(You-tube)'의 동영상과 같은 영상자료를 미리보고 그 영상의 구체적인 모습과 그 영상에 나타난 현상이 일어나기 위한 조건을 기록한다. 두 번째 단계는 '생각하기와 그려보기' 활동으로 <그림4>와 같은 특수상대론적 역설상황에서 자신이 본 현상이 일어나는 원리를 동료 토론과 스스로의 사고 활동을 통하여 탐구한 후에 학습자는 자신의 생각을 사건도표 상에 정교히 표현하게 된다. 여기서 역설이란 일상생활의 직관적 경험으로는 모순으로 보이지만 동시성의 상대성, 길이 수축, 시간 팽창과 같은 특수 상대론적 효과를 고려하면 논리적으로 설명할 수 있는 현상을 말한다. 예를 들면 정지 상태에서 자동차 보다 짧은 차고 안에 자동차가 들어가는 것은 직관적으로는 모순으로 보이지만 특수 상대론적 속력으로 아주 빨리 운동할 경우는 논리적으로 설명할 수 있는 현상이다. 이 활동에서 교사는 일상생활의 물리 개념과 상반되는 특수 상대론적 시간과 공간의 개념을 사건도표(Event

<전체 프로그램의 구성>



<적용단계의 수업 절차>

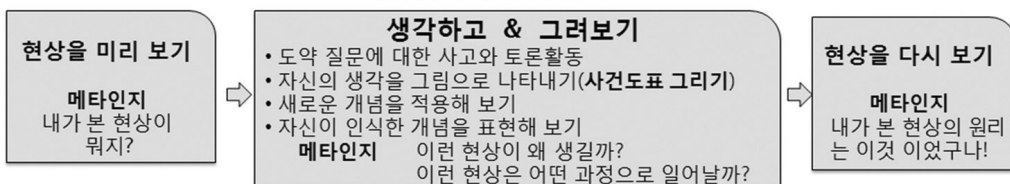
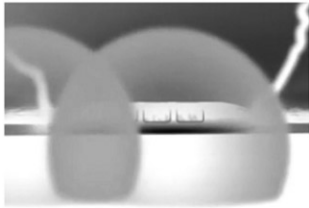


그림 2 전체 프로그램의 구성과 적용단계의 수업 절차

<미리보기> 어떤 현상일까?



인터넷: <http://www.youtube.com>

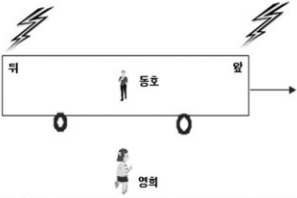
내가 본 현상이 뭐지?

- ☞ 남자의 운동 상태는 (정지, 느린 등속 운동, 매우 빠른 등속 운동)이다.
여자의 운동 상태는 (정지, 느린 등속 운동, 매우 빠른 등속 운동)이다.
- ☞ 남자는 번개가 (동시에, 다른 시각에) 터지는 것으로 관찰한다.
여자는 번개가 (동시에, 다른 시각에) 터지는 것으로 관찰한다.

그림 3 <미리 보기> 활동의 예시

<활동3> 기차역설의 응용-역 과정으로 생각하기

지면에 정지한 영화는 속력(0.8c)로 아주 빨리 달리는 기차가 오른쪽(화살표 방향)으로 지나가는 것을 보고 있다. 기차의 한 가운데 부분이 영화를 지나는 순간 두 개의 번개가 동시에 기차의 앞뒤를 내리치는 것을 영화가 관찰 하였다. 동호는 기차 안의 한 가운데에 서 있다. (기차의 천장에는 투영상이 있어서 밖을 잘 볼 수 있고, 기차는 번개로부터 안전하게 만들어져 있다고 한다.)



(1) 영화의 좌표계에서 번개가 기차의 앞을 내리치는 사건('사건1')과 번개가 기차의 뒤를 내리치는 사건('사건2')은 (동시이다, 동시가 아니다.)

(2) 영화의 좌표계에서 번개가 치는 사건을 표현하는데 사건도표는 ()개 가 필요하다.

(3) 영화의 좌표계에서 사건도표를 그리시오. (사건도표는 필요한 만큼 사용하시오.)

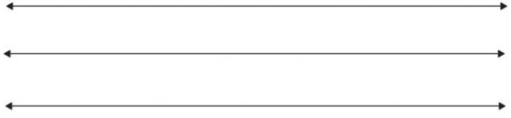


그림 4 <사건도표> 그리기 활동의 예시

diagram)라는 매개물을 통하여 학습할 수 있도록 질문과 안내를 적절히 해 주어야 한다. 예를 들면 기차 역설문제에서 '지면의 관찰자의 좌표계에서 앞과 뒤 쪽에서 불꽃이 터지는 두 사건은 동시인가?' 그리고 '이때 사건도표가 몇 개가 필요할까?' 등이 학생이 사

건도표를 그릴 수 있도록 도약시켜주는 질문이 된다. 교사는 사건도표의 모범답안을 판서해 주고 학생들은 자신이 표현한 사건도표에 수정하면서 좌표계라는 틀을 위에서 두 관찰자에게 일어나는 상대적인 현상을 직면하게 된다. '다시보기' 단계에서는 처음에 보았던 '가상현실' 동영상상을 다시 한 번 보면서 학생들은 자신이 알게 된 것이 무엇인지를 스스로 묻고 답하는 메타 인지적 사고를 하면서 새로 배운 개념을 내면화하게 된다.

학생들은 운동 좌표계에서 다른 시각에 번개가 치는 두 사건을 사진을 찍듯이 두 개의 그림으로 <그림 5>의 우와 같이 표현해 본다. 기차 밖의 지면좌표계에서는 <그림5>의 좌와 같이 동시에 발생한 두 사건을 하나의 사건도표로 표현하였다. 사건도표를 완성한 후에는 '지면의 관찰자와 운동하는 관찰자가 관측하는 같은 물리현상은 무엇인가?(상대성의 원리)' 그리고 '지면의 관찰자와 운동관찰자가 다르게 해석하는 것은 무엇인가?(동시성의 상대성)' 과 같은 도약질문을 한다. 학생들은 언어적 설명을 대신하여 자신이 그려 놓은 사건도표 위에 빛의 경로를 광속불변의 법칙을 이용하여 그려 봄으로서 상대성의 원리를 시각적으로 직면 할 수 있게 된다.

4. 특수 상대론적 역설 문제

로켓역설 문제는 2009 개정 교육과정 물리 I 교과서(김영민, 김재권 외)에 수록 된 문항으로 <그림 6>과 같다. 로켓역설은 일상생활의 직관적 판단으로는 두 관성 좌표계에서 레이저에 맞지 않는 사건과 레이저 맞는 사건이 모순적으로 발생한 것처럼 보이지만 특수상대론의 기본 가정, 동시성의 상대성 그리고 길이 수축의 개념을 논리적으로 적용하면 모순을 피할 수 있게 설명 할 수 있다. 이 문항은 단순한 암기나 추측에 의한 해결이 어렵고 특수 상대론의 기초 개념들이 복합적으로 적용하여야 해결할 수 있기 때문에 학

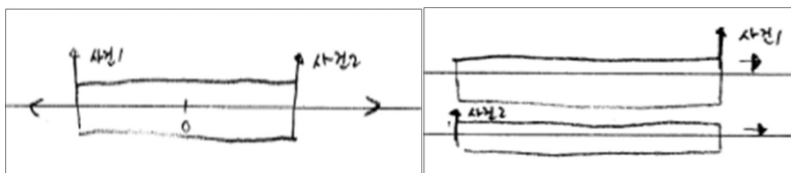


그림 5 기차역설의 사건도표 학생 예시(좌-지면좌표계, 우-운동좌표계)

대한 선행학습이 있어서 비교적 높은 사전 사후 정답률을 나타내었다.

광속불변 문항에서는 사전 검사에서 많은 학생들이 고전적인 상대속도 개념을 도입하여 빛의 속력에 광원이나 관찰자의 속력을 더하거나 빼는 선 개념을 많이 가지고 있었다. 이 선 개념의 영향으로 사전 검사에서 낮은 정답률을 나타내었으나 사후 검사에서는 이 선 개념은 거의 없어지고 과학적 개념으로 변화하였다.

상대성의 원리 문항에서는 사전 검사에서 많은 학생들이 고전역학의 정지 관성과 운동 관성의 개념을 혼돈 하고 있어서 낮은 정답률을 보였으나 사후 검사에서는 과학적 관성의 개념으로 변화하였다.

동시성의 상대성 문항에서는 사후 검사에서 정답률이 향상은 되었지만 동시성의 판단을 관찰자의 눈과 귀와 같은 직관에 의존하거나 불빛의 속력에 관찰자의 속력을 더 하거나 빼서 사건의 순서를 판단하려는 선 개념이 좀처럼 사라지지 않았다. 비록 정답은 하였더라도 시간의 동시성을 좌표계에 의존하는 현상(과학적 개념)으로 설명한 학생은 사전검사에서는 없었고 사후 검사에서도 5% 미만 이었다.

사건의 발생 순서를 관찰자의 직관에 의존하여 판단하는 경향은 대학생을 대상으로한 Scherr(2002), 김영삼(2003)의 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

시간 팽창 문항의 사전검사에서는 빛 시계로 시간을 측정한다는 것의 의미를 이해하지 못하거나 시간 간격이 관성 좌표계에 따라 달라진다는 상대론적 개념이 생소하여 비교적 낮은 정답률을 나타내었다. 몇몇의 학생은 TV, 서적 등을 통해 움직이는 우주선 안에서 빛이 대각선으로 움직이는 상황을 이미 본 적이 있다고 응답하였다. 선 개념의 유형으로는 빠르게 움직이는 물체는 직관적으로 시간이 느리게 간다는 것이다. 우리의 일상 경험에서 빠르게 움직이는 버스나 기차 안의 움직임이 느리게 보이는 현상을 시간과 연결시켜 생각하였다. 또 다른 선 개념으로는 '시간 팽창'의 의미를 '시간 흐름(경과)'의 팽창으로 잘못 해석하는 것이다. 이는 수업시간에 교사가 '시간', '시각', '시간의 흐름'의 의미를 명확히 구분해 주어야 함을 시사한다. 사후 검사에서는 운동좌표계에 위치한 빛 시계의 빛 경로를 대각선으로 설명하면서 정답을 선택하는 학생들의 비율이 증가하였다.

길이 수축 문항에서는 운동하는 물체의 길이가 수

축된다는 개념을 처음 접하는 학생들이 대부분이었기 때문에 낮은 정답률(21%)을 나타내었으나 사후 검사에서는 정답률이 63%로 향상되었다. 사전검사에서 나타난 선 개념으로는 직관적인 수축현상, 원근법의 판단, 직관적인 팽창 현상, 빠른 물체의 잔상효과 등이 있었다. 이러한 선 개념도 특수 상대론적 현상을 관찰자 직관 의존으로 하여 해석하려는 경향으로 볼 수 있다. 사후 검사에서는 이러한 유형의 선 개념은 거의 나타나지 않았다.

동시성의 상대성, 시간 팽창, 길이 수축의 문항의 이유 분석에서 학생들은 공통적으로 이들 현상이 실제로는 일어나지 않는다고 믿는 경향이 강하게 나타났다. 이 경향은 박종원(1992)와 Scherr(2002)의 연구와 유사한 결과이다.

2. 수업방법에 따른 고등학생들의 특수 상대론 기초 개념 변화의 차이

본 연구에서 개발한 수업교재의 효과를 객관적으로 비교해 보기 위하여 실험집단과

통제집단의 SRCE-S의 사전 사후 검사 결과(6분항, 6점 만점)를 정량적으로 비교해 보았다.

실험집단과 통제집단은 다른 방식의 수업을 하였지만 <그림8>과 같이 두 집단 모두 유의미하게 특수 상대론 기초 개념이 변화하였다. 두 집단의 성취도를 비교하여 보면 사전검사에서는 SRCE-S의 평균값이 실험집단이 통제 집단보다 높았으나 사후 검사에서는 근소하지만 통제집단이 실험집단보다 높게 나타났다. 사전검사의 외생 변수를 통제하기 위해 ANCOVA(공분산 분석)을 95% 신뢰수준으로 실시하여 보았다. 그

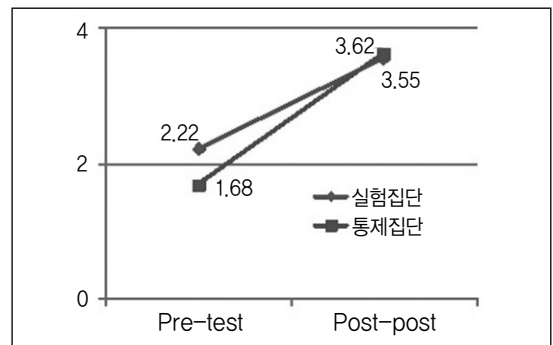


그림 8 실험집단과 통제집단의 SRCE-S 전체 문항의 평균값의 변화 경향

결과($F=1.985, p=0.170$)에서 실험집단과 통제집단의 수업방법 변인은 사후 검사 결과에 유의미한 차이를 나타내지 않았다.

〈그림7〉에서 분석해본 바와 같이 수업방법의 차이를 구분하지 않고 전체적으로 조사한 SRCE-S의 성취도는 단일 개념 형 문항과 복합 개념 형 문항에서 차이를 보였는데 그 효과가 실험집단과 통제집단에 어떻게 나타나는지 추가적으로 분석해 보았다. 〈표2〉과 같이 단일 개념 형 문항의 사후 검사의 정답률은 통제집단이 실험집단보다 높은 경향을 나타내었다. 복합 개념 형 문항의 사후검사에서는 실험집단이 통제집단보다 높은 경향을 나타내었다. 즉 단일 개념이나 복합 개념이나에 따라 사후 개념 검사의 성취도가 수업방법에 의존하며 양분되는 경향을 나타내었다. 수업방법과 개념의 복합성에 따른 성취도의 차이를 통계적으로 살펴보기 위하여 SRCE-S를 두 영역으로 나누어 단일개념 형 문항(3점 만점)과 복합개념 형 문항(3점 만점)으로 구분하여 사후검사와 사전검사의 차 검증(독립표본 t검증)을 하였다.

단일개념 형 문항에서는 통제집단이 실험집단보다 통계적으로 유의미하게 높은 개

념변화($p<0.05, p=0.05$)를 보였다. 복합개념 형 문항에서는 〈표3〉에서와 같이 나타난 사전검사 점수의 차이를 통제하기 위해 공분산 분석(ANCOVA)을 실시하였다. 그 결과($p<0.01, p=0.000^{***}$)는 사전검사가 공 변량으로 처리되어 실험집단이 통제집단보다 복합 개념 영역 문항의 사후검사 성취도는 유의미하게 높은 것으로 나타났다.

SRCE-S는 문항을 선택한 후 이유도 함께 적어 보도록 하였는데 이유를 적는 학생의 수가 사전 검사에서는 40%미만의 학생이 이유를 적었으나 사후 검사에서는 50%정도의 학생이 이유를 적었다. 그래서 선

택한 이유를 분류하여 분석해보았다. 사전검사에서 동시성의 상대성과 길이 수축은 전혀 사전학습이 없어 과학적 이유를 적은 학생이 없었으나 좌표계, 광속 불변, 상대성의 원리, 시간 팽창 문항에서는 과학적 이유를 적은 학생이 일부 있었다.

사후 검사에서 이유를 맞게 진술한 학생들의 비교해 보면 실험집단과 통제집단의 정답률이 시간 팽창 문항을 제외하고 거의 비슷한 경향을 나타내었다. 특히 동시성의 상대성문항은 두 집단 모두에서 5% 미만의 아주 낮은 정답률을 나타내었다. 실험집단과 통제집단은 수업시간에 공통적으로 〈그림1〉과 같이 기차 역설 문제를 도입하여 두 좌표계에서 사건의 동시성이 같지 않음을 설명하였다. 하지만 학생들은 이 내용의 현상적 결과는 이해하여 문항에 대한 답은 선택은 하였지만 매우 빠르게 운동하는 두 좌표계에서 광속 불변의 법칙과 상대성의 원리를 적용하였을 때 나타나는 시공간의 효과를 설명하지는 못했다. 이 문항의 이유를 채점하는 기준은 ‘빨리 움직이는 두 좌표계의 동시성은 다르다.’와 유사한 설명을 정답으로 하였으나 특수상대론의 본질적인 물리적 의미를 충분히 반영하여 채점하는 데는 한계가 있었다.

3. 수업방법에 따른 고등학생들의 특수상대론 역설문제 해결방식의 차이

수업 후에 특수 상대론 기초 개념의 총괄적 평가를 위하여 로켓역설 문제를 중간고사 서술형 평가 문항으로 〈그림 5〉와 같이 출제 하였다. 학생들이 제출한 답안은 구체성, 논리성 등의 채점 기준에 의하여 25점 만점으로 채점하였다.

그 결과 실험 집단(N=155)은 평균 10.96점, 통제 집단(N=114)은 평균 6.91점으로 나타났다. 답안 작성

표 2 특수 상대론 기초 개념 영역별 정답률(*이유가 맞는 학생의 정답률)

문항	통제집단 -사전검사	실험집단 -사전검사	통제집단 -사후검사	실험집단 -사후검사	구분
좌표계	56(11*)	55.2(15.9*)	83.9(23.2*)	70.6(24*)	단 일 개념형 문 항
광속불변	18.3(3.7*)	22.1(3.4*)	88.4(54.5*)	75.3(50*)	
상대성	24.8(12.8*)	34.5(16.5*)	85.7(24.8*)	66(28*)	
동시성	35.8(0*)	46.9(0*)	46.4(1.8*)	68.7(4*)	복 합 개념형 문 항
시간팽창	27.5(4.6*)	35.2(9.7*)	47.3(17.9*)	68.7(34*)	
길이수축	11.9(0*)	28.3(0*)	54.5(26.8*)	66(22*)	

을 하지 않은 무 응답자가 실험집단은 41명, 통제집단은 48명이 나왔다. 특수 상대론적 모순의 현상을 기본 가정, 좌표계, 동시성의 상대성, 길이수축 등의 개념을 적용하여 논리적으로 설명해야하는 역설문제는 고등학생들에게 난이도가 높은 문제가 된다는 것을 알 수 있다.

수업 방법의 효과를 비교하기 위하여 t-검정 해본 결과를 실험집단이 통제집단보다 로켓역설 문제의 점수가 통계적으로 유의미하게 높게 나왔다. ($p < 0.01$, $p = 0.000^{***}$)

추측이 가능한 선택형 검사도구와 달리 로켓역설 서술형 문항은 추측의 요소가 배제되고 학생들의 사고 과정이 잘 드러나 있어서 특수 상대론 주요 개념들의 이해 정도를 질적으로 분석할 수 있었다.

〈그림 9〉은 실험집단 답안의 예시들이다. 다음은 실험집단 학생들의 설명내용이다.

학생1: 로켓B의 좌표계에서는 사건의 동시성이 깨지게 된다. 그러므로 A로켓의 R1에서 B로켓을 향해 총을 먼저 쏘아서 B로켓이 맞지 않고 조금 뒤에 R2와 F1이 일치하는 현상이 일어난다.

학생2: B좌표계에서 특수상대론에 의해 A가 먼저 쏘고 B의 뒤와 A의 앞이 만나는 것처럼 보인다. 즉, A좌표계에서는 두 사건이 동시이고 B좌표계에서는 두 건이 동시가 아니다.

학생3: 로켓B의 좌표계에서는 로켓A의 길이가 줄어 들어 보인다. 그런데 로켓A의 좌표계에서 로켓B는 총에 맞지 않았으므로 B의 좌표계에서도 결과가 같아야 한다. 로켓B의 좌표계에서는 F1과 R2가 일치하기 전에 총을 쏜 것처럼 보이고 그 다음 일치 사건이 일어난다.

학생1과 학생2는 기준이 되는 좌표계에서 사건도표를 그리고 좌표계에 따른 동시성의 상대성 논리를 적용하여 모순적으로 보이는 현상을 논리적으로 설명하였다. 학생3은 사건도표를 그리지는 않았고 두 좌표계에서 물리현상이 같아야 한다는 상대성의 원리와 동시성을 상대성 개념을 도입하여 문제를 해결하였다.

〈그림 10〉은 통제집단 답안의 예시들이다. 다음은 통제집단 학생들의 설명내용이다.

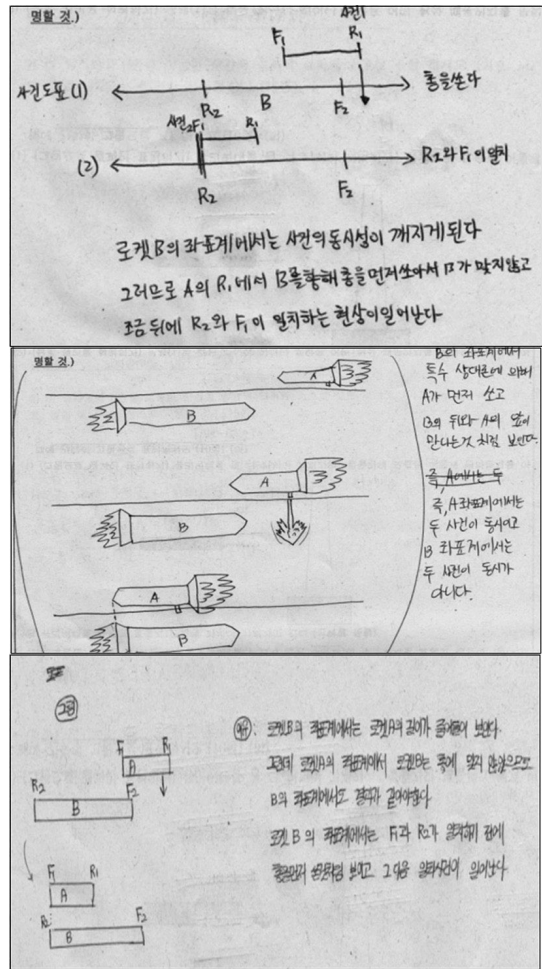


그림 9 실험집단의 로켓역설 문제해결 예시(상: 학생1, 중: 학생2, 하: 학생3)

학생4: 레이저를 먼저 쏜 후 F1과 R2가 일치하였다.

학생5: 빛의 속도 만큼 빠른 것을 볼 수 있는 관찰자가 있다면 우주선 밖의 우주에서 관찰하게 되면 A로켓과 B로켓이 일치하게 보인다.

학생6: A또는 B가 아닌 C의 좌표계가 있다고 가정하자. C의 입장에서는 ...로 보일 것이다.(길이수축) 그리고 A가 총을 쏘는 시점은 B가 인식하지 못 하더라도 길이수축은 적용된다. 따라서 레이저를 맞지 않는다.

학생4는 동시성의 상대성 개념을 도입하여 모순적인 상황을 설명하였지만 기준이 되는 B 로켓이 움직이고 A로켓이 B로켓의 근처에 있을수록 길이가 점점 수축되는 것으로 묘사하였다. 학생5는 두 로켓의 밖의

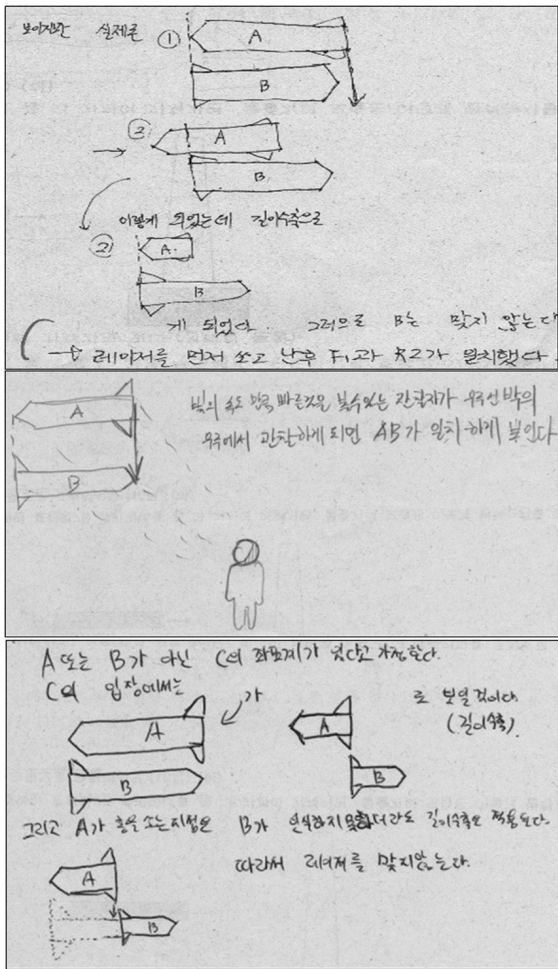


그림 10 통제집단의 로켓역설 문제해결 예시(상: 학생4, 중: 학생5, 하: 학생6)

관찰자의 시각에 의하여 사건의 발생 순서를 판단하였다. 학생6은 두 로켓이 형성하는 좌표계 이외에 제 3의 좌표계를 도입하였고 기준이 되는 B로켓이 길이 수축이 되는 것으로 잘못 해석하고 있다.

IV. 결론과 제언

이 연구는 개정된 물리교과서에 포함된 현대물리학 소재인 특수 상대성 이론에 대해 고등학생의 인지 수준을 고려하고 학습자의 주도적 수업참여를 구현하기 위하여 ‘가상현실’과 ‘사건도표’ 활동이 포함된 수업 방법을 고안하여 그 효과를 정량적이고 정성적으로 분석하는 데 목적이 있다. 이를 위한 연구 문제에 대한 결론은 다음과 같다.

첫째, ‘가상현실’ 보기와 ‘사건도표’ 그리기 활동을 통한 수업방법은 전통적 수업 방법과 비교 할 때 선택 후 설명방식의 특수 상대론 기초 개념 검사의 전반적인 성취도에서 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 프로그램 수업은 복합 개념형 문항에서는 유의미하게 높은 성취도를 나타내었다. 그래서 교사 위주의 설명적 수업보다 학생들이 스스로 그려보고 생각하는 활동이 특수상대론의 개념을 구조적으로 파악하는데 유익할 수 있음을 보여 주었다.

둘째, 특수 상대론적 역설상황은 고등학생들에게 몇 시간의 수업으로 해결하기에는 매우 어려운 문제였다. 가상현실과 사건도표를 이용한 수업은 전통적 수업보다 역설문제에 대한 성취도가 높게 나타났다. 실험집단의 학생들은 역설문제 해결과정에서 특수 상대론적 현상을 좌표계의 틀 위에서 객관적으로 설명하는 좌표계 의존형 문제 해결방식의 특성을 나타내었다. 통제집단의 학생들은 특수 상대론적 현상을 불완전하거나 잘못된 좌표계 개념으로 설명하였고 사건의 순서를 관찰자의 시각이나 직관에 의존하여 판단하는 관찰자 의존형 문제 해결방식을 나타내었다. 이 결과는 Scherr(2001)의 연구에서 동시성을 묻는 문제(동시 발생한 두 화산 위를 달리는 우주선의 좌표계에서 동시성을 묻는 문제)에 대한 관찰자 의존형 답변과 유사한 반응양식을 나타내었다. 특수상대론의 주요 효과는 두 관성 좌표계를 정의 할 때 명확히 기술된다. 그러므로 학생들에게 특수상대론적 현상들이 좌표계에 의존하는 물리현상이라고 언어적으로 설명해 주는 것보다 좌표계라는 틀 위에 직접 그려 보게 하는 활동이 특수 상대론의 객관적 표현을 돕는 효율적인 수업 방법이라고 제안할 수 있다.

이상의 연구결과에서 두 가지 제언을 하면 첫째, 사건도표는 구체적 사물로 물리현상을 불연속적으로 표현하기 때문에 학생들에게 기초적인 좌표계와 사건의 개념을 가르치기에는 효율적인 수업 매체이다. 하지만 특수 상대론의 본질적인 특성인 시공간의 상대성을 보여주기에는 한계가 있는 방법이다. 로렌츠 변환의 효과를 시공간상에서 보여주는 가상현실이나 애니메이션이 인터넷에서 많이 공개 되어 있다. 이런 사이트를 적절히 재가공하여 학생들에게 시공간의 상대성 효과를 시각적으로 보여주고 탐구해보는 활동을 개발해 볼 필요가 있다.

둘째, 개정 물리교과서에 새로 도입된 특수상대론,

일반상대론과 같은 주제의 평가 문항의 개발에 본 연구의 결과가 기초 자료로 활용될 수 있다.

참고 문헌

- 교육과학기술부(2009), 교육과학기술부 고시 제 2009-41호, 고교 과학과 교육과정 해설서
- 김영민, 김재권 외(2009). 2009개정 교육과정 물리1 교과서. 교학사(주)
- 김영민, 김재권 외(2010). 2009개정 교육과정 물리2 교과서. 교학사(주)
- 김영민, 이승우, 박수경(2011). 전국 중.고등학생 및 과학교사들의 첨단과학기술에 대한 인식 및 관련 지식 조사 연구. 새물리, 61(9), 829~839.
- 김영민(2007). 창의적 물리학자들의 귀추적 사고 유형 분석. 새물리, 54(4), 261~268.
- 김영삼(2003). 개념구조변화모형에 기초한 특수상대론 이해과정에서개입유형별 반응 특성과 확신유형에 따른 개념변화 특성. 한국교원대학교 박사학위 논문.
- 물리의 이해(2005) <http://physica.gsnu.ac.kr/>
- 박종원(1991). 상대론 기초개념 변화에 있어서 초인식의 역할. 서울대학교 박사학위논문.
- Bruner, J. S.(1960) The process of education. Cambridge. Harvard University Press.
- Bruner, J. S.(1966) Toward a theory of instruction. Harvard University Press.
- Einstein, Albert (1905). "Zur Elektrodynamik bewegter Körper(On the Electrodynamics of Moving Bodies)." *Annalender Physik*, 17, pp. 891-921.
- Herman Minkowski (1908). "Space and Time."
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1969). *The psychology of the child*. New York: Grossman.
- Savage, C., McGrath, D., (2010) Teaching Physics using Virtual Reality, Final Report, Australian Learning & Teaching Council.
- Scherr, R. E. (2001) An Investigation of student understanding of basic concepts in special relativity. Unpublished doctoral dissertation, University of Washington. The King's Centre for Visualization in Science(2007). <http://www.kevs.ca/site/projects/specialRelativity.html>
- Teaching Special Relativity Using Physlets. http://webphysics.davidson.edu/physlet_resources/special_relativity/default.html
- Wolfram Demonstrations Project(2011) <http://demonstrations.wolfram.com/search.html?query=relativity>
- Through Einstein's eyes <http://www.anu.edu.au/Physics/Savage/TEE/site/tee/home.html>

국문 요약

이 연구는 개정된 물리교과서에 포함된 현대물리학 소재인 특수 상대성 이론에 대해 고등학생의 인지 수준을 고려하고 학습자의 주도적 수업참여를 구현하기 위하여 '가상현실' 과 '사건도표' 활동이 포함된 수업 방법을 고안하여 그 효과를 정량적이고 정성적으로 분석하는 데 목적이 있다.

특수상대론 개념 학습 프로그램을 통한 수업과 전통적 수업은 선택 후 설문식 문항의 전반적인 성취도에서 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 프로그램 수업을 이수한 학생은 복합 개념 형 문항의 성취도는 유의미하게 높게 나타났다.

특수 상대론적 역설문제에서는 프로그램 수업집단은 전통적 수업집단보다 통계적으로 유의미하게 높은 성취도를 나타내었다. 프로그램 수업집단 학생들은 역설문제 해결과정에서 특수 상대론적 현상을 좌표계의 틀 위에서 객관적으로 설명하는 좌표계 의존 형 문제 해결방식의 특성을 나타내었다. 전통적 수업집단의 학생들은 특수 상대론적 현상을 불완전하거나 잘못된 좌표계 개념으로 설명하였고 사건의 순서를 관찰자의 직관에 의존하여 판단하는 관찰자 의존형 문제 해결방식을 나타내었다. 특수 상대론적 효과가 시각화된 영상을 보고 사건도표라는 가상의 시공간을 노트에 그려보고 생각하는 활동은 학생들에게 도약판을 만들어 주는 하나의 방법으로 제안한다.

주요어: 특수상대론, 사건도표, 가상현실, 중등학교, 역설