

세 가지 다른 중화적정 실험 방법에 따른 고등학생들의 산·염기 관련 개념의 이해 분석

이종백 · 박가영 · 이상권*

전남대학교

Analysis of High School Students' Understanding of Acid-Base Related Concepts Using Three Different Neutralization Titration Technologies

Ree, Jongbaik · Park, Ga-Young · Lee, Sang Kwon*

Chonnam National University

Abstract: The purpose of this study was to investigate high school students' understanding of acid-base related concepts using three different titration technologies. The test population was composed of 209 students from three classes in the 10th grade. The different titration experiments using indicator, or pH-meter or MBL were performed in each class unit, respectively. The analyses of the effect on the understanding of different titration technologies were carried out by comparing the mean scores of the concept test taken before and after the titration for the three groups. The results of the acid-base related concept test indicated that statistically significant effects on the understanding of the concepts were shown by all groups. Comparing the effect on the comprehension of the three groups, the MBL group showed the most significant effect, while the pH-meter group showed the least significant. It was also attempted to analyze the effect on comprehension of the concepts by the cognitive and the motivational levels of students. This study revealed that the students in the formal operation stage showed higher understanding of the acid-base related concepts, while those in the concrete operation stage showed lower comprehension. It was also shown that the students at the active motivational level scored higher in comprehension than those who had a low score. The results of this study implied that each group showed differently enhanced comprehension of concepts by titration technologies. Therefore, teachers need to promote an appropriate experiment technology for the cognitive and motivational levels of students as well as try to help students express freely their own perspectives.

Key words: MBL(Microcomputer-Based Laboratory), neutralization titration, cognitive level, motivational level

I. 서론

2007년 개정 과학과 교육과정 중에서 고등학교 1학년 과정의 산·염기 관련 단원은 산·염기 개념을 현상 중심의 거시적 관점으로 구성되어 있는 초등학교 5학년 과정과 원자와 분자의 세계인 미시적인 관점으로 학습하도록 구성 되어있는 고등학교 화학 II 과정을 연결해주는 중요한 역할을 한다. 일상생활에서 흔히 사용되고 있는 산·염기라는 용어에 대한 학생들의 이해 수준은 현상 중심의 거시적인 관점에 의한 개념이기 때문에, 학습과정에서 원자 또는 분자 수준의 미시적 개념으로의 연계가 쉽지 않다(강순희와 조성아, 1999).

이와 같이 많은 학생들이 산·염기 개념의 획득에 어려움을 느끼는 이유는 고등학교 과정의 산·염기 관련 개념을 이해하기 위해 요구되는 인지수준이 고등학생들의 인지 수준에 비하여 높기 때문이다(문홍무와 최병순, 1987; 박종윤 등, 1993). 즉, 원자·분자·이온 등 물질의 입자성을 이해하는 수준은 형식적 조작기 초기 수준이며, 산과 염기의 개념을 과학적 개념으로 이해하는 수준은 형식적 조작기 후기 수준이어야 가능하다. 그러므로 인지수준이 형식적 조작기인 학생이 과도기나 구체적 조작기 학생보다 개념변화가 잘 일어나며 화학 문제 해결에 대한 성취도가 높다(권소현과 최병순, 2002).

학생들의 과학에 대한 흥미와 학업 성취 수준에 영

*교신저자: 이상권(Lsk1213@jnu.ac.kr)

**2011.02.22(접수) 2011.04.19(1심통과) 2011.08.20(2심통과) 2011.09.27(최종통과)

향을 미치는 또 다른 요인으로는 학습 동기가 있는데 학습 성취에 영향을 미치는 인지적 요인과 함께 정적 영역의 동기적 요인도 함께 고려할 필요가 있다. 학습 동기와 개념 이해도 사이에는 유의미한 상관관계가 있으며(백성혜 등, 1999), 동기 유형이 문제를 해결하는 과정에도 영향을 미친다(홍현수, 2001; 최미화, 2002; 신영민 등, 2010).

화학의 중요한 분야 중 하나인 산·염기의 관련 개념 이해에 영향을 줄 수 있는 다양한 변인 가운데 학생들의 인지 수준과 학습 동기가 산·염기의 개념 이해에 어떠한 영향을 미치는 지를 밝혀보는 것은 의미 있는 일이라 하겠다. 교육과정에서 필수로 다루고 있는 산·염기 단원의 중화적정 실험에서 어떤 실험 방법이 중화적정을 포함한 산·염기의 관련 개념 이해에 효과적인지 아는 것은 교육현장의 효과적인 적용을 위해서 필요한 주제라고 생각된다.

최근에 ICT의 발전으로 학교 현장에서도 컴퓨터에 기반을 둔 MBL 활동이 과학수업에 도입이 되고 있는 추세이며 이에 대한 활발한 연구들이 진행되어지고 있다(구혜원, 1993; David *et al.*, 2004; 신애경, 2006; 박상용 등, 2006; 구양삼 등, 2007). MBL을 이용한 실험은 전통적인 실험방법으로는 한 시간에 끝낼 수 없었던 대부분의 실험을 가능하게 하며, 데이터 수집과 측정 기록에 걸리는 시간과 노력을 들이지 않으므로 동료 간의 상호작용을 증진시킬 수 있다(Linn & Songer, 1991). 또한 MBL 실험 수업은 학습의 효과와 그래프 그리기 및 해석능력, 과학에 대한 흥미와 호기심 등에 긍정적인 효과가 있다(박금홍 등, 2007, 2008). 그러나 이러한 MBL을 사용한 학생 대상 실험은 시범실험이거나 현직교사와 예비교사 대상의 연구로 그 한계가 있다.

MBL을 이용한 산·염기 관련 실험은 전통적인 탐구 실험 수업 보다 효과가 있는 것으로 나타났다. 중화적정 실험 수업 전과 후에 학생들이 작성한 개념도를 분석한 결과(Nakhleh & Krajcik, 1994), MBL을 사용한 학생이 관련 개념 구성에 가장 큰 변화를 나타냈다. 또한 인지 수준과 학습 동기 유형을 고려하여 목적추출 방식으로 모둠을 선택하여 실험 과정에서 학생들의 상호작용을 관찰하였다(Nakhleh & Krajcik, 1993). 이 연구는 소수의 미국 학생들을 대상으로 하여 개념도 분석을 한 것이다. 우리나라 학생들에 대한 연구를 보면, 유은희 등(2008)은 MBL을

활용한 산·염기 적정 실험에서 학생 간 언어적 상호작용에 대한 사례연구를 통해서 MBL을 사용한 집단이 전기 전도도를 측정된 전통 집단에 비해 실험 수행 과정 중 관찰 및 설명에 대한 대화빈도가 4배 이상 높게 나타났으며 실험수행과 분석 및 평가 과정에서는 2배 이상 심층적 대화빈도수가 크게 나타났다고 하였다. 이 연구는 소수의 대학교 1학년 학생들을 대상으로 MBL과 전기 전도도 측정 등 2가지 실험 과정 중의 상호작용에 대한 자료를 정성적으로 분석한 결과를 설명한 것이다. 따라서 고등학생을 대상으로 학교 현장에서 산·염기 관련 실험에서 주로 사용되는 지시약을 사용하는 실험과, pH미터를 사용하는 실험, 그리고 MBL을 사용하는 실험이 학생들의 개념이해에 어떤 영향을 미치는지 정량적인 방법으로 비교해 보는 것이 필요하며 의미 있는 일이라고 생각된다.

이에 본 연구에서는 고등학교 1학년 과정 중의 '물질' 단원의 '산과 염기의 반응' 중 '중화반응' 소단원에서 산과 염기의 중화반응에 대한 과학 개념 이해에 어떠한 실험 방법이 가장 효과적인지 알아보려 하였다. 이를 위해 지시약, pH미터, MBL을 이용한 서로 다른 세 집단으로 나누어 실험을 하도록 하였다. 그리고 각 집단 학생들의 산·염기 및 중화반응 관련 개념 이해 정도에 어떠한 방법이 가장 효과적인지와 학생들의 인지 수준과 학습 동기가 각각의 집단별로 어떠한 영향을 미치는지를 정량적으로 연구하였다.

II. 연구 방법

가. 연구 대상

연구 대상은 C 광역시에 위치하는 2개 고등학교에서 1학년 각각 3개 학급을 군집표집 하여 지시약, pH미터, MBL을 이용하여 중화적정 실험을 하도록 하였다. 대체적으로 4인 1조의 소집단 실험을 하였으나 학생 수가 많은 경우에는 5인까지 허용하였다. 반 별로 사용하는 실험 방법은 동일하게 하였으며 2개 고등학교에서 각각 1개 학급씩이 동일한 방법을 사용하는 하나의 집단이 되도록 하였다. 연구에 필요한 검사를 응하지 않은 학생과 검사에 불성실하게 응한 학생은 통계처리 대상에서 제외하였다. 모든 검사를 수행한 학생은 지시약을 사용하여 실험하는 집단이 72명, pH미터를 사용하는 집단이 70명, MBL을 사용하는 집단

이 67명 이었다(표 1).

표 1
연구 대상

실험 집단	지시약	pH미터	MBL
학생수 (명)	72	70	67

나. 연구 방법

1) 연구 절차

군집표집으로 선정된 지시약, pH미터, MBL의 세 집단 학생들에게 인지수준 검사, 학습동기 검사 결과와 1학기 과학 성적을 고려하여 능력 차이가 크지 않은 비슷한 이질집단이 구성되도록 하였다. 이는 수준이 낮더라도 보다 더 나은 동료들과의 활발한 상호작용을 통하여 향상이 이루어지도록 하기 위함이었다(임희준과 노태희, 2001; 남정희 등, 2002). 산·염기 및 중화반응 개념에 대한 사전 검사는 중화반응 실험 수업을 하기 4개월 전, 여름 방학 직전에 실시하였고, 2학기 개학 1개월 후에 연구 대상의 모든 반의 실험 수업을 마치고 사후검사를 실시하였다. 학생들의 경험효과(test-wise effect)를 배제하기 위해 동일 유형의 개념 검사지로 사후검사를 실시하였다.

2) 실험주제 및 수업

고등학교 과학 교과서의 ‘물질’ 단원 가운데 ‘산과 염기의 반응’의 소단원들을 진도에 맞추어 수업을 진행하면서 ‘중화반응’을 다루는 수업에 맞추어 실험을 실시하였다. 지시약, pH미터, MBL의 세 집단에 해당하는 각각의 실험 안내서와 실험보고서를 개발하여 사용하였다. 교사 변인을 통제하기 위하여 세 집단의 모든 수업에는 동일한 교사가 투입되었으며, 교사는 학생들의 실험을 지도하거나 수업을 진행하지 않고, 각각의 실험 장치와 실험 기구를 다루는 방법과 실험 내용에 대한 간단한 설명만을 하고 발생하는 문제에 대한 질문에만 답변을 하였다.

실험은 2차시 연속 수업으로 하였으며 수업 시작 후 실험에 대한 소개와 실험 시 주의해야 할 사항에 대해 10분 정도 숙지한 다음 소집단별로 실험안내서를 보면서 실험 도구를 장치하고 실험 수행, 자료 수집 및 분석까지의 활동을 수행하였다. 산과 염기의 용액으로는 각각 같은 농도의 염산, 수산화나트륨 용액을 사용하였고 염기성 용액을 산성 용액으로 적정하였다.

지시약을 이용한 집단은 지시약으로 페놀프탈레인 용액을 사용하였다. 페놀프탈레인이 첨가된 붉은색의 수산화나트륨 용액에 염산을 가하면서 무색으로의 변하는 지점, 즉 중화점을 찾는 활동을 하였다. pH미터를 이용한 집단은 pH미터 센서를 통해 얻어지는 pH값을 기록한 후 가해진 염산에 따른 pH값을 그래프로 직접 그리고 해석하도록 하였다. MBL을 이용한 집단은 컴퓨터에서 실시간으로 pH값이 읽혀지고 염산에 따른 pH값이 그래프로 얻어진다면 그 그래프를 보고 해석하는 활동을 하였다.

실험이 끝난 후 활동지를 작성할 때, 학생들은 소집단 토론을 통해 실험보고서에 있는 여러 가지 질문을 해결해 가는 과정을 거쳤고 교사와 함께 정리하는 시간을 5분 정도 가졌다. 이와 같은 세 집단의 중화적 실험 과정을 표 2에 나타내었다.

3) 자료 처리 및 분석

지시약, pH미터, MBL 집단의 산·염기 및 중화반응 개념 검사지로 실시한 사전, 사후검사 결과를 SPSS를 사용하여 통계 처리하였다. 세 집단의 관련 개념 향상, 및 학습동기와 인지수준에 따른 사후검사 결과 등을 비교하였다.

다. 검사도구

1) 인지발달 수준 검사 : GALT (Group Assessment of Logical Thinking)

이 연구에서 사용된 인지발달 수준을 측정하는 검사 도구는 Roadranka 등(1983)이 개발한 GALT를 우리말로 변안한 “논리적 사고력 검사”를 사용하였다. 이 검사 도구는 총 21문항으로 되어있고 각 문항은 답과 이유를 선택하는 선다형 문항으로 되어있으며 대부분의 문항에 문제 상황을 설명하는 문장과 함께 그림이 제시되어 있다. 검사 내용은 보존, 비례, 변인통제, 확률, 상관, 조합 등 6가지 논리적 사고 능력을 측정할 수 있도록 되어있으며 맞은 개수에 따라 세 단계의 인지수준으로 분류한다. 0 8개를 맞는 경우 구체적 조작기, 9 15개는 과도기, 16개 이상은 형식적 조작기로 판정한다. GALT의 공인된 타당도는 0.71이고, 신뢰도 계수(Cronbach's α)는 0.85, 평균 난이도는 0.40이다(김경미, 1999). 본 연구에서 실시한 검사의 신뢰도(Cronbach's α)는 0.75이었다.

표 2
중화적정 실험 과정 및 학생 활동

지시약	pH미터	MBL
〈실험 준비물〉 뷰렛, 스탠드, 피펫, 30mL 비커, 0.1M 염산용액, 0.1M 수산화나트륨용액, 페놀프탈레인 지시약, 증류수	〈실험 준비물〉 pH미터, 뷰렛, 스탠드, 피펫, 30mL 비커, 0.1M 염산용액, 0.1M 수산화나트륨용액, 증류수	〈실험 준비물〉 MBL 센서와 컴퓨터, 뷰렛, 스탠드, 피펫, 30mL 비커, 0.1M 염산용액, 0.1M 수산화나트륨용액, 증류수
1. 실험 장치 확인 실험시 주의할 사항	1. 실험 장치 확인 pH미터 사용방법 설명	1. 실험 장치 확인 MBL 사용방법 설명
2. 실험 과정 1) 0.1M 수산화나트륨 30mL를 비커에 넣는다. 2) 스탠드에 고정시킨 뷰렛에 0.1M 염산 50mL를 채운다. 3) 뷰렛을 이용하여 0.1M 염산을 비커에 조금씩 가하면서 변화를 관찰한다.		
3. 페놀프탈레인을 이용하여 붉은색에서 무색으로의 색변화 관찰하여 중화점을 찾은 후 주어진 질문에 답한다.	3. pH미터를 통해 pH값을 측정된 후 가해진 염산의 부피에 따른 pH값을 그래프로 그리고 주어진 질문에 답한다.	3. MBL 센서를 통해 컴퓨터에 실시간으로 pH값이 읽혀지고 가해진 염산에 따른 pH값의 그래프를 얻은 후 주어진 질문에 답한다.

2) 학습 동기 검사 : PALS (Patterns of Adaptive Learning Survey)

이 연구에서 사용한 학생들의 학습 동기 수준을 조사하기 위한 검사지로 PALS를 사용하였다. 이 학습 동기 검사지는 Anderman & Young (1994)이 개발하였고, 이 연구에서는 일반 영역과 과학특별 영역 등 두 개의 유형 중에서 과학 특별 영역의 PALS (science-specific version of the PALS) 검사지를 사용하였다. 검사지의 구성은 모두 8개 영역으로 과학에 대한 자아효능감(4문항), 피상적 전략(5), 심층적 전략(7), 가치(3), 능력에 대한 자아개념(3), 기대(3), 능력목표 지향성(4), 학습목표 지향성(4) 등 33문항으로 이루어져 있다. 검사시간은 150분이며, 모든 문항은 5단계 리커트 척도로 이루어져 있다.

이 연구에서는 PALS 검사지의 33문항 중 연구 목적에 맞는 전략에 관한 12문항과 목표 지향성에 관한 8문항 등 총 20문항의 검사 결과만을 분석하였다. 수

업에 접근하는 방식에 대한 문항인 전략에 관한 12문항의 내적 신뢰도(Cronbach's α)는 0.77이었고 목표 지향에 대한 8문항의 내적 신뢰도는 0.74이었다.

3) 산·염기 및 중화반응 개념 검사지

개념 검사지는 산·염기 및 중화반응과 관련된 문항을 중심으로 제작하였으며, 화학교육 전문가 2인과 대학원학생 3인 등으로부터 타당도를 검토 받았다. 또한 검사도구의 신뢰성을 위해 여러 차례 수정과정을 거친 후, 총 14문항을 선별하였다(표 3).

사전검사 도구와 사후검사 도구를 다소 다른 문항으로 제작하였는데 이는 학생들의 경험효과가 연구에 영향을 미칠 것으로 판단되었기 때문이다. 그러나 문항의 내용과 문항의 유형, 문항 수 등을 동일하게 유지하였으며 두 검사지는 문항별로 동일한 내용의 개념을 묻는 방식으로 구성하였으며 2차에 걸친 예비검사 (pilot test)를 통하여 문항 난이도와 문항 변별

표 3
산·염기 관련 개념 검사지의 세부 내용

문항	세부내용	문항	세부내용
1	염기의 기본 성질	8	중화반응에서의 당량 개념
2	산의 기본 성질	9	산과 염기의 기본 성질
3	중화반응의 기본 성질	10	염기의 이온화
4	중화반응에서의 당량 개념	11	실생활에서의 중화반응 예
5	산과 염기의 분류	12	중화반응에서의 용액의 액성
6	산 용액 속의 입자 모형	13	산과 염기의 세기
7	중화적정에서의 온도 변화	14	산·염기 용액 속의 이온모형

도 등을 거의 동일한 값으로 유지하도록 하였다. 사전 검사 도구와 사후검사 도구는 14개의 문항으로 되어 있고 각 문항은 객관식, 단답형, 간단한 서술형 등의 방식으로 구성되어 있으며 표 2에 문항에 대한 세부 내용을 제시하였다. 신뢰도는 검사 점수간의 상관계수를 계산하여 신뢰도를 구하였으며 0.71 이었다.

III. 연구 결과 및 논의

가. 실험 방법에 따른 산·염기 및 중화반응 개념 이해도

1) 각 집단별 산·염기 및 중화반응 개념 이해도

각 집단별로 중화적정 실험을 수행하기 전과 후에 실시한 산·염기 관련 개념 검사 점수를 대응표본 t-검증 방법으로 비교하여 표 4에 나타내었다.

표 4에서 보면, 세 집단 모두 t-검증 결과 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 이는 중화적정 실험 수업에서 실험 방법에 관계없이 모두 산·염기 및 중화반응 관련 개념 이해에 효과적인 영향을 미쳤음을 알 수 있다. 그러나 평균 점수 차이를 비교해 보면 지시약을 이용한 집단은 8.44점, pH미터를 이용한 집단과 MBL을 이용한 집단은 각각 5.97점, 11.67점이 향상되었다. 사전·사후검사의 평균값의 차이로 살펴 본 향상 정도는 MBL > 지시약 > pH미터 순서로 나타났다.

표 4 각 집단별 사전검사와 사후검사의 t-검증 결과

집단	검사	n	M	SD	t	p
지시약	사전검사	72	59.06	23.61	-4.426	.000*
	사후검사		67.50	22.09		
pH미터	사전검사	70	60.34	27.21	-3.416	.001*
	사후검사		66.31	24.76		
MBL	사전검사	67	58.72	22.38	-7.161	.000*
	사후검사		70.39	18.52		

*p<0.05

표 5 각 집단 간 사전검사의 분산 분석(ANOVA) 결과

	제곱합	자유도	평균제곱	F	p
집단간	101.98	2	50.99	.085	.919
집단내	123725.16	206	600.61		
전체	123827.14	208			

2) 각 집단 간 산·염기 및 중화반응 개념 이해도

가) 사전검사 결과의 집단별 비교

표 5에는 각 집단 간 평균차이를 검증하기 위해 사전검사 점수를 토대로 분산 분석(ANOVA) 결과를 나타내었다. 지시약, pH미터, MBL을 사용하여 실험하기 전 세 집단 사이의 사전검사 점수에서는 통계적으로 유의미한 차이가 없음을 알 수 있었다. 각각 두 집단 간의 LSD 검증 결과에서도 모든 경우 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 즉 세 집단 학생들의 산·염기 및 중화반응에 관한 개념의 이해도가 비슷한 동질집단이라는 것을 의미한다.

나) 사후검사 결과의 집단별 비교

표 6은 사전검사 점수를 공변량으로 하여 사후검사 점수를 세 집단 간 공변량 분석(ANCOVA) 결과를 나타낸 것이다.

세 집단의 공변량 분석 결과 사후검사 결과도 집단 간에 유의미한 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 사전검사와 사후검사 점수를 비교했을 때 세 집단 모두 중화적정 실험 후 산·염기 및 중화반응 개념 이해에 의미 있는 향상이 있었고 그 향상 정도가 집단에 따라 평균의 차이로 확인할 수 있었지만 사후검사 결과에서 집단 간의 차이는 통계적으로 유의미한 정도는 아니라는 것이다. 그러나 사후검사 결과 평균값의 순서

표 6
각 집단 간 사후검사의 공변량 분석(ANCOVA) 결과

구분	n	M	SD	M*	F	p
지시약	72	67.50	22.09	67.73		
pH미터	70	66.31	24.76	65.62	2.751	.066
MBL	67	70.39	18.52	70.86		

* 추정평균

는 MBL (70.39점) > 지시약 (67.50점) > pH미터 (66.31)로 나타나 사전검사와 사후검사의 향상정도를 가늠할 수 있는 평균 차이의 순서와 동일하게 나타났다. 세 집단 가운데 MBL을 사용한 집단이 향상 정도가 가장 컸으며, 실험을 통한 학습 성취도도 가장 높았다고 볼 수 있다. 반면에 pH미터를 사용한 집단이 향상 정도도 가장 작았으며 학습 성취도도 가장 낮게 나타났다고 볼 수 있다. 그러므로 각 집단 간 유의도를 확인하기 위하여 LSD(Least Significant Different) 검증을 통하여 각 집단 간 유의도 결과를 구하여 표 7에 나타내었다.

표 7
공변량 분석 결과의 각 집단 간 유의도에 대한 LSD 결과

구분	지시약	pH미터	MBL
지시약	-	.340	.162
pH미터	.340	-	.021*
MBL	.162	.021*	-

* p<0.05

세 집단의 공변량 분석에서는 집단 간 의미 있는 차이를 볼 수 없었지만 각각 두 집단 간의 유의도 검증에서는 MBL 집단과 pH미터 집단 간에는 통계적으로 유의미한 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 지시약 집단과는 MBL이나 pH미터 집단 간에 의미 있는 차이가 없었지만 MBL과 pH미터 집단 간은 의미 있는 차이가 있었다. 이는 결국 위에서 언급한 MBL > 지시약 > pH미터의 순서가 명백하게 존재한다는 것이 설명가능하다는 것이다. 이러한 결과는 Nakkeh 등(1994)이 개념도를 이용한 해석에서 세 집단 간의 차이를 설명한 결과가 본 연구의 정량적 결과와 동일한 순서로 나타났다.

본 연구에서 밝혀진 향상 정도뿐 아니라 사후검사의 성취도가 이러한 순서로 나타난 이유를 다음과 같이 설명할 수 있다.

pH미터를 사용한 실험은 가해진 산의 부피에 따른 pH값을 일일이 측정하여 다시 그래프로 자료변환을 하는 복잡한 활동이 요구된다. 이러한 탐구적 기능 활동에 매달린 나머지 많은 시간을 소모하게 되어(유은희 등, 2008) 자료해석이나 관련된 개념과 문제 해결 등에 대한 활발한 논의가 이루어지지 못하였다. 또한 수업 관찰 결과, 자신들이 그린 그래프의 모양이 처음 경험하는 S자 모양이어서 실험이 잘 못된 것이 아닌가 하는 자료 수집의 신뢰성에 대한 회의와 그래프를 잘 못 그렸는가에 대한 의심을 갖기도 하여 실험을 다시 하는 그룹도 있었다. 이런 이유들로 인하여 pH 집단은 그 향상 정도가 가장 낮았고, 사후검사에서 측정된 개념 이해도에서도 가장 낮게 나타난 것으로 보인다. 실험 수행과정에서 학생들은 실험 초기의 완만한 pH 변화와 중화점 근처의 급격한 pH 변화에 대한 의견 교환이 많이 이루어졌다. 특히 초기에 염산을 계속 가해주어도 pH에 큰 변화가 없는 것을 의아하게 생각하면서 실험에 대해 의문을 품었다. 심지어 pH미터가 고장이 나지 않았는가라고 생각하는 학생도 있었다. 중화점 근처에서 급격한 pH 변화를 관찰하면서 얻어진 실험 결과도 신뢰하지 못하였다. 고등학교 1학년 교육과정에서는 pH 변화 그래프가 제시되지 않기 때문에 학생들은 이런 pH의 급격한 변화는 자신들의 실험 과정에 오류가 있었다고 생각하는 경향이 있었다.

지시약을 사용한 실험은 상대적으로 간단한 실험 과정을 수행하여 중화점을 찾는다. 복잡한 자료수집 과정과 그래프 작성이 생략된 관계로 수치적으로 간단한 중화점 계산을 하면서 충분한 논의의 시간이 주어짐으로써 실험 내용에 대한 관련 개념 이해에 도움이 되었으리라 판단된다. 지시약 집단에서 학생들은 '수산화나트륨을 비커에 넣으면 돼?', '색깔 변화를 보는 거지?' 등의 간단한 질문을 시작으로 실험에 대한 문제 인식을 하였고, 실험 과정을 읽으면서 방법을 서로 확인하였다. 실험 방법이 단순한 관계로 다른 실

험 집단에 비해 실험 과정이나 방법에 대한 토론이 비교적 적게 이루어졌으며 실험 후반부에 비커의 붉은 색 용액이 갑자기 투명해지는 순간 매우 신기해하면서 중화점에 도달했다는 결론을 얻었다.

MBL을 사용한 실험은 가해준 산의 부피에 따른 pH값이 모니터에 실시간으로 표시되고 버튼을 누르기만 하면 그래프도 그려주기 때문에 학생들은 자료 수집에 대한 전적인 신뢰성을 갖게 된다. 아울러 실험 시간이 단축된 관계로 인하여 자료해석과 관련 개념, 문제 해결 등에 대한 충분한 논의의 시간이 확보되어서 더 다양한 사고를 할 수 있게 된 것으로 판단된다(구혜원, 1993; Nakhleh *et al.*, 1994; Lapp & Cyrus, 2000). 즉, MBL 실험은 데이터에 대한 신뢰도를 가질 수 있고 단축된 실험 시간을 충분한 토론과 논의의 시간으로 활용할 수 있어서 실험 내용에 대한 이해도를 높일 수 있고 관련 개념을 정확하게 이해할 수 있었기 때문으로 생각된다(구양삼 등, 2006; 유은희 등, 2008; 박금홍 등, 2008). MBL 실험이 학생들에게는 처음 접해보는 실험이어서 호기심도 있었으나 초기에는 어렵게 느끼기도 하였다. 그래서 막연한 자신의 생각을 이야기하다가 화면상에 나타나는 pH 값의 변화에 대한 활발한 논의가 이루어졌다. 또한 화면상에 그려진 적정 곡선을 본 후, 컴퓨터에 대한 긍정적인 인식과 신뢰감으로 인해 빠른 결론에 도달하였지만 그래프 상의 중화점에 대한 정확한 이해를 동반하지는 못하였다.

이와 같이 MBL을 활용한 실험이 산·염기 및 중화 반응 관련 개념의 향상에 다른 집단에 비해 상대적으로 효과적임을 알 수 있었다. MBL을 활용한 과학 수업의 학업성취도 향상에 초등학교 6학년(박상용 등, 2006), 중학교 2학년(박금홍 등, 2008), 그리고

고등학교 3학년을 대상으로 한 연구(Settlage, 1995) 등과 동일한 주제는 아니지만 효과적인 결과를 얻은 점에서 일치한다.

나. 학습동기에 따른 중화적정 개념 이해도

1) 각 집단별 학습동기

전체 학생들의 학습동기 검사 평균점수(99.96점)를 기준으로 검사 점수가 평균 이상인 경우는 학습 동기가 높은 적극적 학생, 평균 점수 미만인 경우는 학습 동기가 상대적으로 낮은 소극적 학생으로 분류하였다(백성혜, 1999). 지시약과 pH미터를 이용한 집단의 경우 적극적인 학생과 소극적인 학생의 비율이 비슷한 반면(53% : 47%), MBL을 이용한 집단의 경우 36% : 64%로 적극적인 학생의 비율은 다른 두 집단에 비해 다소 낮았고, 소극적인 학생은 다소 높게 나타났다.

2) 각 집단별 학습동기에 따른 중화적정 개념 이해도

표 8과 9는 중화적정 개념 이해에 학습 동기 유발의 수준에 따른 영향을 알아보기 위해 각 집단별로 학습 동기에 따른 사전검사와 사후검사의 t-검증 결과를 나타낸 것이다.

표 8과 9에서 보는 바와 같이 학습 동기가 적극적이든, 소극적이든 모든 집단에서 사전검사의 평균 점수에 비해 사후검사에서 향상이 있었음을 보여주지만 통계적으로는 적극적인 학습 동기를 가지고 있는 학생 집단에서는 지시약과 MBL 집단이, 소극적 학습 동기를 가지고 있는 집단에서는 세 집단 모두에서 사전검사 결과에 비해 사후검사에서 의미 있는 향상을 나타내었다.

흥미로운 사실은 적극적인 학생들의 평균차이는 세

표 8
적극적인 학생들의 중화적정 개념 이해에 대한 집단별 t-검증 결과

집단	검사	적극적 학습 동기				
		n	M	SD	t	p
지시약	사전검사	38	68.84	19.41	-2.669	.011*
	사후검사		74.82	19.14		
pH미터	사전검사	37	72.43	24.90	-1.682	.101
	사후검사		76.65	21.12		
MBL	사전검사	24	73.33	22.40	-2.788	.010*
	사후검사		78.50	18.60		

* p<0.05

표 9
소극적인 학생들의 중화적정 개념 이해에 대한 집단별 t-검증 결과

집단	검사	소극적 학습 동기				
		n	M	SD	t	p
지시약	사전검사	34	48.12	23.31	-3.565	.001*
	사후검사		59.29	22.53		
pH미터	사전검사	33	46.79	23.26	-3.293	.002*
	사후검사		54.72	23.62		
MBL	사전검사	43	50.56	17.94	-7.150	.000*
	사후검사		65.86	17.06		

* p<0.05

집단에서 4.22~5.98 정도였는데, 소극적인 학생들의 평균차이는 7.93~15.30으로 적극적인 학생들의 집단별 차이도 있었지만 소극적 학생들의 각 집단별 차이는 크게 나타났음을 알 수 있다. 학습 동기가 적극적인 학생 집단이 소극적인 학생 집단보다 크게 향상 있을 것으로 예상하였지만 연구 결과는 소극적인 학생들이 적극적인 학생들보다 전체적으로 향상된 정도의 차이가 크게 나타났다. 이는 첫째, 동기 유발의 수준이 높으면 학업 성취도가 높아진다는 선행 연구 결과(백성혜, 1999)와 다른 결과로 오해할 수 있으나, 적극적인 학생들의 사후검사 평균점수 74.82~78.50은 소극적인 학생의 평균점수 54.72~65.86에 비해 훨씬 더 높기 때문에 동기 유발의 수준이 높으면 학업 성취도가 높다는 동일한 결론을 내릴 수 있다. 그러나 적극적인 학생의 경우 사전검사 점수가 높은 우수한 학생들이 많았기 때문에 사후검사에서도 소폭 향상되었고 소극적인 학생의 경우 사전검사 점수가 더 낮았기 때문에 더 높은 비율로 향상된 것으로 볼 수 있다.

둘째로, 학습 동기가 적극적인 경우는 학습과 실험의 방법적인 면에 그다지 의존하지 않지만 소극적인 학생인 경우는 이러한 방법적인 면에 크게 영향을 받는다는 것을 확인하게 되었다. 사전검사와 사후검사의 평균 차이는 결국 개념 이해와 문제 해결 향상도의 차이를 설명하는데 소극적인 학생들의 평균 차이의 집단별 순서는 MBL (15.30) > 지시약 (11.17) > pH미터 (7.93) 으로 나타났다. 이러한 순서는 앞에서 언급한 집단별 사후검사 결과와 개념 이해도의 향상 정도 결과와 동일한 것이다. 그러므로 동기 수준이 적극적인 학생은 실험 방법에 크게 의존하지 않지만 소극적인 학생들은 실험 방법에 상당히 의존하므로 실험 수

업을 계획할 때 이러한 점을 고려하는 것이 필요한 것으로 사료된다.

다. 인지 수준에 따른 중화적정 개념 이해도

1) 각 집단별 인지수준

인지 수준 검사 결과, 전체 학생들의 36.8%가 형식적 조작기에 있었으며, 46.4%가 과도기, 16.8%가 구체적 조작기에 속해 있었다. 이는 고등학생들의 인지 수준에 대한 선행 연구 결과와 어느 정도 일치하였다(문홍무, 최병순, 1987).

세 집단 모두 형식적 조작기 학생들의 집단 내 비율은 비슷하게 나타났다. MBL을 이용한 집단의 경우 과도기의 학생 비율이 52.2%로 다른 집단에 비해 약간 높고 구체적 조작기의 학생 비율이 10.5%로 낮은 편이었으며, 지시약을 이용한 집단의 경우는 구체적 조작기 학생들의 비율이 집단 내에서 22.2%로 다소 높은 편이었다. 이는 각 집단별 평균에서도 확인할 수 있다. 구체적 조작기는 1, 과도기는 2, 형식적 조작기는 3으로 인지수준 점수를 각각 부여하여 각 집단의 평균 인지수준 점수를 구해보면 MBL을 이용한 집단의 평균이 2.27로 가장 높았고, pH미터를 이용한 집단이 2.26, 지시약을 이용한 집단이 2.11로 가장 낮았다.

각 집단별 인지수준에 따른 분석을 하기 위하여 실질적으로 과도기는 구체적 조작기에 속하므로(Adey & Shayer, 1994) 형식적 조작기와 과도기가 포함된 구체적 조작기 등으로 두 단계로만 나누어서 분석하였다. 이는 고등학생의 인지 수준의 특성상 구체적 조작기와 과도기로 구분할 경우 구체적 조작기에 속하는 학생들의 비율이 매우 낮아져서 통계적 분석에 어

려움이 있기 때문이다.

2) 각 집단별 인지수준에 따른 산·염기 및 중화반응 개념 이해도

학생들의 인지수준에 따른 산·염기 및 중화반응 개념 이해에 미치는 영향을 알아보기 위해 각 집단별로 사전검사와 사후검사의 t-검증 결과를 표 10은 형식적 조작기, 표 11은 구체적 조작기 학생들에 대해서 나타낸 것이다.

형식적 조작기 학생들은 세 집단 가운데 MBL을 사용한 집단에서만 통계적으로 유의미한 향상이 있었다. 특히 pH미터를 이용한 집단에서는 오히려 2.43점이 하락하였으나 이는 통계적으로 오차 범위에 있거나 우수한 학생들만 모아 놓았을 때 생기는 통계적 회귀 현상으로 보여 진다.

형식적 조작기 학생들의 사전검사 평균을 보면 집단에 관계없이 80점 전후의 높은 점수를 얻고 있다. 이는 실험 활동을 통한 수업 이전에 이미 산·염기 및 중화반응에 대한 개념을 어느 정도 이해하고 있음을 알

수 있다. 이러한 이유로 인하여 형식적 조작기 학생들의 사후검사 결과 사전검사와의 평균 차이가 거의 없고 의미 있는 향상이 나타나지 않았다고 보여 진다. 다만 MBL 집단에서 유의미한 향상이 나타난 것은 자료 수집 과정과 그래프로 자료를 변환하는 과정이 큰 비중을 차지하는 실험을 이러한 과정을 자동화 시킨 MBL을 사용함으로써 실험 시간을 단축하게 되어 실험 수행 과정 혹은 실험 수행 이후에 효과적인 상호작용을 할 수 있어서 관련 개념의 이해와 문제 해결에 있어서 효과가 있었음을 보여 주는 것이라고 판단된다.

구체적 조작기 학생들은 세 집단 모두에서 통계적으로 유의미한 향상이 있었다. 집단별 사전검사와 사후검사의 평균 차이를 보면, 11.25~14.81로 형식적 조작기 학생들 보다 훨씬 큰 차이를 나타내어서 많은 향상이 있음을 보여준다. 지시약과 pH미터의 두 집단은 거의 비슷한 정도의 차이를 보였고, MBL이 가장 큰 차이를 보였다. MBL 집단에서 형식적 조작기 학생과 구체적 조작기 학생들의 사후검사 개념 이해도 점수는 각각 86.00과 61.10으로 큰 차이를 보이지만,

표 10 형식적 조작기 학생들의 중화적정 개념 이해에 대한 집단별 t-검증 결과

집단	검사	형식적 조작기				
		n	M	SD	t	p
지시약	사전검사	24	79.00	20.04	-0.889	.383
	사후검사		81.83	16.82		
pH미터	사전검사	28	81.57	14.77	1.133	.267
	사후검사		79.14	17.09		
MBL	사전검사	25	79.60	14.19	-3.084	.005*
	사후검사		86.00	11.39		

* p<0.05

표 11 구체적 조작기 학생들의 중화적정 개념 이해에 대한 집단별 t-검증 결과

집단	검사	구체적 조작기				
		n	M	SD	t	p
지시약	사전검사	48	49.08	18.46	-4.905	.000*
	사후검사		60.33	21.01		
pH미터	사전검사	42	46.19	24.28	-5.373	.000*
	사후검사		57.76	25.53		
MBL	사전검사	42	46.29	16.25	-6.847	.000*
	사후검사		61.10	15.47		

* p<0.05

사전검사와 비교한 향상 정도는 각각 6.40과 14.81로 구체적 조작기 학생들에게서 크게 차이가 났다. 그러나 두 경우 모두 의미 있는 차이를 나타냈는데 그 이유는 앞에서 언급한 MBL 수업의 특징과 동일하며 그것이 MBL 수업의 장점이기도 하다. 또한 구체적 조작기 학생들의 개념 이해에 대한 향상 정도가 큰 것은 각 집단의 실험 모둠을 구성할 때 인지 수준과 학습 동기를 고려하여 능력 차이가 그다지 크지 않은 비슷한 이질 집단으로 구성하였기 때문에 인지수준이 높은 학생이 낮은 학생을 돕는 형태의 활발한 상호작용(남정희 등, 2002)이 있었기 때문으로 추론할 수 있다.

사후검사 결과를 이원분산 분석한 결과에 의하면 동기 수준과 인지 수준의 상호작용 효과는 세 집단 모두에서 나타나지 않았다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 고등학교 10학년 산과 염기의 반응 단원에서 중화반응을 학습할 때 세 가지 다른 중화적정 실험 방법에 따라 학생들의 산·염기 및 중화반응 관련 개념의 이해도에 어떠한 차이가 있는지 살펴보고, 인지 수준과 학습 동기 수준 별로 어떤 영향을 끼치는지 정량적인 분석을 하였다.

중화적정 실험 수업을 마친 후 지시약, pH미터, MBL을 이용한 세 집단 모두 사후검사 점수에서 통계적으로 유의미한 향상이 있었다. 집단 간 비교에서는 특히 MBL을 사용한 집단의 향상 정도가 가장 크게 나타났으며 pH미터를 사용한 집단과 유의미한 차이가 있었다. 중화적정 실험을 할 때 가장 효과적인 실험방법의 순서는 MBL > 지시약 > pH미터이며 이러한 순서로 산·염기 및 중화반응 관련 개념 이해의 향상에 영향을 미쳤다. 이는 자료 수집과 자료 변환 과정의 비중이 큰 pH미터 실험 보다는 측정 센서를 사용하여 이러한 과정을 자동화한 MBL 방법이 그래프 작성 결과에 대한 신뢰성을 높이고, 보다 많은 시간을 자료해석과 관련 개념, 그리고 문제 해결 등에 충분한 논의에 할애할 수 있었기 때문이다.

학습동기 수준이 개념 이해에 미치는 영향을 분석한 결과 적극적인 동기 유형을 가진 학생들은 사전검사와 비교한 사후검사 결과 나타난 평균 차이가 소극적인 동기 유형을 가진 학생들보다 집단 별로 크게 차이가 나지 않았다. 적극적인 학생의 경우는 개념의 학

습과 이해 정도가 실험 방법에 따라 크게 의존하지 않았지만 소극적인 학생의 경우는 MBL > 지시약 > pH미터 순으로 큰 차이를 나타냈다. 그러므로 소극적인 학습 동기를 가진 학생들에게는 실험 수업을 계획할 때 이러한 점을 고려하는 것이 필요하다. 복잡한 실험이나 자료 수집 과정 등 탐구 기능적 측면에 시간을 보내기 보다는 실험 과정에서 주의 깊은 관찰과 얻어진 자료의 해석 등에 많은 논의의 시간을 가질 수 있도록 하는 것이 필요하다.

학생들의 인지수준에 따른 개념 이해 정도를 분석한 결과 형식적 조작기 학생들은 사전검사 결과가 높게 나타나 사후검사에서 향상 정도를 기대하기 힘들었지만 MBL을 사용한 집단에서만 유의미한 향상이 있었다. 그러나 과도기를 포함한 구체적 조작기 학생들은 세 집단 모두 사전 검사와 비교하여 평균이 큰 폭으로 상향변화 하였으며 통계적으로도 모두 유의미한 결과를 얻었다. 지시약과 pH미터를 사용한 집단에서는 거의 비슷한 정도의 향상을 나타냈지만 MBL을 사용한 집단에서 가장 큰 향상 정도를 나타냈다.

MBL 수업에서는 동기 유발이 소극적이거나 인지수준이 구체적 조작기에 머물러있을 지라도 MBL을 사용하는 실험 방법에 대한 호기심과 자료 수집과 자료 변환 과정의 신뢰성으로 얻어진 실험 결과를 전적으로 신뢰할 수가 있었으며, 비슷한 이질집단의 모둠원 구성으로 인하여 실험 시간의 단축에 의한 활발한 상호작용이 일어나서 모둠원 모두에게 관련 개념의 이해도 향상에 긍정적인 영향을 미쳤음을 알 수 있다.

이러한 MBL 실험이 학생들에게 학습과 개념 이해에 효과가 있음을 볼 때 중·고등학교 과학 및 화학 실험 수업에서 새로운 실험 방법 중의 하나로 활용될 수 있는 가능성에 긍정적인 시사점을 찾을 수 있다. 학교 현장에 MBL 실험 기구를 꾸준히 보급함은 물론 MBL 실험에 대한 교사 연수 등의 교육을 실시하여 MBL을 이용한 다양한 주제의 탐구 실험을 개발하여 학생들의 개념 이해의 향상에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

또한 산과 염기 및 중화반응 뿐 아니라 화학의 중요한 주제와 관련된 탐구 실험을 효과적으로 보완 개선하려는 노력도 병행해야 할 것이다.

국문 요약

이 연구에서는 고등학교 1학년 학생을 대상으로 중

화적정 방법에 따른 산·염기 및 중화반응 개념의 이해도를 알아보고자 하였다. 세 개의 집단은 각각 지시약, pH미터, MBL을 이용하여 중화적정 실험을 하도록 하였다.

각 집단별로 중화적정 실험 수업을 하기 전과 후에 산·염기 및 중화반응 개념 검사를 하여 그 향상 정도를 알아본 후 고등학생들이 산·염기 및 중화반응에 대한 과학적인 개념을 형성하는데 효과적인 실험 방법이 무엇인지 알아보았다.

세 집단 모두 중화적정 실험 수업을 마친 후 사후검사에서 개념 이해에 유의미한 향상이 있었지만 그 중에서도 MBL을 이용한 집단의 향상도가 가장 높았고 pH미터를 이용한 집단의 향상도가 가장 낮았다.

적극적인 동기 유형을 가진 학생들이 소극적인 학생들보다 사전검사 및 사후 검사 점수는 높았지만 평균 점수 차이를 볼 때 소극적인 학생들의 개념 이해의 향상 정도가 더 높은 것으로 나타났다. 적극적인 학습 동기를 갖는 학생들은 개념 이해에 있어서 실험 방법에 의존하지 않지만 소극적인 학생들은 그 차이가 크게 나타났으며 MBL을 사용할 때 가장 높게 나타났다.

인지수준에 따른 개념 이해 정도에서는 인지수준이 높을수록 산·염기 관련 개념 이해 정도가 높았다. 그리고 중화적정 실험 수업을 하기 전과 후의 개념 이해 향상 정도는 과도기를 포함한 구체적 조작기 학생들이 가장 큰 폭으로 상향변화 하였다.

각 집단별 인지수준과 학습동기에 따른 개념 이해를 비교해보면 적정 방법에 따라 향상 정도에 차이가 있었으므로 학습자의 인지수준과 동기 유형에 따라 적절한 실험 방법을 선택해 줌으로써 학생들의 개념 이해의 어려움을 최소화하도록 해야 한다.

참고 문헌

강순희, 조성아(1999). 중학교 3학년 학생들의 산·염기 이해 조사. 대한화학회지, 43(6), 707-719.

구양삼, 박금홍, 최병순, 신애경, 이국행(2007). 토론을 강조한 MBL실험 수업에서 리더유형에 따른 언어적 상호작용 특성. 대한화학회지, 50(6), 494-505.

구혜원(1993). 과학과 수업에 적용한 MBL실험 방식의 효과 연구. 이화여자대학교 박사학위논문.

권소현, 최병순(2002). 고등학교 학생들의 인지

양식과 인지 수준이 화학 문제 해결에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 22(1), 132-140.

남정희, 김성희, 강순희, 박종윤, 최병순(2002). 변인통제 문제해결 활동에서 학생들의 인지수준에 따른 상호작용 분석. 한국과학교육학회지, 22(1), 110-121.

문홍무, 최병순(1987). 고등학생의 지적 발달 수준과 화학 내용이 요구하는 조작 수준과의 관계 연구. 화학교육, 14(2), 116-127.

박금홍, 구양삼, 최병순, 신애경, 이국행, 고석범(2007). 연수에 참여한 교사들의 MBL실험에 대한 인식. 한국과학교육학회지, 27(1), 59-63.

박금홍, 구양삼, 최병순, 신애경, 이국행, 고석범(2008). 중학교 과학수업에서 MBL실험 수업의 효과. 한국과학교육학회지, 28(4), 331-339.

박상용, 박재근, 여상인(2006). 과학실험 수업에서 MBL의 적용이 초등학생의 학업성취도 및 과학관련 정의적 특성에 미치는 효과. 초등과학교육, 25(4), 454-464.

박종윤, 강순희, 김선영, 김성희, 김인주, 이자현(1993). 고등학교 화학 교과서 내용이 요구하는 과학적 사고력 수준과 학생들의 인지수준 비교연구(제1보). 대한화학회지, 37(4), 285-296.

백성혜, 김혜경, 채우기, 권균(1999). 학습 동기에 따른 학습자의 개념 변화 효과. 한국과학교육학회지, 19(1), 91-99.

신애경(2006). MBL 실험 수업의 소집단 활동에서 나타난 학생들의 언어적 상호작용 특성. 공주대학교 대학원 석사학위논문.

신영민, 김현경, 최병순(2010). 학습자의 인지수준 및 학습 동기 유형에 따른 자유주제 과학탐구의 효과 및 탐구 단계별 상호작용 특성. 30(5), 533-543.

유은희, 임희영, 강성주, 최병순(2008). MBL을 활용한 산-염기 적정 실험에서의 학생 간 언어적 상호작용에 대한 사례연구. 한국과학교육학회지, 28(1), 67-74.

임희준, 노태희(2001). 이질적으로 구성된 소집단 협동학습에서의 언어적 상호작용. 한국과학교육학회지, 21(4), 668-676.

최미화(2002). 'Thinking Science' 활동이 중학생의 인지 가속에 미치는 효과 및 인지 수준과 동기 유형에 따른 'Thinking Science' 문제 해결 과정 분

석. 한국교원대학교 대학원 박사학위논문.

홍현수(2001). 변인통제에 관한 과학 수업에서 학생들의 동기 수준에 따른 언어적 상호작용의 분석. 이화여자대학교 석사학위논문.

Adey, P., & Shayer, M.(1994). Really raising standards. Routledge: London and New York.

Anderman, E. M. & Young, A. J.(1994). Motivation and strategy use in science: Individual differences and classroom effects. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(8), 811-831.

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.

Lapp, D. A., & Cyrus, V. F.(2000). Using data-collection devices to enhance students' understanding. *Mathematics Teacher*, 93, 504-511.

Linn, M. C., & Songer, N. B.(1991). Teaching thermodynamics to middle school students: What are appropriate cognitive

demands? *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 885-918.

Nakhleh, M. B., & Krajcik, J. S.(1993). A protocol analysis of the influence of technology on students' actions, verbal commentary, and thought processes during the performance of acid base titrations. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1149-1168.

Nakhleh, M. B., & Krajcik, J. S.(1994). Influence on levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base, and pH concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1077-1096.

Roadrangka, V., Yeany, R. H., & Padilla, M. J.(1983). The construction and validation of group assessment of logical thinking(GALT). paper presented at the Annual Meeting of the NARST.

Settlage, J. Jr.(1995). Children' s conceptions of light in the context of a technology-based curriculum. *Science Education*, 79(5), 535-553.