

시연을 활용한 물리 수업의 효과에 관한 연구

이은실* · 조현지**† · 이종호***

*한동대학교 교육대학원

**한동대학교 글로벌 리더십 학부

***한양대학교

A Study on the Effect of Using Demonstrations in Physics Classroom

EunSill Rhee* · Hyunji Cho**† · Jongho Lee***

*Graduate School of Education, Handong Global University

**Global Leadership School, Handong Global University

***Hanyang University

ABSTRACT

This paper discusses the effect that classroom demonstrations have on students' conceptual understanding in concepts in introductory physics. We used the same conceptual survey to probe the students' understanding on certain concepts before and after taking the course. We introduce Hake's $\langle g \rangle$, which is used to evaluate the effect of various kind of teaching methods, suggested by physics education research groups, on conceptual understanding of students who took the class. The effect of physics class using demonstration turned to be better than the traditional lecture, higher for students who graduated from science schools with higher prior knowledge and demonstration experience. Authors suggest to use $\langle G \rangle$ to probe concepts which need more attention.

Keywords: Physics Education, classroom demonstration, teaching method, instruction effect

1. 서 론

대학에서 한 학기 이상 물리를 수강해야 하는 공학계열 1학년 학생들이 물리학을 어려워하고, 수업참여도가 떨어지며, 성적에서 드러나는 수업의 효과가 기대에 미치지 못한다는 사실은 이들을 대상으로 물리학을 가르치는 사람들이 공통적으로 경험하는 일반물리 혹은 대학물리(이하 일반물리라고 하기로 함)교육의 어려움이다. 이런 어려움은 기존 교육학적 입장에서 접근했던 과학교육의 한 분야로서의 물리교육연구가 아니라 물리를 전공한 사람들이 현장에서 마주친 문제들에 대한 해결 방안을 연구하고, 그 결과를 현장에 적용하면서 조정해 나가는 물리교육연구가 시작되는 계기가 되었다. 대학 물리교육연구의 영역은 학생들이 가지고 있는 잘못된 개념을 분석하여 이를 바로 잡는데 효과적인 교수법 개발연구, 공학 분야 전공 학생들에게 더 강조되는 물리학 내용을 반영하는 교과내용 개발연구, 물리학 학습효과를 평가할 수 있는 도구 개발 및 효과검증 연구 등

다양하다.

미국의 경우 일반물리 교육개선과 관련된 이러한 물리교육연구의 흐름은 학생들의 이공계 기피현상이 심각한 사회현상으로 인식되기 시작한 시점이 맞물리는 1980년대 중반부터 시작되었다. 이러한 물리교육연구의 결과로 개별대학에서는 효과적인 교수 매체나 교수법 보완뿐 아니라 일반물리 교육과정개편이 시도되었다. 미국 내 759개 대학의 물리학과를 대상으로 한 조사에 따르면 42% 이상의 대학이 전통적인 강의중심의 일반물리수업으로부터 다른 방식으로 전환하는 교육과정과 방법의 개편이 있다고 하였다(Coleman et al., 1998). 구체적인 예를 보자면, 미국의 Air Force Academy와 Harvard 대학교는 Peer Instruction 방식을, University of Illinois at Urban Champaign 에서는 수업시간에 다룰 내용에 대한 실험을 하는 ILDs (Interactive Lecture Demonstrations)를 도입하여 강의를 진행하였다. 또한 Dickinson 대학에서는 수업과 실험을 병행하는 워크숍 물리 수업방식을 도입해 시행했고, MIT는 대규모 강의식 수업에서 컴퓨터 시연과 소그룹활동을 주로 하는 TEAL (Technology Enhanced Active Learning)방식의 수업을 진행하기 시작하였다.

Received July 16, 2011; Revised November 8, 2011

Accepted November 14, 2011

† Corresponding Author: hyunji@handong.edu

이러한 미국에서의 물리교육연구의 흐름과는 달리, 국내에서는 일반물리교육의 개선과 그 효과에 관련된 지속적이고 체계적인 연구를 찾아보기가 쉽지 않은 상황이다. 이는 물리교육연구에 대한 인식이나 필요성에 대한 공감대가 아직 국내 대학에 형성되어 있지 못함을 반영하는 것이라 할 수 있다. 그러나 개별 대학에 따라 일반물리교육의 개선을 위한 노력이 없는 것은 아니다. 국내 P대학의 경우 기존 이론 강의 중심의 일반물리수업에서는 학생들이 실제적인 현상을 이해하고 응용하는데 한계가 있음을 알고 이를 보완하는 수업개선을 시도하고 있다. 이 대학의 경우 물리적 개념을 확고히 습득할 수 있도록 강의내용 중에 다루는 개념과 관련된 시연(Demonstration)을 도입하는 강의를 시도하고 있다.

P대학에서 시도한 시연을 활용한 물리수업은 앞서 언급한 미국의 일반물리수업과 비교할 때 전체 수업에서 전통적인 방식의 강의 진행이 얼마나 되는가의 정도에서 차이가 있다. P대학의 시연활용 물리수업은 전통적인 방식의 강의 내용에는 변화를 주지 않았고, 학생수가 80명 이상 되는 중대형 강의를 진행했으며, 수업시간 중 교수와 학생, 학생과 학생간의 상호작용이 전통적 강의수업의 그것들과 크게 다를 바 없었다. 일부 새로운 교수법에서는 실험과 강의를 병행하거나, 연습(recitation)의 시간을 늘리고 특별히 고안된 문제를 학생들이 그룹으로 풀도록 그 운영을 변화 시키는 접근을 하나 본 연구의 대상인 P대학에서는 행해지지 않았다. 따라서 대학 일반물리수업에서 기존 강의 수업의 틀에 시연활용이라는 면에서만 변화를 주었을 때, 그것이 학습효과에 미치는 영향에 대한 검토가 필요하다.

시연을 활용한 일반물리수업의 효과와 중등교육과정에서 실험이나 시연에 노출되었던 경험과의 관계에 대한 탐색도 필요하다. 과학고의 교과서는 일반고에 비해 탐구활동이나 실험과정을 많이 포함하고 있고, 실제 수업에서 측정, 예상, 자료해석, 결론도출활동 등의 탐구요소가 강조되고 있다(이명성, 2009; 한

미혜, 2008). 과학고 학생들은 실험을 비롯한 참여형 수업, 관찰에 따른 추론적 사고에 대한 선호도가 일반계 학생보다 높게 나타났다(이정철 외, 2009). 이러한 과학고의 교육과정과 방법, 학생 특징은 시연활용 일반물리수업에 긍정적으로 작용하여 과학고 출신 학생들이 더 높은 학습효과를 보일 것으로 예측되나 경험적 탐색이 필요한 사항이다.

본 연구에서는 전통적인 강의수업을 진행하면서 시연을 활용하는 경우 어느 정도의 수업효과가 있는지, 그 수업효과가 시연에 익숙한 대상과 그렇지 않은 대상에게 비슷하게 나타나는지를 비교하고자 한다. 시연활용 물리수업에서 학생들의 개념이해도를 측정한 후 그 결과를 비교함으로써 답을 얻고자 하는 연구문제는 아래와 같다.

- 시연을 활용한 물리 수업은 학생들의 물리학 기본 개념 이해도(역학, 전자기학 분야) 증진에 어떠한 영향을 미쳤는가?
- 출신 고교(일반계, 과학고)에서의 물리 실험에 대한 노출 정도에 따라 시연 물리 수업의 효과에서 차이를 나타내는가?
- 개념이해도 평가의 결과는 시연수업과 관련된 교수법과 수업운영에 어떤 점을 시사하는가?

본 연구는 시연 중심 교수법의 효과를 국내 대학생을 대상으로 연구한다는 의미가 있으며, 그 이해를 바탕으로 새로운 교수법의 도입이 일회성 교육방법 변화시도에서 멈추지 않고, 체계적인 수업개선으로 연결되는 토대를 마련할 것으로 기대된다.

II. 선행연구

1. 다양한 물리수업 교수법

그간 대학단위에서 이루어진 물리수업방법과 관련된 연구를

Table 1. Instruction methods for teaching college physics

교수법	수업 방식 특징
Tools for Scientific Thinking (Thornton, 1989)	실시간 정보 기록 방식(Real-time data logging)으로 진행되는 물리 개념 학습을 위한 초창기 실험활동 수업
Real time Physics (Sokoloff et al., 1998, 2004)	모델링이나 학생 그룹 활동 등이 포함된 조사연구 위주(research - based)의 수업방식으로 TST보다 좀 더 포괄적인 교수 방법이 포함된 실험 수업
Workshop Physics (Laws, 1991, 2004)	주당 두 시간씩 세 차례 진행되고, 학생들 간의 협력이 요구되는 활동을 중시하는 정규 강의가 생략된 물리 수업
Interactive Lecture Demonstrations	교수자가 강의실 앞에서 실험을 하고, 학생들이 관찰을 바탕으로 동료 학생들과 상호 참여를 통해 학습하는 수업 형태
Peer Instruction Technique (Mazur, 1996)	동료간의 상호작용을 통해 개념적 지식을 습득하고 확인하는 교수법
Technology Enhanced Active Learning (John, 2003)	컴퓨터를 활용하여 수업 중 시뮬레이션 실시, 그룹간 개념문제 확인을 병행하는 교수법

보면 대학에서 다양한 교수법이 시도되고 있음을 알 수 있다 (Thornton, 2008). 동료 간의 상호작용을 통해 개념적 지식을 습득할 수 있도록 해주는 Peer Instruction 방식의 교수법 (Mazur, 1998), 컴퓨터를 이용한 물리 개념 시연과 이를 기반으로 동료와 상호작용을 촉진하는 교수방법인 Interactive Lecture Demonstrations(ILDs), 그리고 실시간으로 물리 현상의 결과들을 컴퓨터를 통해 관찰, 기록하는 Real-time data logging 기술을 이용한 교수법 등이 그 예가 된다(Table 1).

2. 교수법에 따른 학습내용 이해도 및 효과

대학 일반물리의 수업방법이 다양화 되면서 물리교육연구의 관심은 과연 어떤 방법이 학습효과 증진에 도움이 되는가에 집중되고 있다. 전통적인 강의중심의 교수법과 새로운 교수법을 비교하여 전반적인 수업의 효과를 측정하는 방법으로는 Hake (1999)가 제안한 “the average normalized gain”(이하 <g>로 표기)이 활발하게 이용되고 있다. Hake가 사용한 <g>의 산출방법은 아래와 같다.

$$\langle g \rangle = \frac{[\text{수업 후 시험 평균}(\%) - \text{수업 전 시험 평균}(\%)]}{[100\% - \text{수업 전 시험 평균}(\%)]}$$

<g>는 학생들이 수업 전에 잘 알지 못했던 개념들을 수업 후 상대적으로 얼마나 더 이해하게 되었는지에 대한 정보를 제공한다. 예를 들면, 학기 초 강의를 듣기 전에 20문항 중 10문항을 맞춘 학생이 강의를 들은 후에 나머지 10문항 중 얼마를 맞추는가 하는 것으로 수업의 효과를 측정하는 것이다. 만약에 10문항을 모두 맞추면 그 학생의 <g>는 1이 되고, 5문항만 맞추었다면 알아야 할 10문항 중 절반만 맞추었으므로 <g>는 0.5가 된다.

수업의 효과를 측정하기 위해서는 수업에 참여하는 학생들의 다양한 사전 지식수준의 차이를 고려해야만 하는데 <g>의 장점은 학생들의 사전 지식 정도의 편차를 고려한 수업 효과를 구할 수 있다는 점이다. <g>의 또 다른 장점은 교수법의 효과를 비교할 수 있다는 데 있다.

Hake는 수업효과의 비교 기준으로 0.3과 0.7을 두고 있다. 즉, <g>가 0.3보다 낮은 경우는 수업 효과가 낮고, 0.7보다 높은 경우는 수업효과가 높으며, 0.3과 0.7사이에 있는 경우는 보통이라고 보고 있다.

다양한 물리 교수법의 수업효과를 <g>로 비교한 도표는 Table 2와 같다. 이 도표를 보면 세 가지 개념평가검사지(i.e., 힘에 대한 이해도를 검사하는 FCI, 운동량에 대한 이해도를 검사하는

Table 2. Learning gains by instructional methods

Test	Names	Instructional method	<g>
FCI	Dickinson College	Workshop physics	0.41
	U of Washington	Tutorials in Introductory Physics	0.35
	UIUC/UMN	Group Problem Solving	0.34
		Traditional	0.16
FMCE	Dickinson College	Workshop physics	0.65
		Traditional	0.14
MIT test	MIT	TEAL	0.52

FMCE, MIT 개념 점수)로 측정된 <g>가 대학 일반물리 수업방식에 따라 얼마나 다른지 보여준다. 전통적인 수업의 경우(i.e., UIUC/UMN, Dickinson College) <g>는 각각 0.16와 0.14으로 미미한 향상을 보였다. 그러나 UIUC/UMN에서 학생들이 그룹으로 문제를 해결하는 방식(Group Problem Solving)으로 연습시간을 운영하였을 때 <g>가 0.34로 전통적 강의수업보다 좋은 효과를 얻을 수 있음을 보여 주었다. Workshop physics 방식으로 수업하는 Dickinson college의 경우, FCI와 FMCE 검사의 <g>가 각각 0.41, 0.65로 나타나 Workshop physics 방식의 수업이 전통적인 수업방식의 학습효과보다 높음을 보여 주었다.

그간 시행된 물리 교수법 수업효과 연구는 새로운 교수법을 전통적인 수업과 대비하여 그 수업효과를 보여주었다는 의미가 있으나, 전통적인 수업과 단적으로 비교되는 교수법만을 다루었다는 한계가 있다. 전통적인 강의수업을 진행하는 대학 물리 수업에서 보다 용이하게 시도할 수 있는 방법, 즉 전통적인 강의수업을 진행하면서 특정 수업의 요소를 첨가하거나 활용하는 경우에는 어느 정도의 수업효과가 있는지에 대한 연구는 찾기 어려운 상태이다.

III. 연구 방법

1. 연구개요

본 연구의 대상이 된 P대학은 일반물리 교수법을 2010년 1학기부터 강의중심수업에서 시연을 활용한 강의수업으로 개선하였다. 학생들의 이해도와 강의 만족도 상승을 목표로 한 시연 활용 강의수업을 위해 이 대학은 데모강의실을 구축하고 수업에 필요한 데모기기를 자체 제작해오고 있다. 시연활용수업인 ‘일반물리’는 일주일에 2회 각 75분 시연활용 수업과 1회 50분 연습문제풀이로 구성되며, 병행과목으로 ‘일반물리학 실험’이 있다.

시연활용 수업은 강의와 함께 그 강의에서 다루는 개념을 잘

Table 3. Demo titles for the college physics lectures

Topics	Demo title
Kinematics	high road and low road/penny & feather/air glider/howitzer & tunnel/hunter & monkey/hero's engine
Newton's Laws	whirligig/inertia balls/leaky cup drop/einstein's birthday present/art on incline
Work and Energy	Angle of repose/air track (potential energy, conservation energy)/nose ball
Gravity	Kepler's law simulation/center of mass
Momentum	2-D/double ball bounce/conservation law of momentum
Rotation/Angular momentum	Ring, disk and sphere/air track 도르래 종류별 관성모멘트/potential wall, loop the loop
Equilibrium	Ladder/basic pendulum/gyroscope with bicycle wheel, disk wheel
Oscillation	Resonance pendulum/beaker breaker
Wave	Transverse waves/longitudinal wave by spring/transverse wave by elastic band/flame tube/resonance tube/2D transverse wave/pressure of the cup
Fluid	Pingpong ball in water/air cannon/Bernoulli cart
Heat and Temperature	leslie's cube/convection tube/IR camera/lead bell/ice melting blocks/break the bolt
Thermo-dynamics	Open bottle with heat/doughnut tube heat expansion/stirling engine/rubber band contraction/liquid in a vacuum

설명할 수 있는 시연종목을 강의 당 2-3개 배정하여 실시한다. 단, 시연 종목은 강의 담당 교수에 따라 약간 차이가 있고, 수업 당 사용 종목 수 평균은 1.94로 나타났다. 연습문제풀이는 한 분반 당 시연 강의인원의 절반인 40명 정도이고, 50분 연습시간에는 강의 시간에 다루지 못했던 식의 구체적인 증명과정을 보여주거나 문제를 풀는데 사용한다. 시연이 진행된 1학기 역학 부분의 주제와 시연 종목은 아래 Table 3과 같다.

2. 연구 대상

본 연구의 대상은 2010년 P대학의 일반물리수업을 수강하는 학생 전체이다. 이들을 대상으로 2010년 1, 2학기 초에 강의 전 개념이해도(1학기 역학, 2학기 전자기)를 평가하고, 학기 말 동일한 문제로 강의 후 개념이해도를 평가하였다. 강의 전, 후의 자료가 유효한 학생 수는 1학기 228명, 2학기 233명으로 이들의 자료가 분석되었다. 성별 및 출신고교(과학고, 일반고)에 따른 응답자 분석은 Table 4와 같다. 1학기의 경우 총 228명 중 여학생은 40명(17.5%), 과학고 출신은 70명(30.7%)이었고, 2학기에는 총 233명 중 여학생 35명, 과학고 출신은 75명이었다.

3. 연구 도구

가. 역학 개념 이해 평가지

역학 개념이해도 평가에 사용된 FCI(Force Concept Inventory)는 Hestenes, Wells, Swackhamer에 의해 1992년에 처음 만들어지고 1995년에 Halloun와 그 동료들에 의해 수정을 거쳐 현재 미국에서 가장 널리 사용되고 있는 개념이해도 평가도구이다. 이 도구는 주로 뉴턴 운동 법칙에 관련된 개념을 다루고 있다.

Table 4. Descriptive information of the respondents

Type of high school graduated	2010-1		2010-2	
	count	(%)	count	(%)
general	157	68.9	158	67.8
science high school	70	30.7	75	32.2
missing	1	0.4	0	0.0
gender	count	(%)	count	(%)
female	40	17.5	35	15.0
male	188	82.5	198	85.0
total	228	100.0	233	100.0

FMCE(Force Momentum Concept Evaluation)는 워크숍 형태의 물리 수업의 효과를 측정하기 위해 Thornton과 Sokoloff에 의해 개발되었다(Thornton & Sokoloff, 1998). FMCE에서 다루는 주제는 FCI와 비슷하나 FMCE는 운동량 개념이 추가된 것과, 주로 선형 운동과 시각적 표상에 초점을 두었다는 점에서 차이가 있다. 본 연구에 사용된 역학개념이해 평가지는 FCI, FMCE를 발췌, 번역한 것으로 총 36문항이다.

나. 전자기 개념이해 평가지 소개

본 연구에서는 2010년 2학기에 진행된 데모활용 강의수업의 효과를 알아보기 위해 CSEM (Conceptual Survey in Electricity and Magnetism)을 사용하였다. CSEM은 학생들의 전자기학에 관련된 지식수준을 평가하기 위한 것으로 총 32문항의 다지 선다형으로 이루어져있다. CSEM은 Maloney와 그 동료(Maloney et al., 2001)들이 기존에 있는 CSE(Conceptual Survey on Electricity)와 CSM(Conceptual Survey on Magnetism)의 총 53개의 문항에서 발췌하여 구성한 평가지이다.

IV. 연구결과 및 해석

1. 역학개념 시험결과 분석

수업 전 개념시험 점수는 학생들이 수업을 듣기 전 역학개념에 대한 기초지식을 가늠해볼 수 있는 지표이다. Table 5에서 보는 것과 같이 수업 전 역학시험 점수 평균이 36점 만점에 원점수로 29.06, 백분율로는 80.73%의 정답률을 보이고 있어 이미 학생들이 고등학교에서 기본적인 역학 개념을 숙지했음을 보여주었다. 일반고 출신 학생들의 사전 개념시험 점수(28.69)보다 과학고 출신 학생들의 사전 개념시험 점수(29.84)가 높았으나 그 차이는 통계적으로 유의미하지는 않았다($t = 1.69, p = .93$).

데모 수업의 효과를 검증하기 위해 paired t-test로 분석한 결과, 수업 후 역학개념시험 평균점수(30.83점)가 수업 전 역학개념시험 평균점수(29.06)보다 높았다($t = 7.82, p < 0.01$). 이러한 수업 전후의 역학개념 이해도 차이는 일반고와 과학고 출신에게서 모두 나타났다(일반고 $t = 5.78, p < 0.01$, 과학고 $t = 5.47, p < 0.01$).

Table 5의 Hake-g에서 보는 바와 같이 강의 전과 후에 실시한 개념이해도를 비교하여 수업효과 지표를 계산한 결과 $\langle g \rangle$ 는 0.25이었다. 외국의 경우 전통적인 강의수업을 하였을 때 $\langle g \rangle$ 가 0.15 정도인 점을 고려할 때 시연을 활용한 강의수업이 전통적인 강의수업보다 효과가 있음을 나타내주고 있다. 그러나 타 교수법(예, workshop physics, TEAL)을 활용하였을 때 $\langle g \rangle$ 가 0.4 이상이었음을 고려한다면 여전히 교수법 면에서 개선의 여지가 있음을 알 수 있다.

과연 시연활용 강의수업의 효과가 일반고 출신보다 과학고 출신학생들에게 더 높았는가를 알아보기 위해 두 그룹의 사전검사의 점수를 교정한 사후 성취수준에 대한 공분산분석을 실시하였고, 그 결과는 Table 6과 같다. 교정된 사후 성취수준의 차이

Table 6. ANCOVA analysis of the adjusted mechanics concept scores by the type of high school respondents were graduated

Source	SS	df	MS	F	p
pre-score	1938.992	1	1938.992	229.12	.000
teaching	32.877	1	32.87	3.88	.050
error	1895.62	224	8.46		
total	219377.00	227			

를 보면 과학고의 교정된 사후점수 평균이 일반고 학생들의 교정된 사후점수보다 높게 나왔고 유의수준 .05에서 통계적으로 유의하였다. ($F = 3.51, p = 0.05$). 즉, 시연활용 강의수업의 효과는 시연활동에 익숙한 과학고 출신 학생들에게 더 높게 나타났다.

2. 전자기 개념시험 결과 분석

2학기 전자기학 시험의 경우 사전 개념시험 점수, 사후 개념시험 점수, 사전 점수를 통제된 교정 점수의 평균과 표준편차는 Table 7과 같다.

전자기 사전 개념시험 점수를 보면 전체 평균 20.23이며 일반고 출신 학생들의 경우는 19.19, 과학고 출신 학생들은 22.43으로, 과학고 출신 학생들의 사전 점수가 더 높게 나왔다($t = 4.98, p < 0.01$). 데모 수업의 효과를 검증하기 위해 paired t-test로 분석한 결과, 수업 후 전자기 개념시험 전체 점수 평균(30.83)이 수업 전 전자기 개념시험 전체 점수(29.06)보다 통계적으로 유의하게 높았다($t = 17.36, p < 0.01$). 출신고별로 수업 효과를 알아보기 위해 마찬가지로 paired t-test로 분석하였고, 일반고($t = 14.22, p < 0.01$), 과학고($t = 9.99, p < 0.01$) 모두 사전, 사후 점수의 차이가 유의하게 나타났다.

과연 전자기 개념시험에서도 시연활용 강의수업의 효과가 일반고 출신보다 과학고 출신학생들에게 더 높았는가를 알아보기

Table 5. Descriptive statistics for mechanics concept scores by the type of high school respondents were graduated

		general sch.	science sch.	total
pre-score	average	28.69	29.84	29.06
	s.d	4.84	4.52	4.76
post-score	average	30.33	31.87	30.83
	s.d	4.36	3.54	4.19
adj. post-score	average	30.55	31.38	30.97
	s.d	.23	.35	.21
Hake-g $\langle g \rangle$		0.22	0.33	0.25
# of students		157	70	228

Table 7. Descriptive statistics for electromagnetism concept scores by the type of high school respondents were graduated

		general sch.	science sch.	total
pre-score	average	19.19	22.43	20.23
	s.d	5.04	4.44	5.07
post-score	average	24.25	27.01	25.14
	s.d	4.17	2.67	3.97
adj. post-score	average	24.67	29.13	25.40
	s.d	.26	.38	.23
Hake-g $\langle g \rangle$		0.43	0.54	0.46
# of students		158	75	233

Table 8. ANCOVA analysis of the adjusted electro-magnetism concept scores by the type of high school respondents were graduated

Source	SS	df	MS	F	p
pre-score	887.96	1	887.96	85.94	.000
teaching	98.51	1	98.51	9.53	.002
error	2376.39	230	10.33		
total	150883.0	233			

위해 사전검사의 점수를 교정한 사후 성취수준에 대한 공분산 분석을 한 결과는 Table 8과 같다.

사전 전자기 이해도 수준의 영향을 통제된 후의 교정된 전자기개념 사후 이해도 수준을 비교한 결과 과학고의 교정된 사후 점수 평균(29.13)이 일반고 학생들의 교정된 사후점수(24.67) 보다 높게 나왔다($F=9.54, p=0.02$). 이는 역학의 경우와 마찬가지로 시연활동 강의수업의 효과는 시연활동에 익숙한 과학고 출신학생들에게 더 높았음을 의미한다.

3. 개념시험에 대한 문항 분석

개념 이해도 평가를 이용하여 강의 전, 후의 결과를 비교하는 것은 학습효과를 평가하는 것 뿐 아니라 문항분석을 통해 학생들의 이해도가 낮은 부분이 어느 곳인지 파악하는데 도움이 된다. 개념이해도 문항분석에서는 먼저 강의 전 정답률이 높은 문항과 낮은 문항, 강의 후 정답률이 높은 문항과 낮은 문항을 먼저 분석하였다. 그리고 강의효과가 높은 문항과 낮은 문항을 다루었는데 강의효과 측정은 문항별 gain, 즉 $\langle G \rangle$ 로 계산하였다. $\langle G \rangle$ 는 수업 전 특정 문항의 정답률이 수업 후 얼마나 향상되었는지를 나타내는 지표이다.

$$G = \frac{[\text{강의 후 정답률}(\%) - \text{강의 전 정답률}(\%)]}{[100 - \text{강의 전 정답률}(\%)]}$$

가. 강의 전 평가에서 좋은 점수를 얻은 문항(강의 전 학생들이 이미 잘 이해하고 있는 개념)

역학 개념 중에서 강의 전에 이미 90% 이상의 학생들이 옳게 답한 문항은 총 53문항 중 6문항이었다. 줄에 묶인 물체가 등속 원운동 하는 중에 줄이 끊어질 때 그 이후의 물체의 운동경로를 묻는 문제(정답률 100%), 연직상방으로 올려진 물체에 작용하는 힘에 대하여 묻는 문제(93.0%), 등속운동을 하는 물체에 작용하는 힘의 총합이 0이 되는 것을 이해하는 지를 알아보는 문제(93.9%), 두 물체의 속도가 같은 경우 같은 시간 동안 이동하는 거리가 같다는 것을 이해했는지를 그래프를 이용하여 묻는 문제(93.5%)가 그 예이다. 전자기 개념 중 강의 전

평가에서 90% 이상의 정답률을 보인 문항은 역학분야보다 적은 두 문항이었다. 두 문항을 보면 두 전하사이에 작용하는 전기력이 전하의 곱에 비례한다는 것을 이해했는지를 알아보는 문제, 그리고 전류가 흐르는 전선 주변의 자기장의 방향에 대한 문제이었다.

나. 강의 전 평가에서 낮은 점수를 얻은 문항(고등학교까지의 과정을 통해 학생들이 잘 이해하지 못한다고 판단되는 개념)

1학기에 다루는 역학부분의 경우 두 개의 역학 문제에서 50% 이하의 정답률을 보였다(각각 49.3%, 36.7%). 즉, 단진자 운동에서의 역학적 에너지 보존과 완전 비탄성 충돌에서 운동량의 합이 보존되는 것의 두 개념을 복합적으로 이해하는지에 대한 질문, 그리고 포사체의 역학적 에너지 보존 법칙에 대한 문제이다.

2학기에 다룬 전자기 부분에서는 총 31개 문항 중 8개 문항의 정답률이 50% 이하로 나타났다. 즉, 대전된 부도체에서 전하가 잘 움직이지 않는 것에 대한 문제, 전기장에서의 전하의 운동과 포텐셜 에너지 개념, 도체 주변에 전하가 있을 때, 중성인 도체 내부의 전기장에 대한 문제, 전기력선과 전기력의 방향을 연관 짓는 문제이다. 또, 로렌츠 힘이해와 자기장에서 정지한 전하가 힘을 받는지에 대한 질문, 패러데이 법칙(유도전류)에 대한 이해를 살펴보는 질문이었다.

다. 강의 후에도 좋지 않은 점수를 얻은 문항(강의 후에도 잘 이해하지 못한 개념)

역학적 에너지 보존법칙을 묻는 역학개념문제(문항 33번)에 대하여 강의를 들은 후에도 학생들의 50% 이상이 옳은 답을 하지 못하였다. 또한 전자기 개념 중 강의 전에 50% 이하의 정답률을 보였던 문제 중 두 문제(문항14, 21)는 강의 후에도 여전히 50% 미만의 정답률을 나타내 강의를 듣고 나서도 그 개념에 대하여 이해하지 못한 학생이 많다는 것을 알 수 있다.

라. 높은 $\langle G \rangle$ 를 보인 문항 (강의효과가 좋은 문항)

강의 전과 강의 후 점수를 비교하여 얻는 $\langle G \rangle$ 가 높은 문항으로는 역학개념의 경우 앞에서 언급한 25번 문항의 경우가 0.77로 가장 높았고, 1번 문항이 0.7로 그 뒤를 이었다. 줄 그네를 타는 사람에게 작용하는 힘에 대한 문제(문항 13), 같은 높이에서 미끄러져 내려온 사람의 미끄러짐 끝에서의 빠르기가 같다는 에너지 보존법칙을 이해하는지 묻는 문항 20, 강풍이 부는 곳에서 채에 맞은 공이 채를 떠난 직후부터 공에 작용하는 힘을 묻는 문항 18의 $\langle G \rangle$ 가 0.54, 0.46, 0.46으로 그 다음 높은

값을 얻었다. 그리고 학생들이 잘 이해한 역학 개념 중에 하나였던 작용 반작용에 관한 문항 10도 0.42의 높은 <G>값을 얻었다. 전자기 개념의 경우에는 4개의 문항을 빼 나머지 모두의 <G>가 0.30을 넘었다.

강의 후 <G>가 높은 문항을 보면 강의 시간에 시연된 데모와 직접적인 연관성이 있는 문항이었다. 예를 들어 가장 높은 <G>를 기록한 문항 25의 경우 문항에서 다루는 상황이 “Hero’s engine” 제목의 시연과 아주 유사한 상황이고, 두 번째로 <G>를 기록한 문항 1의 경우는 “penny & feather” 시연과 똑 같은 상황에 대한 문제이다.

마. 낮은 <G>를 얻은 문항(강의 효과가 두드러지지 않는 문항)

역학개념 중에는 벡터의 합성과 합 벡터의 크기(문항 3, 4번), 고립계에서 운동량이 보존될 때 각각의 운동량이 보존되는 것이 아니라 총 합이 보존되는 것으로 각각의 운동량은 따라서 운동에너지는 달라질 수도 있다는 개념 (문항 21번), 운동에너지가 보존되기 위해서는 물체에 해준 총 일이 0이 되어야 한다는 일-운동에너지 법칙(문항 26번), 자유낙하를 에너지 개념으로 이해하는 것(문항 31번, 33번)에 강의 전, 후에 큰 변화가 없었음을 알 수 있다. 전자기 개념의 경우 2번 문항과 21번 문항의 <G>가 각각 0.17과 0.13으로 저조하였다.

V. 요약 및 논의

1. 요약

본 연구는 P대학의 일반물리 수업개선의 사례를 통해 시연 중심의 물리 수업이 학생들의 물리 개념 이해도 증진에 어떤 영향을 미쳤는지 파악하는 것을 목적으로 시연이 활용된 역학과 전자기학 수업 전후의 이해도 증진 정도를 평가하였다. 역학개념 이해도검사와 전자기학개념 이해도검사를 사용하여 평가한 결과, 전통적인 수업에 시연을 활용한 시연활용 수업이 강의로만 진행되는 전통적인 강의중심 수업보다 학생들의 이해도 증진을 돕는 것으로 나타났다. 이러한 수업효과는 특히 중등과정에서 선행학습이 이뤄진 역학부분 보다는 전자기학의 경우 더 높게 나타났다. 전자기학 개념이해도 검사인 CSEM 검사를 통해 시연 중심 물리 수업의 효과를 측정할 결과 <g>가 0.46으로 나타났는데 이는 Interactive Engagement 방식, Workshop Physics 방식 등의 수업효과와 비슷한 수준인 것으로 나타났다.

연구대상이 된 P대학 학생들의 경우에 출신고교(일반고, 과학고)에 따라 이해도의 차이가 있어서 일반고교 출신과 과학고교 출신의 학생들 사이에는 기본 물리 개념에 대한 사전 지식의

차이가 있음이 확인됐다. 뿐만 아니라 수업 효과 면에서 과학고교 출신 학생들이 일반고교 학생들보다 높은 점수를 보여서 과학고교 출신 학생들에게 시연이 활용된 수업의 효과가 더 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 또한 수업 전과 수업 후 평가한 개념이해도 검사의 결과를 문항별로 분석하였다. 이는 학생들의 선행학습이 이뤄진 개념, 학습효과가 높은 개념, 시연을 활용하여도 이해가 어려운 개념 등을 파악하여 수업개선의 자료를 제공하였다는 의미가 있다.

2. 논의

시연중심 일반 물리수업의 학습 결과 면에서 시연강의가 이제까지 해왔던 전통적인 강의보다 효과적이거나 하는 질문에 대해 답하기 위해서는 시연강의의 목표에 대하여 생각해 보아야 한다. 시연강의는 앞서 서론에서 언급한 바와 같이 그 목표가 강의로만 이루어지던 내용을 실제로 시연을 통해 관찰하게 함으로써 학생들의 수업 집중도를 향상시키고, 물리에 대한 흥미를 진작시킴으로써 물리 개념에 대한 이해를 도와주는데 있다. 본 연구의 결과를 바탕으로 할 때, P 대학교에서 2010학년도에 처음으로 실시한 시연강의는 소기의 목적을 달성했다고 평가할 수 있다. 특히 80명 규모의 강의임에도 불구하고, 전자기 개념의 경우 0.42의 <g>을 얻은 것은 매우 고무적이다.

학생의 출신고교 별 자료에서는 역학 개념과 전자기 개념의 이해도 두 가지 모두 일반 고등학교 졸업생보다는 과학 고등학교 졸업생의 경우에 더 향상된 것으로 나타났다. 과학 고등학교 졸업생들의 <g>가 더 높게 나타난 것은 기초 지식이 있는 경우와 시연활동에 익숙한 경우 시연활용 강의수업의 학습 효과가 더 높다 할 수 있다. 따라서 일반 고등학교 출신 학생들 중에서 물리 기초지식이 충분하지 않은 학생들을 대상으로 한 예비 강의, 개별적 시연활동의 기회 제공, 수업 전 기초지식 확인활동 등을 병행한다면 시연을 활용한 강의의 효과가 더 높아지리라 기대할 수 있다.

개념이해도검사를 수업 전후에 실시하는 것은 단순히 학생들의 개념이해도 측정에 도움이 되는 것 뿐 아니라 교수자의 수업개선에 도움이 된다. 즉, 학생들이 강의 후에도 잘 이해하지 못하는 개념을 드러냄으로써 수업개선의 자료로 이용할 수 있다. 앞서 유형별 문항분석에서 살펴본 바와 같이 학생들이 잘 이해하지 못했거나 이해도에 별 변화가 없었던 개념(예, 벡터의 합성과 합 벡터의 경우)의 경우, 학생들이 대다수 알고 있는 기초로 여겨서 수업 중에 드러나게 다루지 않고 넘어갔을 가능성이 있다. 또한, 수업 중 다루었음에도 학생들의 이해도가 낮았다면 이는 교수자와 학생들 간에 학습여부에 대한 소통이 잘 이뤄지지 않은 경우라 볼 수 있다. 특히 특정 개념에 대한 시연이

실시되었음에도 불구하고 그 개념에 대한 이해도가 낮았다면 이에 대한 원인분석이 필요하다. 시연이 학생들의 개념이해 증진에 별 역할을 하지 못했다면 학생들이 시연과 꼭 같지 않은 상황에도 적용할 수 있도록 설명하였는지, 혹은 시연 자체가 다루는 개념에 적절하지 않았는지 등 원인을 분석하고 해결하려는 노력이 요청된다. 따라서 개념이해도 평가검사는 수업 전 이해도가 낮아서 더 상세한 설명과 시연이 필요한 개념이 무엇인지 살피고, 수업 후에도 여전히 이해도가 낮아서 한 가지 시연이 아닌 다양한 응용방법을 모색해야 할 개념이 무엇인지를 파악하는데 도움이 된다고 하겠다.

본 연구는 시연활용 물리수업의 효과를 분석하면서 통제집단 없이 선행연구에 나타난 기존의 수업, 즉 전통적인 강의중심 물리수업의 효과와 간접비교를 하였다는 한계가 있다. 그러나 본 연구는 국내 대학에서 물리교육연구를 시도하였음에 의미를 찾을 수 있다. 물리학, 그 중에서도 특별히 일반물리학 교육이 공학교육에 차지하는 비중은 크다. 그것은 일반물리학이 공학을 전공하는 모든 학생들이 필수적으로 수강해야 하는 과목이고, 일반물리학에서 다루는 개념들은 공학 전공과정을 공부하는데 필요한 기초가 되기 때문이다. 따라서 흥미롭고 효과적인 일반물리교육의 방법을 연구하여 제공하는 것은 공학을 전공하는 학생들에게 꼭 필요한 일이다.

향후 후속연구에서는 시연활용 물리수업의 효과적인 운영에 대한 검토가 이뤄져야 하겠으며, 본 연구에서 다루지 않았던 정의적인 부분에서의 학습효과(예, 학생만족도, 물리학습에 대한 동기부여 등)에 대한 평가도 이어져야 하겠다.

요 약

본 연구는 시연을 활용한 일반물리 수업의 효과를 파악하기 위해 수업 수강 전과 후에 동일한 개념이해도 평가지를 이용하여 학생들의 개념이해도를 비교하였다. 수업효과를 측정하기 위해 Hake가 소개한 <g>를 이용하였는데, 이것은 물리교육연구자들 사이에서 새로운 교수법의 효과를 알아보기 위해 널리 사용되는 방법이다. 연구 결과 시연을 사용한 물리학 수업의 효과가 기존 연구에서 밝혀진 전통적인 강의 중심 수업에 비해 향상된 것으로 나타났으며, 기초지식이나 시연의 경험이 많은 과학교 학생들에게 더 높은 것으로 나타났다. 또한 강의 전, 후 문항별 정답률을 비교하여 얻은 <G>를 도입하여 특정 개념에 대한 이해정도를 파악함으로써 향후 강의 개선에 이용할 수 있음을 제안하였다.

주제어: 물리교육, 시연학습, 교수법, 수업효과

참고문헌

1. 이명성 (2009). **개방적 탐구에서 나타난 고등학생들의 탐구과정과 활동 및 유형분석**. 강원대학교 교육대학원 과학교육전공 석사학위논문.
2. 이정철, 강순민, 허홍욱 (2009). 한국과학영재학교 학생들의 과학적 태도, 학습양식, 선호하는 수업형태와 수업환경 조사를 통한 수업전략의 수립. **영재교육연구**, 19(1), 138-159.
3. 한미혜 (2008). **과학계 고등학교, 일반계 고등학교 일반 생물학 교과서 비교분석**. 성균관대학교 교육대학원 과학교육전공 석사학위논문.
4. Coleman, L. A., Holcomb, D. F. & Rigden, J. S. (1998). The Introductory University Physics Project 1987 - 1995: What has it accomplished? *American Journal of Physics*, 66(2), 124-137.
5. Hake, R. R. (1999) *Analyzing Change/gain scores*. Originally posted at American Educational Research Association's Division D, Measurement and Research Methodology. <http://physics.indiana.edu/~sdi/AnalyzingChange-Gain.pdf>.
6. Halloun, I. et al. (1995). *Force Concept Inventory (Revised)*, <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html> (password protected).
7. Hestenes, D., Wells M. & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *Physics Teach*, 30, 141-158.
8. Hestenes D. & Wells, M. (1992). A Mechanics Baseline Test. *Physics Teach*, 30, 159-166.
9. John W. B. (2003). Increasing Student Understanding with TEAL, *MIT Faculty Newsletter*, Oct./Nov. 2003.
10. Laws, P. L. (1991). Calculus-based physics without lectures. *Physics Today* 44(12), 24-31.
11. Laws, P. L. (2004). *Workshop Physics Activity Guide: Modules 1-4*. Hoboken, NJ: Wiley.
12. Mazur, E., (1996). *Peer Instruction: A User's Manual*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
13. Maloney, D., et al. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism, Physics Education Research Supplement. *American Journal of Physics*, 69(7), S12-S23.7.
14. Saul, J. M. & Redish, E. F. (1998). *An Evaluation of the Workshop Physics Dissemination Project*. U. of Maryland Workshop Physics. Online at <http://physics.dickinson.edu>
15. Sokoloff, D. R., Thornton, R. K. & Laws, P. W. (1998). *RealTime Physics: Active Learning laboratories. Module 1: Mechanics*. New York, NY: Wiley.
16. Sokoloff, D. R., Thornton, R. K. & Laws, P. W. (2004).

RealTime Physics Active Learning Laboratories Module 1: Mechanics, Module 3: Electric Circuits and Module. New York, NY: Wiley.

17. Thornton, R. K. (1989). Tools for scientific thinking, Learning physical concepts with real-time laboratory measurements tools. In Redish (ed.) *Proc Conf Computers in Physics Instruction* (177-189). Reading, MA: Addison Wesley.
18. Thornton, R. K. (2008). Effective Learning Environments for Computer Supported Instruction in the Physics Classroom and Laboratory. <http://web.phys.ksu.edu/icpe/publications/teach2/thornton.pdf>
19. Thornton, R. K. & Sokoloff, D. R. (1998). Assessing student learning of newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics*, 66(4), 338-352.



이은실 (Rhee, Eun-Sill)

1983년: 연세대학교 교육학과 학사
1986년: 시카고대학교 교육측정평가 석사
1994년: 하버드대학교 인간발달및심리 박사
전: 포스텍 교육개발센터 연구교수
현: 한동대학교 교육대학원 교수

관심분야: 대학교수법, 학생발달

Phone: (054)260-1741

Fax: (054)260-1459

E-mail: esrhee@handong.edu



조현지 (Cho, Hyunji)

1991년: 서울대학교 물리학과 학사
2003년: 매사추세츠 대학교 물리학 박사
전: 포스텍 물리학과 연구교수
현: 한동대학교 글로벌리더십 학부 객원 교수
관심분야: 일반물리 교육

Phone: (054)260-1321

Fax: (054)260-1990

E-mail: hyunji@handong.edu



이종호 (Lee, Jongho)

2010년: 한동대학교 상담심리사회복지학과 학사
현: 한양대학교 교육공학과 석사과정
관심분야: 교육 평가, ICE, 교수 설계
Phone: (02)2220-1517
Fax: (02)2296-2675

E-mail: lzh0708@hanyang.ac.kr