

연수에 참여한 교사들의 MBL실험에 대한 인식

박금홍* · 구양삼 · 최병순¹ · 신애경¹ · 이국행 · 고석범

전북대학교 · 한국교원대학교¹

Perceptions on Microcomputer-Based Laboratory Experiments of Science Teachers that Participated in In-Service Training

Park, Kumhong* · Ku, Yangsam · Choi, Byungsoon¹ · Shin, Aekyung¹ ·

Lee, Kukhaeng · Ko, Sukbeum

Chonbuk National University · Korea National University of Education¹

Abstract: The aim of this study was to investigate teachers' perceptions on MBL (microcomputer-based laboratory) experiment training program for teachers, the expecting effects of MBL experiment and application of MBL experiment after conducting MBL experiment training for science classes in schools. This study showed that most of the teachers who participated in the training program thought that the MBL experiment training program was very useful and instructive. Many teachers considered that MBL experiments using a computer could decrease time spent in the experiment by accurate and fast data collection and analysis. They also thought that the reduced time could be used more effectively in the analysis of experimental data and discussion activities leading to correct concept formation as well as in the development of graphical analysis and science process skills. However, they thought that MBL experiments were ineffective in learning how to operate experiment apparatus. This study also revealed that most teachers intended to apply MBL experiments in real classrooms context right after the training course and they pointed out many obstacles in introducing MBL experiments into their classrooms such as a budget to purchase equipment, poor laboratory conditions, and few MBL experiment training opportunities. In order to apply MBL experiment into the real classrooms, further changes were suggested as follows; development of technologies to reduce unit cost of equipment for MBL experiments, production and supply of many kinds of sensors, development of MBL experiment materials, and expansion of the training program for teachers.

Key words: MBL (microcomputer based laboratory), Teachers' perceptions, MBL experiment training program

I. 서론

과학교육에서 실험은 종합적인 사고력과 과정적인 지식을 가르치는데 있어서 중요한 교육적 가치를 지닌다(Leonard, 1983; Shymansky *et al.*, 1983; Tamir, 1977; Tobin, 1990). 그러나 기존의 전통적인 과학실험에서는 대부분의 실험이 데이터 수집에 많은 시간을 소모한다는 문제점이 지적되고 있으며(Friedler *et al.*, 1990), 전통적인 실험이 교실수업에서 배운 지식을 확인하는 정도에 불과하다는 비판이 있어왔다(Gangoli, 1995). ICT(Information & Communication Technology)의 발전은 사회의 변화와 함께 교수·학

습에도 영향을 주어(Watson, 2001), 최근 외국의 학교 현장에서는 컴퓨터에 기반을 둔 실험(MBL: micro-computer based laboratory)교육이 활발하게 시도되고 있다. MBL실험을 오래전에 도입한 미국 등에서는 MBL실험의 효과적인 측면에서 다양한 연구가 진행되어 긍정적인 결과가 보고 되고 있다(Castleberry *et al.*, 1973; David *et al.*, 2004).

MBL실험은 센서로부터 인터페이스를 통해 컴퓨터로 자료를 수집하는데 사용되는 하드웨어뿐 아니라, 수집된 자료를 실시간으로 정확하게 분석하고 그래프화 하는 소프트웨어로 구성되어있다. 인터페이스와 센서를 이용한 데이터의 수집은 학생들로 하여금 보다

* 교신지자: 박금홍(padriana@hanmail.net)

** 2006.09.12(접수) 2006.12.04(1심통과) 2006.12.26(2심통과) 2006.12.29(최종통과)

정확하게 자료를 수집하게 하고, 결과에 대한 신뢰성을 높여주며, 실험에 대한 학생의 태도를 향상시켜준다(Nakhkeh, 1994). MBL실험은 전통실험에 비해 자료수집이 빨라서 학생들로 하여금 실험시간의 많은 부분들을 물리현상을 관찰하고, 자료를 분석하고 해석하며, 토론할 수 있는 사고 중심의 활동으로 변화시켜 줄 수 있다(Thornton & Sokoloff, 1990). MBL실험은 여러개의 물리량을 동시에 빠르게 측정하거나 반복적으로 측정할 수 있으며 매우 오랜 시간 동안 일정하게 측정하는 것이 가능하며 전통적인 실험기구만으로 측정하기 어려운 많은 실험들을 가능하게 한다(Adams & Shrum, 1990).

우리나라에서도 초·중·고등학생들과 예비교사들에게 MBL실험을 적용한 후, MBL실험의 교육적인 효과에 대한 연구(김덕곤, 2005; 박금홍 등, 2005; 송인범, 2004; 유병길, 2006; 이재희, 장세중, 1997; 전재록, 2004; 차상욱, 1998)들이 점차 이루어지고 있다. 그러나 새로운 실험 방식인 MBL실험은 과학교육에 있어 현재 도입 단계에 있고, 소수의 연구적 활용에 머물고 있는 경향이며 대다수의 과학교사들은 MBL실험을 접해보지 않았기 때문에 MBL실험에 관한 정보가 부족한 실정이다. 그러나 2003년 정부의 과학교육활성화정책으로 학교실험실의 현대화가 추진되어 컴퓨터가 실험실에 설치되고 있으며, 학교 현장에 컴퓨터를 활용한 MBL실험이 가능해지는 환경이 점차 구성되어지고 있다. 그러므로 선행연구들에서 보고되고 있는 MBL실험의 장점을 활용하여 실험시간이 오래 걸리거나 정확한 데이터를 얻기 어려운 전통적 실험을 가능한 범위 내에서 MBL실험으로 대체하는 시도는 매우 의미 있는 일이라 하겠다.

따라서 이 연구에서는 초·중·고 교육현장에 컴퓨터에 기반을 둔 새로운 실험 방법인 MBL실험의 도입 가능성을 알아보기 위하여 과학실험연수 과정에 있는 교사들에게 몇 가지 주제의 MBL실험 연수를 실시한 후, MBL실험에 대한 교사들의 인식을 알아보았다. 이를 위하여 크게 세 가지 측면에서 접근하였는데 첫 번째는 MBL실험 연수 내용에 대한 인식, 두 번째는 MBL실험의 기대효과에 대한 인식, 세 번째는 연수 후 MBL실험 적용 의지에 대한 인식을 조사하였다. 그런데 제 7차 과학과 교육과정에서 3학년에서 5학년까지는 주제 중심, 6, 7학년은 주제와 개념중심, 8학년 이상은 개념 중심으로 단원 내용이 구성되어 있다(교육인적자원부, 2001). 주제중심은 정성적 접근에 바탕을 두고 자연에 대한 관찰과 경험을 통하여 자연에 친숙하도록 하는데 주안점을 두었지만 개념

중심은 정량적 접근으로 과학의 개념이해에 주안점을 두기 때문에 초·중·고등학교의 과학교육과정에서 요구하는 수준과 특성이 각각 다르므로 MBL실험에 대한 초·중·고 교사들의 인식을 각각 비교하여 보았다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 대상

전라북도교육청에서 주관한 2005년 과학교사 실험연수 대상자 158명(초등학교 교사 : 96명, 중학교 교사 : 32명, 고등학교 교사 : 30명)을 대상으로 MBL 실험 연수를 실시한 후에 설문조사를 하였다.

이들 중 설문에 응답한 초등 93명, 중학교 30명, 고등학교 26명, 전체 149명의 교사들의 응답 결과로부터 MBL실험에 대한 교사들의 인식을 분석하였다. 응답한 교사들의 구성 특성을 표 1에 제시하였다.

설문에 응답한 교사는 남성보다 여성이 약간 많았고, 교육경력은 6년 이상에서 10년 이하의 경력이 가장 많았으며, 학급 수는 소·중·대단위 학급에서 가르치는 교사의 비율이 비슷하였다. 초등학교 교사는 전공 구분이 뚜렷하지 않아 구분을 하지 않았다. 설문에 응답한 149명의 교사 모두 'MBL실험 도입 경험이 없다'고 응답하였다.

표 1
설문에 응답한 교사들의 특성

구분		빈도(%)
성 별	남	65 (43.6)
	여	84 (56.4)
교 육 경 력	5년 이하	25 (16.8)
	6-10년	65 (43.6)
	11-15년	16 (10.7)
	16년 이상	43 (28.9)
학 급 수	8학급 이하	48 (32.2)
	9-24 학급	50 (33.6)
	25학급 이상	51 (34.2)
학 교 구 분	초등학교	93 (62.5)
	중학교	30 (20.1)
	고등학교	26 (17.4)
전 공	물리	12 (8.1)
	화학	8 (5.4)
	생물	31 (20.8)
	지구과학	4 (2.7)
	초등	93 (63.0)
도 입 경 험	있다	0 (0.0)
	없다	149(100.0)

2. 설문지 개발 및 구성

설문지는 교사의 개인적인 배경에 관한 문항(6문항), MBL실험 연수 내용에 대한 문항(4문항), MBL실험의 기대효과에 대한 문항(4문항), 연수 후 MBL실험 적용 의지에 대한 문항(4문항) 등 전체 18문항으로 구성하였으며, 과학교육전문가 4인과 현장교사 2인의 검토 및 수정을 거쳐 개발하였다. 설문지 전체 문항의 형태는 5단계 리커트척도로 응답하거나 ‘예’와 ‘아니오’ 또는 ‘그렇다’와 ‘그렇지 않다’와 ‘기타 의견’을 선택하여 응답한 후에 이유를 진술하는 형태로 구성하였다. ‘MBL실험 연수 내용’에 대한 4문항은 5단계 리커트척도 문항으로 구성하였다. ‘MBL실험의 기대효과’와 ‘연수 후 MBL실험 적용 의지’에 대한 영역은 전체 8문항 중에서 7문항은 ‘그렇다’ 혹은 ‘그렇지 않다’, ‘기타 의견’을 선택한 후에, 이유를 기술하는 형식으로 구성하였으며, 나머지 ‘MBL실험을 도입할 때 장애 요인’ 문항은 7개의 보기를 제시한 후 순위를 정하도록 하였다. 7개의 보기 문항은 2004년 교사연수 중에 교사들이 제시한 장애 요인들을 참고하여 구성하였다.

설문 영역과 문항 수는 표 2에 나타내었다.

3. 연구 방법

초·중·고등학교 교과서에 제시된 실험주제 중 각각 세 가지 주제씩 선정하여 컴퓨터, 인터페이스, 센서를 사용하는 MBL실험으로 개발하였다. 개발된 MBL

표 2

설문지의 영역과 문항 수

설문영역	설문내용	문항 수
교사의 배경	성, 경력, 학급 수, 학교 구분, 전공, 도입 경험	6
MBL실험 연수 내용	유익성, 연수시간의 적절성, 연수내용 수준, 학교현장에서의 유용성	4
MBL실험의 기대효과	탐구능력 신장, 올바른 개념형성, 그래프해석 능력, 실험기구조작 능력	4
연수 후 MBL실험 적용 의지	도입의지, 대체실험으로 활용, 새로운 교육과정에 도입희망, MBL실험을 도입 할 때 장애요인	4

실험들을 전라북도교육청에서 주관한 「초·중·고 교과사 실험 연수」에서 초·중·고 교사들에게 각각 연수를 실시하였다. 초등 교사들은 A, B, C 세반으로 나뉘어져 실험을 하였으나 중·고등학교 교사들은 각각 1개 반으로 구성되었고 실험활동은 초·중·고등학교 교사 모두 4인 1조 또는 3인 1조의 모듈 수업으로 진행하였다. 실험 주제에 따른 MBL실험 안내서가 제시 되었으나 대부분의 교사들이 MBL실험에 대하여 처음 접하였기 때문에 연수강사의 실험안내를 받으며 실험을 진행하였다. 각 세가지 주제의 실험활동을 마친 후 설문지를 나누어주고 작성하도록 하였다. 선정된 연수주제와 MBL실험에 사용한 센서의 종류 및 연수실시 시간은 표 3과 같다.

표 3

MBL실험 주제 및 연수시간

학교 구분	MBL실험 주제	사용 센서	교과관련 단원	연수 시간
초	순물질의 끓는점 측정	온도	4학년 2학기 7. 모습을 바꾸는 물	3
	물의 깊이에 따른 온도 변화	온도	4학년 2학기 8. 열의 이동과 우리 생활 (심화단계로 이용 가능)	
	기체의 부피와 압력과의 관계	압력A	6학년 1학기 1. 기체의 성질 (심화단계로 이용 가능)	
중	기체의 부피와 압력과의 관계	압력A	7학년 5. 분자의 운동	5
	증산 작용	압력B	8학년 4. 식물의 구조와 기능	
	순물질과 용액의 끓는점 측정	온도	8학년 8. 혼합물의 분리	
고	광합성과 호흡	이산화탄소	10학년 4. 생명	3
	효모의 호흡	압력B	11학년 4. 호흡	
	증산 작용	압력B	12학년 2. 물질대사	

III. 연구 결과 및 논의

1. MBL실험 연수 내용에 대한 교사들의 인식

‘MBL실험 연수 내용’에 대한 교사들의 인식을 알아보는 문항 내용은 ‘연수의 유익성, 연수시간의 적절성, 연수내용의 수준, 학교 현장에서의 유용성’의 4개 문항이며 5등급의 리커트척도로 평가하였다. MBL실험 연수에 대한 나머지 4개의 문항에 대한 응답 결과는 표 4에 정리하였으며 각 문항별 응답의 평균은 그림 1에 제시하였다.

‘MBL실험 연수의 유익성’에 대하여 초·중·고 교사 모두 긍정적인 반응(M=4.08, 4.47, 4.31)을 보였다(그림 1). MBL실험 연수가 초·중·고 교사 모두에게 유익하게 인식되었음을 알 수 있었다.

‘MBL실험 연수시간의 적절성’에 대한 문항에 대하여 초·중·고 교사들의 응답 평균은 각각 2.91, 3.33, 3.38점(그림 1)으로 초등교사가 가장 부족하게 생각하였다.

‘MBL실험 연수내용 수준’에 대하여 초·중·고 교사들의 응답 평균은 각각 3.51, 3.61, 3.60으로(그

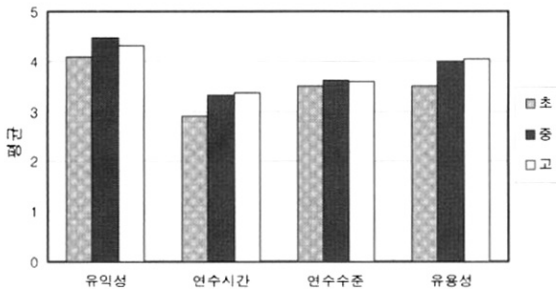


그림 1 MBL실험 연수 내용에 세부 범주별 교사들의 인식 수준

림 1) 초·중·고 교사 모두 연수내용 수준에 대하여 약간 높게 생각하는 것으로 나타났다.

‘MBL실험의 유용성에 대하여 중·고등학교 교사들의 응답 평균은 각각 4.00, 4.04점으로 매우 긍정적이었으나, 초등학교 교사의 응답 평균은 3.51점으로 중·고등학교 교사들 보다 평균이 낮았다(그림 1). 중·고등학교 교사들에 비하여 초등학교 교사들은 MBL실험의 교육 현장에서의 유용성에 대하여 낮게 반응하였다.

2. MBL실험의 기대 효과에 대한 교사들의 인식

‘MBL실험의 기대 효과’에 대한 문항은 전체 4개 문항으로 ‘그렇다’, ‘그렇지 않다’, ‘기타’로 응답한 후 그 이유를 기술하는 형식으로 구성되었다. MBL실험의 기대 효과에 대한 세부 범주별 교사들의 인식 분포를 표 5에 제시하였는데 연수에 참여한 초·중·고등학교 교사의 수가 동일하지 않으므로 빈도수를 백분율로 환산하여 비교하였다. MBL실험의 기대효과에 대한 긍정적 응답 비율은 그림 2에 정리하였다.

‘MBL실험 활동이 전통실험과 비교하여 학생들의

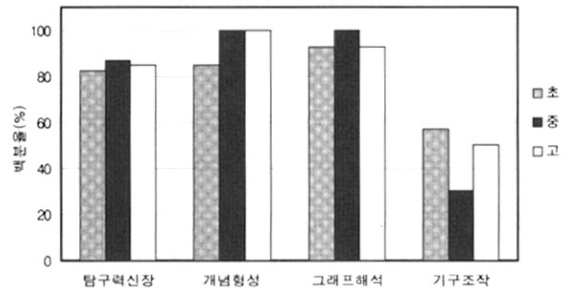


그림 2 MBL실험 기대 효과에 대한 교사들의 긍정적 응답 비율

표 4

MBL실험 연수 내용에 대한 세부 범주별 과학교사들의 인식 분포

내용	백분율(빈도)																	
	매우 그렇다			그렇다			보통이다			그렇지 않다			매우 그렇지 않다			무응답		
	초	중	고	초	중	고	초	중	고	초	중	고	초	중	고	초	중	고
유익성	23.7 (22)	46.7 (14)	34.6 (9)	64.5 (60)	53.3 (16)	61.5 (16)	7.5 (7)	0.0 (0)	3.8 (1)	4.3 (4)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)
연수시간의 적절성	1.1 (1)	3.3 (1)	7.7 (2)	33.0 (30)	56.7 (17)	50.0 (13)	26.4 (24)	13.3 (4)	19.2 (5)	35.2 (32)	23.3 (7)	19.2 (5)	4.4 (4)	3.3 (1)	3.8 (1)	2.2 (2)	0.0 (0)	0.0 (0)
연수내용의 수준	3.3 (3)	7.1 (2)	8.0 (2)	44.6 (41)	50.0 (14)	44.0 (11)	52.2 (48)	39.3 (11)	48.0 (12)	0.0 (0)	3.6 (1)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)
교육현장에서 유용성	7.5 (7)	20.0 (6)	15.5 (4)	50.5 (47)	63.3 (19)	73.1 (19)	28.0 (26)	13.3 (4)	11.5 (3)	12.9 (12)	3.3 (1)	0.0 (0)	1.1 (1)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)

표 5

MBL 실험의 기대 효과에 대한 세부 범주별 교사들의 인식 분포

내용	백분율(빈도)											
	그렇다			그렇지 않다			기타			무응답		
	초	중	고	초	중	고	초	중	고	초	중	고
탐구력신장	82.8 (77)	86.7 (26)	84.6 (22)	10.8 (10)	6.7 (2)	7.7 (2)	5.4 (5)	6.7 (2)	3.8 (1)	1.1 (1)	0.0 (0)	3.8 (1)
올바른 개념형성	84.9 (79)	100.0 (30)	100.0 (26)	10.8 (10)	0.0 (0)	0.0 (0)	2.2 (2)	0.0 (0)	0.0 (0)	2.2 (2)	0.0 (0)	0.0 (0)
그래프해석 능력	92.5 (86)	100.0 (30)	92.3 (24)	4.3 (4)	0.0 (0)	7.7 (2)	3.2 (3)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)
실험기구 조작능력	57.0 (53)	30.0 (9)	50.0 (13)	31.2 (29)	53.3 (16)	42.3 (11)	11.8 (11)	10.0 (3)	3.8 (1)	0.0 (0)	6.7 (2)	3.8 (1)

탐구 능력 신장에 더 기여할 수 있을 것이다'라는 물음에 초·중·고 교사의 82.8~86.7%가 긍정적인 응답을 하였다(그림 2). 이 문항에 대해 응답을 한 교사들이 기술한 이유를 긍정적인 면과 부정적인 면으로 나누어 범주화 시켜 비교하여 보았다(표 6). 표 6에서 선택형 무응답은 설문에 응답하지 않은 인원수를 의미하며 서술형 무응답은 '그렇다' 혹은 '그렇지 않다'로 응답은 하였으나 그 이유를 기술하지 않은 인원수를 의미한다.

긍정적 서술 내용은 '학생들에게 친근한 컴퓨터를 실험에 활용하는 새로운 실험 방법이 학생들의 호기심을 유발 할 수 있다(Roth, 1989; 유병길, 2006), 정확한 데이터를 얻을 수 있다, 실험 결과가 컴퓨터 화면에 실시간으로 표와 그래프로 나타나므로(Good & Begger, 1998) 비교 분석이 쉽고 빠르다, 실험 데이터 수집에 시간이 적게 걸린다' 등을 그 이유로 응답하였다. 초등의 경우 '학생들이 컴퓨터를 이용하는 MBL실험에 대하여 호기심을 가지고 실험에 적극 참

여하여 과학탐구 능력을 향상 시킬 것이다'에 가장 높은 긍정을 나타내었으며, 중학교의 경우에는 '실시간으로 실험결과가 그래프로 그려지는 것을 보고 빠르게 비교·분석할 수 있기 때문'이라고 생각하였다. 이러한 응답 결과는 대부분의 교사들이 MBL실험 활동의 특징을 긍정적으로 인식하고 있는 것으로 해석할 수 있었는데 이는 MBL실험은 전통적 실험방법과 비교하여 실험시간이 짧게 걸리며 실험과 동시에 결과를 즉각적으로 그래프를 통해 알 수 있으므로 짧은 수업 시간 동안에 탐구수업 모형에 따라 실험을 수행할 수 있다는 연구결과(Thornton, 1987)와 일치한다. 부정적인 응답율은 10.8~6.7%로 초등교사의 경우가 중등교사에 비해 더 높게 나타났는데 그와 같이 응답한 이유는 '초등학생의 경우 과학수업이 원리, 이해 중심이지 세밀한 정량적 데이터 수집에 기초한 과학 개념 이해가 필요하지 않아서'라는 점과 '컴퓨터를 이용하는 MBL실험을 위한 지식을 사전에 인지하고 있어야 한다' 등의 내용이었다. 이는 학교 급별에 따라

표 6

MBL 실험의 탐구능력 신장에 대한 서술형 응답 유형별 인식 분포

구분	내용	백분율(빈도)		
		초	중	고
긍정적 서술	호기심 유발	32.2(30)	16.8 (5)	23.2 (6)
	정확한 자료 수집	20.3(19)	13.3 (4)	19.2 (5)
	실시간 그래프를 보고 비교· 분석이 용이	14.0(13)	43.3(13)	27.0 (7)
	실험시간 단축	15.1(14)	10.0 (3)	15.4 (4)
부정적 서술	정량적 데이터에 근거한 과학개념의 이해가 불필요	6.5 (6)	3.3 (1)	0.0 (0)
	MBL실험에 대한 사전 지식 요구	3.2 (3)	0.0 (0)	3.8 (1)
	그래프가 자동으로 그려지므로	0.0 (0)	3.3 (1)	3.8 (1)
기타		5.4 (5)	6.7 (2)	3.8 (1)
무응답	선택형	1.1 (1)	0.0 (0)	3.8 (1)
	서술형	2.2 (2)	3.3 (1)	0.0 (0)
계		100.0(93)	100.0(30)	100.0(26)

학생들에게 과학개념을 이해시키는 교육과정의 방법 차이에서 오는 결과로 해석된다.

‘MBL실험 활동이 학생들의 올바른 개념 형성에 도움을 줄 것이다’라는 문항의 경우 초·중·고 교사들은 84.9~100%로 매우 높은 긍정적 반응을 나타내었다(그림 2), 이 문항의 응답 결과를 비교해 보면, 초등학교 보다 중·고등학교 교사들이 좀 더 긍정적인 반응을 한 것으로 나타났다(그림 2).

이 문항에 대해 응답을 한 교사들이 기술한 이유를 긍정적인 면과 부정적인 면으로 나누어 범주화시켜 비교하여 보았다(표 7).

긍정적으로 반응한 이유로는 ‘MBL실험은 컴퓨터로 수집된 정확한 실험결과가 실시간으로 데이터와 함께 자동으로 그래프로 그려지는 것을 직접 보고 해석하고 토의할 수 있고(Lapp & Cyrus, 2000), 단축된 실험 시간을 토론 시간으로 활용(구양삼 등, 2006) 할 수 있기 때문, 실험결과에 대한 신뢰성 상승(Nakhkeh, 1994)으로 올바른 개념 형성에 도움을 줄 것이다’ 등으로 응답하였는데(표 7), 이러한 응답은 ‘MBL실험은 데이터 분석과 그래프 작성, 결과 도출에 걸리는 시간을 현저히 줄일 수 있으므로 남은 시간에 실험결과를 토의 할 수 있으며 실험 시간을 사

고중심 활동으로 변화시켜 줄 수 있다’(Thornton & Sokoloff, 1990)는 연구 결과와 일치하며 MBL실험의 특징을 긍정적으로 잘 파악한 것으로 분석된다. 초등교사는 10.8%가 부정적 반응을 보였는데(표 7), 그 이유로는 ‘초등학생은 MBL실험을 위하여 엑셀 프로그램 활용 능력 신장에 시간을 할애해야 하고, 그래프가 자동으로 그려지므로 데이터를 보고 직접 그래프로 그려보는 활동을 하지 못하기 때문’ 등으로 응답하였다. 중학생들의 경우, 그래프 그리기 및 해석에 대한 학습이 과학시간 이외에 중학교 1학년 1학기 수학교과서 함수 단원에서 (x, y)순서쌍을 좌표 평면 위에서 그 위치를 찾아 점을 찍고 연결하여 그래프를 그리는 학습이 이루어지지만 초등학생들의 경우 그래프를 그려보는 활동은 중요하며, 중학생의 경우에도 학습속도가 느린 학생들의 경우에는 보충지도가 필요할 것으로 생각된다(Atar, 2002).

‘MBL실험 활동이 그래프 해석 능력 향상에 도움을 줄 것이다’라는 문항에 92.3% 이상의 긍정적 응답을 하였는데(그림 2), 초·중·고등학교 교사들의 응답 비율은 유사하였다. 이 문항에 대해 응답을 한 교사들이 기술한 이유를 긍정적인 면과 부정적인 면으로 나누어 범주화 시켜 백분율로 비교하여 보았다(표 8).

표 7 MBL실험의 올바른 개념형성에 대한 서술형 응답 유형별 인식 분포

구분	내용	백분율(빈도)		
		초	중	고
긍정적 서술	실시간 데이터 수집과 그래프 해석능력 향상	51.6(48)	63.3(19)	42.3(11)
	실험시간 단축으로 토론시간 확보	25.8(24)	26.7 (8)	46.2(12)
	정확한 실험결과에 대한 신뢰성 상승	7.2 (7)	6.7 (2)	11.5 (3)
부정적 서술	컴퓨터조작 능력이 요구됨	5.4 (5)	0.0 (0)	0.0 (0)
	그래프를 직접 그려보는 활동을 하지 못함	4.3 (4)	0.0 (0)	0.0 (0)
기타		2.2 (2)	0.0 (0)	0.0 (0)
무응답	선택형	2.2 (2)	0.0 (0)	0.0 (0)
	서술형	1.1 (1)	3.3 (1)	0.0 (0)
계		100.0(93)	100.0(30)	100.0(26)

표 8 MBL실험의 그래프 해석 능력 향상에 대한 서술형 응답 유형별 인식 분포

구분	내용	백분율(빈도)		
		초	중	고
긍정적 서술	실시간 그래프를 통해 실험결과 확인	58.1(54)	63.0(19)	46.2(11)
	실험시간 단축으로 그래프 해석 시간 확보	34.4(32)	29.6(11)	48.5(13)
부정적 서술	그래프를 직접 그려보는 활동을 하지 못함	4.3 (4)	0.0 (0)	7.7 (2)
기타		3.2 (3)	0.0 (0)	0.0 (0)
계		100.0(93)	100.0(30)	100.0(26)

긍정적인 응답을 한 이유로는 ‘실험과 동시에 컴퓨터 화면에 실시간으로 그려지는 그래프를 통해 실험결과를 확인할 수 있으며, 실험 시간 단축으로 그래프를 해석할 수 있는 시간을 좀 더 확보할 수 있기 때문’ 등으로 응답하였는데 이러한 결과는 MBL 실험은 보다 자세하고 정확한 그래프를 빨리 그릴 수 있어 실험시간이 제한 될 때 특히 이점이 있다는 연구 결과 (Stein *et al.*, 1990)와 부분적으로 일치한다. 또한 이와 같이 응답한 이유는 MBL 실험은 실험이 끝난 후 완성된 그래프의 가로축과 세로축의 최대, 최저값 등을 쉽고 빠르게 편집해 볼 수 있고 그래프의 가로, 세로의 크기 편집이 자유롭게 때문에, 데이터에 의해 직접 그래프를 그려보는 경험을 하지 않았더라도 그래프의 의미를 올바르게 해석할 수 있는 장점이 있기 때문으로 생각할 수 있다(박공홍 등, 2005).

‘MBL 실험 활동은 전통적인 실험 활동과 비교하여 실험기구를 조작하는 능력을 키울 것이다’라는 물음에 대한 긍정적 응답율은 30.0~57.0%, 부정적 응답율은 31.2~53.3% 정도로 긍정적 응답률과 부정적 응답률이 비슷하게 나타났다(표 5). 초등학교 교사인 경우 긍정적 비율이 다소 높은 반면, 중학교 교사인 경우는 부정적 비율이 높았으며, 고등학교 교사인 경우는 긍정과 부정의 응답 비율이 비슷하게 나타났다. 긍정적 응답과 부정적 응답을 한 이유에 대한 기술을 범주화시켜 살펴보면 표 9와 같다.

긍정적 응답의 이유로는 많은 교사들이 ‘MBL 실험 기구는 조작이 간편하고(Stein 등, 1990) 실험 오차를 줄일 수 있다’고 언급하면서 MBL 실험 도구로 실험 기구 조작 능력이 향상 될 것으로 생각하였다. 부정적 응답의 이유로 상당수의 교사들은 ‘MBL 실험을 통한 실험기구 조작 능력 향상은 전통실험과 비교하여 비슷할 것’이라고 응답하여 MBL 실험의 실험기구 조작

능력 향상에 대하여 긍정적이지 않았다. 초등교사들은 ‘MBL 실험은 실험기구 조작보다는 컴퓨터 기능 숙련과 프로그램 조작능력에 대한 숙지가 더 필요할 것’으로 생각하였다. 특히 중학교 교사들의 부정적 응답률은 53.3%로 높게 나타났는데(표 5) ‘측정기기를 활용하여 오감을 통해 자연의 물리량을 측정하는 전통 실험이 기구 조작능력 향상에 더 효과적일 것’이라고 진술하였다. 이와 같이 응답한 이유는 MBL 실험에서 자연의 물리량을 측정하기 위해 사용하는 새로운 실험 도구인 온도센서나 압력센서, 인터페이스 등을 실험기구로 인식하지 않고 온도계, 전류계 등과 같은 기존의 전통적인 실험기구만을 실험기구로 인식하기 때문으로 생각된다. 그러므로 MBL 실험의 도입단계인 현 교육환경에서는 교과서 방식의 전통실험 기구들의 사용법에 대한 지도가 병행되어 이루어져야 할 것으로 생각된다.

3. 연수 후 MBL 실험 적용 의지

‘연수 후 MBL 실험 적용 의지’에 대한 문항은 4개 문항으로 3개 문항은 긍정적 혹은 부정적 응답과 그 이유를 기술하는 방법으로 구성하였고, 나머지 1개 문항은 7개의 보기를 제시하여 순위를 정하도록 하였다. 연수 후 MBL 실험 적용의지에 대한 세부 범주별 교사들의 인식 분포는 표 10과 같으며 교사들의 긍정적 인식 비율은 그림 3에 나타내었다.

‘여건이 허락되면 MBL 실험을 실제로 수업에 도입하여 활용하고 싶다’는 물음에 초·중·고 교사 모두 88.2% 이상의 매우 긍정적 응답을 하였으며, 특히 중학교 교사들은 MBL 실험 수업 도입에 대한 강한 의지를 나타내었다(그림 3).

‘MBL 실험 환경이 조성된다면 교과서의 실험 내용 중 일부를 MBL 실험으로 바꾸어하겠다’는 물음에 대

표 9 MBL 실험의 실험기구 조작 능력에 대한 서술형 응답 유형별 인식 분포

구분	내용	백분율(빈도)		
		초	중	고
긍정적 서술	실험기구 조작이 간편하다	21.5(20)	23.3 (7)	30.9 (8)
	실험오차를 줄일 수 있다	35.5(33)	6.7 (2)	19.2 (5)
부정적 서술	실험기구 조작의 기회가 적음	9.7 (9)	33.3(10)	23.1 (6)
	전통실험과 실험기구 조작능력은 비슷함	17.2(16)	20.0 (6)	19.2 (5)
	컴퓨터조작 능력이 요구됨	3.2 (3)	0.0 (0)	0.0 (0)
기타		11.8(11)	10.0 (3)	3.8 (1)
무응답	선택형	0.0 (0)	6.7 (2)	3.8 (1)
	서술형	1.1 (1)	0.0 (0)	0.0 (0)
계		100.0(93)	100.0(30)	100.0(26)

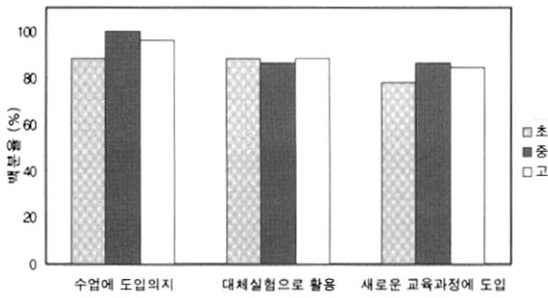


그림 3 연수 후 MBL실험 적용 의지에 대한 교사들의 긍정적 인식 비율

한 응답은 초·중·고등학교 교사 모두 86.7~88.5%로 비슷한 비율의 응답을 하여 MBL실험을 수업에 도입하고자 하는 교사들의 높은 의지를 나타내었다(그림 3).

‘새로운 교육과정에 MBL실험으로 가능한 실험은 대체시키는 것이 좋다.’ 라는 물음에 응답자의 78.5~86.7%가 긍정적 반응을 보였으며, 초·중·고등학교

교사들의 응답 비율은 유사하게 나타났다(그림 3).

‘연수 후 MBL실험 적용 의지’의 각 세부 문항에 대하여 이유를 기술한 응답 유형이 유사하여서 “연수 후 MBL실험 적용 의지”에 대한 긍정적 응답과 부정적 응답 유형을 종합하여 표 11에 나타내었다.

긍정적 응답을 한 가장 큰 이유로 ‘정확한 정량적 실험결과로 실험 결과를 분석하여 결론을 얻을 수 있기 때문, 현대의 흐름에 맞는 실험 방법으로 학생들의 관심과 호기심을 유발할 수 있기 때문(이항미, 2002; 유병길, 2006), 실험시간이 짧게 걸리므로 실험 결과를 해석하고 토론 할 시간을 확보할 수 있기 때문 (Rogers, 1995; 구양삼 등, 2006), 실험데이터의 실시간 그래프화로 시각적 효과가 있기 때문’ 등을 이유로 열거하였다(표 11). 이는 MBL실험의 장점을 활용하여 과학 수업에 도입하고자 하는 교사들의 의지를 나타낸 것으로 해석 할 수 있다.

부정적 응답을 한 이유로는 초등학교 교사는 ‘교육과정상 필요성이 적게 요구됨’을 가장 큰 이유로 꼽

표 10

연수 후 MBL실험 적용 의지에 대한 세부 범주별 교사들의 인식 분포

내용	백분율(빈도)											
	그렇다			그렇지 않다			기타			무응답		
	초	중	고	초	중	고	초	중	고	초	중	고
도입의지	88.2 (82)	100.0 (30)	96.2 (25)	9.7 (9)	0.0 (0)	3.8 (1)	2.2 (2)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)
대체실험으로 활용	88.2 (82)	86.7 (26)	88.5 (23)	9.7 (9)	0.0 (0)	7.7 (2)	1.1 (1)	13.3 (4)	3.8 (1)	1.1 (1)	0.0 (0)	0.0 (0)
새로운 교육과정에 도입 희망	78.5 (73)	86.7 (26)	84.6 (22)	16.1 (15)	10.0 (3)	7.7 (2)	4.3 (4)	0.0 (0)	3.8 (1)	1.1 (1)	3.3 (1)	3.8 (1)

표 11

연수 후 MBL실험 적용 의지에 대한 서술형 응답 유형별 인식 분포

구분	내용	백분율(빈도)		
		초	중	고
긍정적 서술	새로운 실험방법으로 학생들의 관심과 호기심 유발	29.0 (81)	38.9(35)	28.2(22)
	정확한 실험결과로 비교·분석이 용이하다	27.6 (77)	15.6(14)	35.8(28)
	실험시간 단축으로 토론시간 확보	14.0 (39)	24.5(22)	14.1(11)
	실험결과와 그래프화로 시각적 효과가 큼	11.1 (31)	12.2(11)	10.3 (8)
부정적 서술	교육과정상 필요성이 적게 요구됨	7.6 (21)	0.0 (0)	2.6 (2)
	컴퓨터와 새로운 실험도구 사용에 대한 사전 지식 필요	5.4 (15)	1.1 (1)	0.0 (0)
	새로운 실험도구 구입을 위한 예산확보의 어려움	0.7 (2)	2.2 (2)	3.8 (3)
기타		2.5 (7)	4.4 (4)	2.6 (2)
무응답	선택형	0.7 (2)	1.1 (1)	1.3 (1)
	서술형	1.4 (4)	0.0 (0)	1.3 (1)
계		100.0(279)	100.0(90)	100.0(78)

았으며, 교사나 학생이나 ‘MBL 실험 수업을 하기 위하여 새로운 실험 방법 습득과 컴퓨터 활용에 대한 사전 지식 획득에 부담이 크다’ 등 이었다. 교사들은 과학수업에 새로운 실험 방법을 도입하기 위하여 연수를 받는데 시간을 할애하거나 새로운 실험 방법에 익숙해지기 위하여 시행착오의 과정을 거쳐야 하는데, 교사들은 이러한 것에 부담을 느끼고 있음을 알 수 있었다(Enoches *et al.*, 1995). 이에 반하여 중·고등학교 교사들은 새로운 실험 기구들을 마련하기 위한 예산상의 문제를 장애 요인으로 생각하였다. 이러한 결과는 MBL 실험을 수행할 수 있는 물리적 환경이 조성된다면 중·고등학교 교사들이 초등교사에 비하여 MBL 실험을 수업에 도입하려는 의지가 높게 나타남을 알 수 있었다.

‘MBL 실험을 실제 수업에 도입하고자 할 때 가장 어려운 점’에 대한 7문항에 대하여는 교사들의 응답에 가중치를 주어 결과를 정리하여 표 12에 제시하였다. 초·중·고등학교 교사 모두 ‘새로운 실험 도구인 MBL 실험 도구 구입에 따른 예산상의 어려움’을 가장 큰 문제점으로 응답하여 MBL 실험의 가장 큰 장애 요인으로 교사들은 새로운 도구 구입에 대한 예산상의 부담을 가장 크게 느끼고 있음을 알 수 있었다(표 12). 초등학교와 고등학교 교사는 두 번째 장애 요인으로 ‘낙후된 실험실 여건’으로 응답하여 컴퓨터가 과학실험대에 설치되어 있지 않은 환경을 꼽았다. 2003년부터 과학실 현대화 사업으로 과학실 환경이 좋아지고 있으나 정부의 지속적인 지원이 있어야 함을 알 수 있었다. 중학교 교사들은 MBL 실험 기구 구입에 ‘학교 관리자 등의 이해 부족’을 어려움으로 생각하였으며 다음으로 ‘MBL 실험 수업 활동 자료 부족’으로 응답하였는데 학교 관리자들에게 새로운 실험 기구에 대한 홍보와 함께 MBL 실험 활동 자료 개발과 보급의 필요성을 알 수 있었다. 중·고 교사들은 ‘MBL 실험 수업의 필요성 부족’ 문항에 가장 낮게 반응하여

표 12
MBL 실험을 도입하고자 할 때 장애요인 응답 비율 점수(순위)

내 용	초	중	고
고가의 MBL 실험 기구 구입	6.16(1)	6.07(1)	5.58(1)
낙후된 실험실 여건	3.73(2)	3.27(4)	3.54(2)
교사의 연수 기회 부족	3.68(3)	2.57(6)	3.04(5)
학교 관리자의 이해 부족	3.27(4)	4.13(2)	3.35(3)
교사의 의지 부족	1.91(7)	3.23(5)	2.27(6)
MBL 실험 수업 필요성 부족	2.48(6)	1.80(7)	1.85(7)
MBL 수업 활동 자료 부족	2.57(5)	3.33(3)	3.15(4)

실험 활동에 MBL 실험 도입의 필요성을 느끼고 있음을 알 수 있었다. 초등교사는 MBL 실험을 수업에 도입하려는 교사의 의지 부족에 가장 낮게 반응하여 MBL 실험을 수업에 도입하려는 의지를 나타낸 것으로 해석하였다.

이러한 결과는 미국의 일선 교사들에게 MBL 실험을 연수 한 후 실제로 과학수업에 도입하면서 느낀 점을 조사한 연구 결과(Heck, 1990)와 부분적으로 일치한다.

IV. 결론 및 제언

컴퓨터에 기반을 둔 MBL 실험은 효율적인 데이터 수집과 실시간으로 그려지는 그래프, 시간적 효율성, 데이터의 정밀한 분석과 같은 컴퓨터 활용 기능을 최대한 이용함으로써 전통적 실험의 데이터 수집 위주의 활동을 탐구와 사고 중심의 활동으로 변화시켜 줄 수 있는 특징을 가지고 있다. 이러한 새로운 실험 방식인 MBL 실험을 학교 현장의 과학실험 수업에 도입하였을 때 효과와 문제점, 적용 가능성에 대하여 초·중·고 교사들의 생각을 탐색해 보고 MBL 실험 도입 가능성에 대한 시사점을 찾기 위하여 과학실험 연수 과정에 있는 초·중·고등학교 교사들에게 각각 연수를 실시한 후 ‘MBL 실험 연수 내용’, ‘MBL 실험의 기대 효과’, ‘연수 후 MBL 실험 적용 의지’ 등 3영역에 대하여 교사들의 인식을 알아보았다

연수에 참여한 교사들 모두 MBL 실험을 수업에 도입해본 경험이 없었으나, 연수 후 대부분의 교사들은 ‘MBL 실험 연수 내용이 매우 유익하고 유용하다’라고 응답하였으며 특히 중·고등학교 교사들이 초등학교 교사보다 더 긍정적이었는데 이는 중·고등학교 실험 활동이 정량적 데이터 수집에 기초하여 과학개념을 지도하는 실험이 더 많기 때문으로 중·고등학교에서 활용될 MBL 실험자료 개발이 필요함을 알 수 있다. 연수에 참여한 초·중·고 교사 모두 연수시간의 적절성에 대하여 다른 항목보다 낮은 평균점을 나타냈고, 연수내용 수준에 대하여는 약간 높게 생각하였는데 새로이 도입되는 MBL 실험에 대하여 교사들의 확실한 이해를 돕기 위하여 연수 시간과 내용을 적절히 조정된 MBL 실험 연수를 계획할 필요성이 있음을 알 수 있었다.

‘MBL 실험의 기대효과’에 대하여 MBL 실험은 컴퓨터가 정확하고 빠르게 측정과 분석을 해줌으로써 시간적 효율이 극대화되어 데이터 분석과 그래프 작성, 결과 도출에 걸리는 시간을 현저히 줄일 수 있고 실험결과에 대한 신뢰성을 높여주어 전통적인 실험으로

하기 어려운 많은 실험들을 가능하게 해주어 탐구력 신장 및 올바른 개념형성, 그래프해석능력 신장에 효과를 줄 것이라고 교사들은 인식하고 있었다. 그러나 응답한 교사의 반 정도는 MBL실험 활동이 실험기구 조작 능력 향상에 효과적일 것이라고는 생각하지 않았으며 특히 중학교 교사들의 긍정적 응답률이 더 낮았는데 MBL실험에 필요한 새로운 실험도구들인 센서나 인터페이스 등을 실험기구들 중의 하나로 인식하지 않은 때문으로 해석된다.

‘MBL실험 적용 의지’에 대하여 대부분의 교사들은 MBL실험을 도입 할 여건이나 환경이 조성된다면 학교 현장 수업에 도입하여 활용하겠다는 매우 긍정적인 응답을 하였다.

따라서 연수에 참여한 교사들의 MBL실험에 대한 인식조사 결과 새로운 실험방법으로써 MBL실험의 학교 현장 적용 가능성에 대한 긍정적인 시사점을 찾을 수 있었다.

MBL실험을 실제 수업에 도입하고자 할 때 장애요인으로는 ‘고가의 MBL실험 도구 구입에 따른 예산상의 어려움’을 가장 큰 장애 요인이 될 것이라고 생각하였으며 낙후된 실험실 여건, 관리자들의 이해 부족, 교사의 연수 기회 부족, MBL실험 활동 자료 부족 순으로 생각하였다. 따라서 많은 장점을 지닌 새로운 실험 방식인 MBL실험을 현장수업에 도입하기 위하여 MBL실험 도구의 단가를 낮추기 위한 기술 개발이 필요하다. 또한 2003년 정부의 과학교육활성화 정책으로 각 학교 과학실 현대화를 위한 재정지원이 점차로 확대되어 진행되고 있으나, 시설 개선에 많은 비용이 지출되고 선진화된 실험 기자재 구입에는 소홀함으로 예산 배정에 대한 제도적 개선이 필요하다고 사료된다. 그리고 새로운 실험방식 도입에 따른 교사 연수의 확대와 MBL실험 활동 자료의 개발과 보급이 필요하다고 하겠다.

국문 요약

이 연구에서는 과학실험의 새로운 방법으로 학교 현장에서 도입 단계에 있는 컴퓨터를 기반으로 하는 MBL실험에 대하여 초·중·고 교사들의 인식을 조사하였다. 이를 위해 초·중·고등학교의 과학교과서에 나오는 실험 주제 중 MBL(microcomputer based laboratory) 실험으로 대체할 수 있는 실험주제를 세 가지씩 선정하여 초·중·고등학교 과학 교사들에게 연수를 실시한 후 MBL실험 연수 내용·MBL실험 기대효과·연수 후 MBL실험 적용 의지에 대하여 설문조사를 실시하였다. 연구 결과, 초·중·고등학교

교사 모두 MBL실험 연수가 매우 유익하고 유용하다고 생각하였으나 연수내용 수준에 대하여 약간 높게 생각하였다. 또한 MBL실험에 대한 기대효과로는 컴퓨터를 이용하는 MBL실험은 정확하고 빠르게 데이터를 수집하고 처리 할 수 있어 실험 시간을 단축할 수 있으며, 단축된 실험시간을 실험결과를 분석하고 토론하는 활동에 활용할 수 있어서 올바른 개념 형성과 그래프 해석 능력 및 탐구력 신장에 효과적일 것이라고 생각하였다. 그러나 실험기구 조작 능력 향상에는 효과적이라고 생각하지 않았다. 또한 대부분의 교사들은 연수 후에 과학실험 수업에 바로 이용하려는 의지가 높게 나타났으나, 새로운 교육과정에 도입하기 위해서는 MBL실험을 위한 도구 구입과 낙후된 실험실 여건, 교사 연수 기회 부족 등이 장애라고 지적하였다. MBL실험의 확장 적용을 위해서는 MBL실험 도구의 단가를 낮추기 위한 기술 개발 및 각종 센서의 제작 보급과 함께 MBL실험 자료 개발과 교사 연수가 확대되어야 할 것이다.

참고 문헌

- 교육인적자원부 (2001). 과학과 교육과정. 서울: 대한교과서주식회사.
- 구양삼, 박금홍, 최병순, 신애경, 이국행, 고석범 (2006). 토론을 강조한 MBL실험 수업에서 리더유형에 따른 언어적 상호작용 특성. *대한화학회지*, 50(6), 494-505.
- 김덕곤 (2005). MBL을 이용한 전기회로 실험 메뉴얼 작성 및 적용. *한국교원대학교 대학원 석사 학위 논문*.
- 박금홍, 구양삼, 최병순, 신애경, 이국행, 고석범 (2005). 중학생들의 끊는점 학습에서 컴퓨터를 기반으로 하는 실험수업의 효과. *한국과학교육학회지*, 25(7), 867-872.
- 송인범 (2004). 물질의 상태변화 수업에 적용한 MBL 실험의 효과 연구. *공주대학교 대학원 석사 학위 논문*.
- 유병길 (2006). 초등학생의 컴퓨터 기반 실험 수업 효과. *초등과학교육*, 25(1), 1-7.
- 이재희, 장세중 (1997). 디지털 비디오를 이용한 운동 분석 프로그램의 개발. *물리교육*, 15(2), 129-134.
- 이향미 (2002). 고등학생의 역학적 에너지 보존학습에서 컴퓨터를 기반으로 하는 상호작용적 시범 실험 수업의 효과. *한국교원대학교 석사학위논문*.
- 전재록 (2004). 운동 제2법칙에서 MBL의 현장 적용에 관한 연구. *한국교원대학교 석사 학위 논문*.
- 차상욱 (1998). 비디오 카메라와 시뮬레이션을 이용한 역학단원 지도의 효과. *한국교원대학교 석사 학위 논문*.
- Adams, D. D., & Shrum J. W. (1990). The effects of microcomputer-based laboratory exercises on the acqui-

sition of line graph construction and interpretation skills by high school biology students. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(8), 777-787.

Atar, H. Y. (2002). Chemistry students' challenges in using MBL's in science laboratories. 23p.: In proceedings of the annual international conference of the association for the education of teachers in science(Charlotte, NC, January 10-13, 2002); see SE 066 324.

Castleberry, S. J., Culp, G. H., & Lagowski, J. J. (1973). The impact of computer-based instructional methods in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 50, 469-476.

David, W. R., Keith, B. L., & Campbell, J. M. (2004). Role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in thermal physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(2), 165-185.

Enochs, L. G., Scharmann, L. C., & Riggs, I. M. (1995). The relationship of pupil control to preservice elementary science teacher's self efficacy and outcome expectancy. *Science Education*, 79(1), 63-75.

Friedler, Y., Nachmias, R., & Linn, M. C. (1990). Learning scientific reasoning skills in microcomputer-based laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(2), 173-191.

Gangoli, S. G. (1995). A study of the effect of a guided open-ended approach to physics experiments. *International Journal of Science Education*, 17(2), 233-241.

Good, R., & Berger, C. (1998). The computer as a powerful tool for understanding science. In Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak J. D. (Eds.), *Teaching science for understanding*. San Diego: Academic Press.

Heck, R. H. (1990). Secondary science teachers' attitudes about microcomputer-based laboratory techniques: Instructional uses and needed improvements. *Computers in the Schools*, 7(3), 71-85.

Lapp, D. A., & Cyrus, V. F. (2000). Using data-collection devices to enhance students' understanding. *Mathematics Teacher*, 93(6), 504-10.

Leonard, W. H. (1983). An experimental study of a BSCS-style laboratory approach for university general biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), 807-813.

Nakhkeh, M. B. (1994). A review of microcomputer-based labs: How have they affected science learning? *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 13(4), 368-381.

Rogers, L. T. (1995). The computer as an aid for exploring graphs. *School Science Review*, 76, 31-39.

Roth, W. (1989). Experimenting with temperature probes. *Science and Children*, 27(3), 52-54.

Shymansky, J. A., Kyle, W. C., & Alport, J. M. (1983). The effects of new science curricula on student performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(5), 387-404.

Stein, J. S., Nachmias, R., & Friedler, Y. (1990). An experimental comparison of two science laboratory environments: Traditional and microcomputer-based. *Journal of Educational Computing Research*, 6(2), 183-202.

Tamir, P. (1977). How are the laboratories used? *Journal of Research in Science Teaching*, 14(4), 311-316.

Thornton, R. K. (1987). Tools for scientific thinking microcomputer-based laboratories for physics teaching. *Physics Education*, 22(4), 230-238.

Thornton, R., & Sokoloff, D. (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics*, 58(9), 858-866.

Tobin, K. (1990). Research on science laboratory activities. *School Science and Mathematics*, 90(5), 403-418.

Watson, D. M. (2001). Pedagogy before technology: Re-thinking the relationship between ICT and teaching. *Education and Information Technologies*, 6(4), 251-266.