



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

博士學位論文

전지의 연결방법에 따른 전류의
특성에 대한 초등교사들의 이해도
향상 프로그램 개발 및 적용

濟州大學校 大學院

初等科學教育學科

姜 旻 錫

2012 年 8 月

전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도 향상 프로그램 개발 및 적용

指導教授 申 愛 景

姜 旻 錫

이 論文을 教育學 博士學位 論文으로 提出함

2012年 8月

姜旻錫의 教育學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ (인)

委 員 _____ (인)

委 員 _____ (인)

委 員 _____ (인)

委 員 _____ (인)

濟州大學校 大學院

2012 年 8 月

Development and Application of Understanding
Improvement Program for Elementary Teachers
about the Characteristics of Currents according to
the Connection Methods of Batteries

Min-Seog Kang

(Supervised by professor Ae-Kyung Shin)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of Doctor of Philosophy in Education

2012. 8.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Dong-Geul Hyun, Prof. Department of Elementary Science Education

(Name and signature)

Date

Department of Elementary Science Education
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

I. 서 론	1
1. 연구의 필요성 및 목적	1
2. 연구내용	3
3. 용어의 정의	4
1) 학습개념	4
2) 분화개념	4
3) 개념 이해도	5
4. 연구의 제한점	5
II. 이론적 배경	6
1. 과학 교과서에 제시된 전지 연결 방법에 따른 전류의 특성 내용 분석	6
1) 초등학교 과학 교과서에 나타난 전지 연결 방법에 따른 전류의 특성에 대한 내용	6
2) 중학교 과학 교과서에 나타난 전지 연결 방법에 따른 전류의 특성에 대한 내용	7
3) 고등학교 과학 교과서에 나타난 전지 연결 방법에 따른 전류의 특성에 대한 내용	8
2. 선행연구	9
1) 전기회로 및 전류 개념에 관련 선행연구	10
2) 전지관련 실험수업의 어려움 관련 선행연구	14
3) 개념변화 관련 선행연구	15
3. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성	17
4. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도	19

Ⅲ. 연구 절차 및 방법	23
1. 연구 절차	23
2. 연구방법	27
1) 대상	27
2) 검사도구	28
3) 자료 수집 및 분석	34
Ⅳ. 프로그램 개발	35
1. 프로그램 개발의 근거	35
2. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램 개발 모형	38
3. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램의 구체화	39
1) 프로그램 워크시트 개발틀	39
2) 프로그램의 내용 흐름도	40
3) 전기회로의 구성	44
4) 워크시트 작성용 엑셀파일	48
4. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램	54
1) 관찰 및 문제 파악 단계	55
2) 자료제시 및 관찰 탐색 단계	56
3) 자료 추가 제시 및 관찰 탐색 단계	60
4) 규칙성 발견 및 개념 정리 단계	62
5) 적용 및 발전 단계 1	64
6) 적용 및 발전 단계 2	68
7) 적용 및 발전 단계 3	70

V. 프로그램의 실제 77

1. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역의 실험 78

 1) 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지를 직렬연결한
 전기회로에서 전류의 크기 변화 실험 79

 2) 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지를 병렬연결한
 전기회로에서 전류의 크기 변화 실험 86

2. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역의 실험 91

 1) 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지를 직렬연결한
 전기회로에서 전류의 크기 변화 실험 92

 2) 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지를 병렬연결한
 전기회로에서 전류의 크기 변화 실험 98

VI. 프로그램의 효과 105

1. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도 변화 105

 1) 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해상태 분석 105

 2) 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해수준 분석 106

2. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 하위영역별 이해도 변화 107

 1) 저항에 대한 인식 영역의 이해도 분석 107

 2) 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역의 이해도 분석 112

 3) 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역의 이해도 분석 134

3. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해도 분석 153

 1) 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해상태 분석 153

 2) 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해수준 분석 156

VII. 결론 및 제언	161
1. 결론	161
1) 전지의 연결방법과 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램 개발	161
2) 전지의 연결방법과 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도 변화	162
2. 제언	164
참고문헌	165
ABSTRACT	173
부 록	175

표 목차

표 II-1.	초등교사들의 전지의 연결방식과 전류의 특성에 대한 이해유형	22
표 III-1.	전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램 개발에 대한 과학교육학자들의 검토 내용	25
표 III-2.	전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램 예비 투입 후 과학교육학자들의 검토 내용	26
표 III-3.	프로그램 예비투입 교사 정보	27
표 III-4.	프로그램 본투입 교사 정보	28
표 III-5.	개념검사지의 구성	29
표 III-6.	동형검사지의 구성	30
표 III-7.	전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해수준 분석틀 위계도 · 31	
표 IV-1.	프로그램 워크시트 개발틀	40
표 IV-2.	프로그램 워크시트의 내용	43
표 V-1.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결시 전류와 나침반 자침 변화 각도 측정 워크시트	79
표 V-2.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항 워크시트	82
표 V-3.	내부저항이 없는 전지를 직렬연결한 전기회로의 전류계산값	85
표 V-4.	내부저항이 있는 전지를 직렬연결한 전기회로의 전류계산값	86
표 V-5.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 병렬연결시 전류와 나침반 자침 변화 각도 측정 워크시트	87
표 V-6.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 병렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항 워크시트	89
표 V-7.	부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결시 전류와 나침반 자침 변화 각도 측정 워크시트	93
표 V-8.	부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항 워크시트	95

표 V-9. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 병렬연결시 전류와 나침반 자침 변화 각도 측정 워크시트	99
표 V-10. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 병렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항 워크시트	102
표 VI-1. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해상태 ·	106
표 VI-2. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해수준 ·	107
표 VI-3. 전지의 내부저항에 대한 1번 문항의 인식 분석	109
표 VI-4. 전구와 전선의 저항의 크기에 대한 2번 문항의 이해수준 분석틀	110
표 VI-5. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 3번 문항의 이해수준 분석틀	114
표 VI-6. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 5번 문항의 이해수준 분석틀	119
표 VI-7. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류 특성에 대한 7번 문항의 이해수준 분석틀	123
표 VI-8. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류 특성에 대한 9번 문항의 이해수준 분석틀	127
표 VI-9. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 11번 문항의 이해수준 분석틀	131
표 VI-10. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 4번 문항의 이해수준 분석틀	135
표 VI-11. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 6번 문항의 이해수준 분석틀	139
표 VI-12. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류 특성에 대한 8번 문항의 이해수준 분석틀	142
표 VI-13. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류 특성에 대한 10번 문항의 이해수준 분석틀	146

표 VI-14. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 12번 문항의 이해수준 분석틀	150
표 VI-15. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해상태 및 이해수준의 단계	153
표 VI-16. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해상태	155
표 VI-17. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해수준	157

그림 목차

그림 II-1.	2007 개정 초등학교 5학년 1학기 과학교과서에서 전지의 직렬연결과 병렬연결을 소개한 그림	6
그림 II-2.	2007 개정 중학교 3학년 과학교과서에서 전지의 직렬연결과 병렬연결을 소개한 그림	7
그림 II-3.	2007 개정 고등학교 물리II 교과서에서 전지의 직렬연결과 병렬연결을 소개한 그림	8
그림 III-1.	연구의 절차	24
그림 IV-1.	권재술의 개념변화 모형	36
그림 IV-2.	전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램 개발 모형 ..	38
그림 IV-3.	프로그램 흐름도	42
그림 IV-4.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결 전기회로도	45
그림 IV-5.	부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결 전기회로도	45
그림 IV-6.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 병렬연결 전기회로도	46
그림 IV-7.	부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 병렬연결 전기회로도	46
그림 IV-8.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결 전기회로의 모습	46
그림 IV-9.	부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결 전기회로의 모습	47
그림 IV-10.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 병렬연결 전기회로의 모습	47
그림 IV-11.	부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 병렬연결 전기회로의 모습	48

그림 IV-12. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 전류 크기 및 나침반 각도 예상값과 측정값을 입력한 엑셀파일	49
그림 IV-13. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 입력한 전류값을 통해 자동 작성된 전류 변화 그래프	50
그림 IV-14. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 입력한 나침반 각도를 통해 자동 작성된 각도 변화 그래프 ..	50
그림 IV-15. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 부하저항, 전지의 내부저항이 자동 계산된 엑셀파일	51
그림 IV-16. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 자동 작성된 전지의 기전력 크기 변화 그래프	52
그림 IV-17. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 자동 작성된 전류 크기 변화 그래프	52
그림 IV-18. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 자동 작성된 총저항 크기 변화 그래프	53
그림 IV-19. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 자동 작성된 부하저항과 전지의 내부저항 크기 변화 그래프 ..	53
그림 IV-20. 안내된 발견 수업의 단계와 POE, 프로그램 내용과의 관계	54
그림 IV-21. 전구가 연결된 나침반 자침 변화 실험 전기회로	55
그림 IV-22. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에 전류가 흐를 때 나침반의 자침의 움직임 예상하기 단계	55
그림 IV-23. 나침반 자침 각도 변화 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계	56
그림 IV-24. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 직렬연결 및 전류계 사용법 관련 지식 및 탐구방법 안내 자료 ..	57
그림 IV-25. 단일전지를 연결한 나침반 자침의 변화각도 실험	57
그림 IV-26. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 직렬연결시 전류의 크기 및 자침 변화량 예상하기 단계	58
그림 IV-27. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험시 필요한 전지의 기전력과 단자전압, 전압계에 대한 지식 및 탐구방법 안내 자료	58

그림 IV-28. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험시 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 변화 각도 관찰하기 단계	59
그림 IV-29. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계	59
그림 IV-30. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 병렬연결 관련 지식 및 탐구방법 안내 자료	60
그림 IV-31. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 병렬연결시 전류의 크기 및 자침 변화량 예상하기 단계	60
그림 IV-32. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 병렬연결 실험시 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 변화 각도 관찰하기 단계	61
그림 IV-33. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 병렬연결 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계	61
그림 IV-34. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 관련 지식 및 탐구방법 안내 자료 ..	62
그림 IV-35. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로	63
그림 IV-36. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전류가 흐를 때 나침반의 자침의 움직임 예상하기 단계	63
그림 IV-37. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 나침반 자침 각도 변화 실험 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계	64
그림 IV-38. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 직렬연결 관련 지식 및 탐구방법 안내 자료	65

그림 IV-39. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 직렬연결시 전류의 크기 및 자침 변화량 예상하기 단계	65
그림 IV-40. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험시 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 변화 각도 관찰하기 단계	66
그림 IV-41. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 나침반의 각도 조정 자료	67
그림 IV-42. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계	68
그림 IV-43. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 병렬연결 관련 지식 및 탐구방법 안내 자료	69
그림 IV-44. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 병렬연결시 전류의 크기 및 자침 변화량 예상하기 단계	69
그림 IV-45. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 병렬연결 실험시 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 변화 각도 관찰하기 단계	70
그림 IV-46. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 병렬연결 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계	70
그림 IV-47. 전지의 내부저항과 부하저항 그리고 옴의 법칙과 키르히호프의 법칙 관련 지식 및 탐구방법 안내자료	71
그림 IV-48. 전지의 내부저항과 부하저항을 구하는 식과 저항의 직렬연결 병렬연결시 전체 저항과 부분저항과의 관계와 관련된 지식 및 탐구방법	72
그림 IV-49. 전지의 개수가 증가할수록 전류의 증가량이 감소하는 이유를 파악할 수 있는 보충자료	74

그림 IV-50. 전구가 연결된 회로에서 전지의 내부저항과 부하저항의 크기 비교 및 전지를 직렬로 연결할 때와 병렬로 연결할 때 전류의 크기 변화 예상하기	75
그림 IV-51. 전구대신 50cm 길이의 전선이 연결된 회로에서 전지의 내부저항과 부하저항의 크기 비교 및 전지를 직렬로 연결할 때와 병렬로 연결할 때 전류의 크기 변화 예상하기	76
그림 IV-52. 전류가 흐르는 전선 주위의 자기장 실험이 잘 되지 않는 원인 파악하기	76
그림 V-1. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기 변화 그래프	78
그림 V-2. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 전류변화 그래프	80
그림 V-3. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 나침반 각도변화 그래프	80
그림 V-4. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 기전력의 크기 변화 그래프	82
그림 V-5. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 전류의 크기 변화 그래프	83
그림 V-6. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 총저항의 크기 변화 그래프	83
그림 V-7. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항의 크기 변화 그래프	84
그림 V-8. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 전류변화 그래프	87
그림 V-9. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 나침반 각도변화 그래프	88
그림 V-10. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 기전력의 크기 변화 그래프	89
그림 V-11. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 전류의 크기 변화 그래프	90

그림 V-12. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 총저항의 크기 변화 그래프	90
그림 V-13. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항의 크기 변화 그래프	91
그림 V-14. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기 변화 그래프	92
그림 V-15. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 전류변화 그래프	94
그림 V-16. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 나침반 각도변화 그래프	94
그림 V-17. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 기전력의 크기 변화 그래프	96
그림 V-18. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 전류의 크기 변화 그래프	96
그림 V-19. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 총저항의 크기 변화 그래프	97
그림 V-20. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항의 크기 변화 그래프	97
그림 V-21. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 전류변화 그래프	99
그림 V-22. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 나침반 각도변화 그래프	100
그림 V-23. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 기전력의 크기 변화 그래프	102
그림 V-24. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 전류의 크기 변화 그래프	103
그림 V-25. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 총저항의 크기 변화 그래프	103
그림 V-26. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항의 크기 변화 그래프	104

그림 VI-1.	전구와 전선의 저항의 크기에 대한 2번 문항의 사전사후 이해상태	· 111
그림 VI-2.	전구와 전선의 저항의 크기에 대한 2번 문항의 사전사후 이해수준	· 112
그림 VI-3.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 3번 문항의 사전사후 이해상태	..... 117
그림 VI-4.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 3번 문항의 사전사후 이해수준	..... 117
그림 VI-5.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 5번 문항의 사전사후 이해상태	..... 121
그림 VI-6.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 5번 문항의 사전사후 이해수준	..... 121
그림 VI-7.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 7번 문항의 사전사후 이해상태	..... 125
그림 VI-8.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 7번 문항의 사전사후 이해수준	..... 125
그림 VI-9.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 9번 문항의 사전사후 이해상태	..... 129
그림 VI-10.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 9번 문항의 사전사후 이해수준	..... 129
그림 VI-11.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 11번 문항의 사전사후 이해상태	..... 133
그림 VI-12.	부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 11번 문항의 사전사후 이해수준	..... 133
그림 VI-13.	부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 4번 문항의 사전사후 이해상태	..... 137

그림 VI-14. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 4번 문항의 사전사후 이해수준	137
그림 VI-15. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 6번 문항의 사전사후 이해상태	140
그림 VI-16. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 6번 문항의 사전사후 이해수준	140
그림 VI-17. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 8번 문항의 사전사후 이해상태	144
그림 VI-18. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 8번 문항의 사전사후 이해수준	144
그림 VI-19. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 10번 문항의 사전사후 이해상태	148
그림 VI-20. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 10번 문항의 사전사후 이해수준	148
그림 VI-21. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 12번 문항의 사전사후 이해상태	152
그림 VI-22. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 12번 문항의 사전사후 이해수준	152
그림 VI-23. 교사별 사전사후 전지의 연결방법과 전류의 특성 이해상태 변화	155
그림 VI-24. 교사별 사전사후 전지의 연결방법과 전류의 특성 상위 질적 이해수준의 변화	159
그림 VI-25. 교사별 사전사후 전지의 연결방법과 전류의 특성 중위 질적 이해수준의 변화	159
그림 VI-26. 이해상태와 이해수준에 따른 초등교사들의 이해도 분포	160

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

과학교사의 과학교과교육학에 대한 지식은 과학 내용 지식, 학생에 대한 지식, 과학과 교수학습방법에 대한 지식 등이 있다(Ball & McDiarmid, 1990; Carlsen, 1987; Tobin & Garnett, 1988). 교사가 과학 내용 지식에 대한 이해가 부족하게 되면 교사 자신의 과학교과교육학 지식의 발달에 저해가 되고(임청환, 1999; Shulman, 1987), 과학교수활동에 부담과 어려움을 느끼게 되어 학생들의 과학 학습 과정과 결과에도 좋지 않은 영향을 미치게 된다(이재천 등, 1997).

실제 우리나라의 많은 교사들이 과학 내용 지식의 부족으로 인하여 과학과 수업에서 어려움을 겪고 있으며(윤혜경, 2004; 이수아 등, 2007; 이재천 등, 1997; 최선영과 노석구, 2008), 전지를 사용하는 실험들에서도 교사들의 과학 내용 지식의 부족으로 과학수업에서 어려움을 겪고 있다. 그 예를 살펴보면, ‘전류가 흐르는 전선 주변에 나침반 자침의 각도 변화 관찰이 어렵다’, ‘전자석의 에나멜선의 감은 수를 달리해도 전자석이 세지지 않는다’, ‘전자석 주위에 철가루 관찰이 어렵다’, ‘전지를 직렬연결하여도 전자석의 세기가 세지지 않는다’ 등으로 나타난다(강진필, 2004; 박종욱과 김선자, 1996; 윤혜경, 2004; 이미경, 2007; 정수현, 2005). 이처럼 전지와 관련된 실험수업에서는 실험결과가 ‘예상과는 다르게’, ‘명확하지 않게’, ‘이론과는 다르게’ 나타나는 현상이 발생한다. 이러한 문제들이 발생하는 경우 초등교사들은 관련 과학지식의 부족으로 인하여 적절히 대처하지 못하고 있으며(윤혜경, 2004; 이미경, 2007; 이수아 등, 2007), 이런 현상들의 원인을 실험도구의 불량이나 전지 수명의 차이 등 실험상의 오류로만 간주하여 왔다(강진필, 2004; 김양균, 2002; 박종욱과 김선자, 1996; 이미경, 2007; 정수현, 2005). 그러나 이러한 문제들의 원인들을 현장 초등교사들이 주장해 온 불량한 실험상의 오류에서 찾기보다는 실험의 구조적인 면이나 방법적 면에서 그 요인을 찾아야 할 것이다.

최근 현동걸 등(2011a, 2011b)은 전류와 자기장 관련 실험수업에서 나타나는

문제들은 전선에 흐르는 전류의 크기가 너무 작기 때문에 발생한다는 것을 밝혔다. 즉, 전류의 크기가 너무 작아 전선 부근에 놓인 나침반의 자침의 변화를 관찰할 수 없으며, 또한 전자석에서는 충분한 개수의 핀을 끌어당길 수 없다는 것이다. 그리고 보다 큰 자기장을 형성시키기 위하여 전지를 직렬연결하여 그 수를 증가시키는 경우에도 전류의 크기가 크게 변하지 않아 ‘예상하는 실험결과’를 얻기 어렵다는 것이다. 이처럼 전류의 크기가 충분하지 못하고 또한 전지를 직렬연결하여도 전류의 크기가 크게 변하지 않는 것은 전지를 전력원으로 하는 전기회로에서 전류의 크기는 전지의 연결방법, 전지의 기전력, 연결하는 전지의 수, 전지의 내부저항의 크기, 부하저항의 크기, 그리고 두 저항의 상대적 크기에 의하여 결정되기 때문이다(현동걸, 2010).

우리나라에서 과학과 교육과정에서 전지의 연결에 대하여 학습된 개념은 ‘전지를 직렬연결하면, 전류는 증가한다. 그리고 전지를 병렬연결하면 전지수에 상관없이 전류는 일정하다’라고 정리할 수 있다. 그러나 현동걸과 박상우(2012)는 전구를 사용하여 부하저항이 내부저항보다 큰 회로의 경우에는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성은 지금까지 과학과 교육과정에서 학습되어 온 내용과 일치하지만, 전구를 사용하지 않아 부하저항이 내부저항보다 작은 회로의 경우 내부저항의 영향이 크게 작용하여 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성은 지금까지 과학과 교육과정에서 학습되어 온 내용으로는 설명할 수 없다고 하였다. 따라서 현동걸(2010)은 전지관련 실험 수업에서 나타나는 문제를 바르게 인식하고 해결하기 위해서 지금까지 과학과 교육과정에서 다루어지는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 개념의 확장을 제안하였다.

신애경 등(2012a, 2012b)이 현동걸(2010)이 제안한 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도를 조사한 결과, 전지의 내부저항을 인식하는 교사와 전선을 저항으로 인식하는 교사의 비율이 매우 낮았다. 그리고 교육과정에서 학습한 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서의 이해도는 비교적 높은 반면 지금까지 교육과정에서 다루어지지 않은 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서의 이해도는 매우 낮았다. 전지관련 실험수업에서의 문제를 이해하기 위해서는 현동걸(2010)이 제안한 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해가 필수적이나 이에 대한 초등교사들의 이해도가 매우 낮으므로,

초등교사들을 대상으로 하는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램이 필요하다.

따라서 이 연구에서는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도를 향상시킬 수 있는 프로그램을 개발하고 적용한 후, 초등교사들의 이해도의 변화를 알아보고자 한다.

2. 연구내용

초등교사들의 전지의 연결 방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도를 향상시키기 위하여 연구내용을 다음과 같이 두 가지로 요약할 수 있다.

1) 전지의 연결방법과 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 개발한다.

전지관련 실험수업에서의 문제를 이해하기 위해서는 현동걸(2010)이 제안한 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해가 필수적이나, 신애경 등(2012a, 2012b)의 연구에 따르면 초등교사들의 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도는 낮았다. 따라서 이 연구에서는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도를 향상시킬 수 있는 프로그램을 개발하고자 한다.

2) 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 적용한 후 그 효과를 알아본다.

전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 초등교사들에게 적용한 후 그 효과를 두 가지 측면에서 살펴보고자 한다. 두 가지 측면은 양적 개념 이해도 변화인 이해상태의 변화와 질적 개념 이해도 변화인 이해수준의 변화이다. 문항별 분석에서는 각 교사별로 이해도 변화가 어떻게 일어났는지 확인할 수 없으므로, 교사별 프로그램 적용 효과도 살펴본다.

3. 용어의 정의

1) 학습개념(learning concept)

이 연구에서는, 전구가 연결된 전기회로와 같이 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 ‘직렬연결하는 전지의 수가 증가할수록 전기회로에 흐르는 전류의 크기는 증가하다가 일정해지며, 병렬연결하는 전지의 수에 관계없이 전류가 거의 일정하다’는 것을 과학교육에서 학습되어 온 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교과서 학습개념(textbook learning concept, 이하 학습개념이라고 표현함)이라고 정의한다. 학습개념(learning concept)은 우리나라뿐만 아니라 세계 여러 나라의 과학교육에서 학습되어야 할 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성이다(교육과학기술부, 2007a, 2007b; 교육인적자원부, 2002a, 2002b; 이광만 등, 2007; 이성묵 등, 2002, 2009, 2012a; 장준성 등, 2010; 채광표 등, 2010; Lee, 2007; Grace 등, 2008; 相場博明 등, 2011a, 2011b).

2) 분화개념(differentiated concept)

이 연구에서는, 전선만으로 연결된 전기회로와 같이 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 ‘직렬연결하는 전지의 수가 증가하여도 전기회로에 흐르는 전류의 크기는 거의 일정하며, 병렬연결하는 전지의 수가 증가할수록 전류의 크기는 증가하다가 일정해진다’는 것을 ‘분화 개념(differentiated concept)’이라고 표현하였다. 이 연구에서 ‘분화(differentiated)’라는 의미는 Ausubel(1979)의 유의미 학습 이론의 원리 중 점진적 분화의 원리(Progressive Differentiation)에서 사용된 ‘분화’와 조희형(2007)의 개념학습의 목적에서 언급한 ‘개념 분화과정을 통한 선행개념의 분화’에서 사용된 ‘분화’의 의미와 부합한다. Ausubel(1979)과 조희형(2007)이 사용한 ‘분화’의 의미는 개념이 상세화 또는 세분화되는 과정을 의미하며, 이 연구에서는 부하저항과 전지의 내부저항의 상대적인 크기를 기준으로 부하저항이 전지의 내부저항의 크기보다 큰 영역인 학습개념과 부하저항

이 전지의 내부저항보다 작은 영역인 분화개념으로 개념이 상세화 또는 세분화 되는 것을 의미한다.

3) 개념 이해도

이 연구에서 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도는 양적 이해도인 ‘이해상태’와 질적 이해도인 ‘이해수준’으로 구분하였다. 여기서 양적 개념 이해도인 ‘이해상태’는 검사도구의 점수를 의미한다. 그리고 질적 개념 이해도인 ‘이해수준’은 검사도구 문항의 답을 선택한 이유를 분석한 결과로, 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성을 이해한 수준을 의미한다.

4. 연구의 제한점

이 연구의 제한점은 다음과 같다.

첫째, 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 개념변화 프로그램을 개발하고 적용하여 개념변화를 살펴보는 연구에서 연구대상자들이 초등교사들을 대표하기 어렵기 때문에 일반화에 한계가 있다.

둘째, 프로그램을 통한 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도 향상은 사전사후 검사지와 워크시트 작성 내용으로 제한하여 분석하였다. 또한 연구의 여건상 지연검사를 실시하지 못하였으므로 프로그램 수행에서 나타나는 초등교사들의 개념 이해도 변화가 지속적으로 유지되는지 분석하지 못하였다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. 과학 교과서에 제시된 전지 연결 방법에 따른 전류의 특성 내용 분석

과학과 교육과정에서 전지의 연결 방법에 따른 전류의 특성에 대해 어떻게 표현하고 있는지 그리고 과학과 교육과정의 전기 단원에서 궁극적으로 학생들이 습득해야 할 옴의 법칙과 키르히호프의 법칙을 어떤 수준에서 제시하고 있는지를 알아보기 위해 초등학교, 중학교, 고등학교 교과서에 내용을 아래와 같이 분석하였다.

1) 초등학교 과학 교과서에 나타난 전지 연결 방법에 따른 전류의 특성에 대한 내용

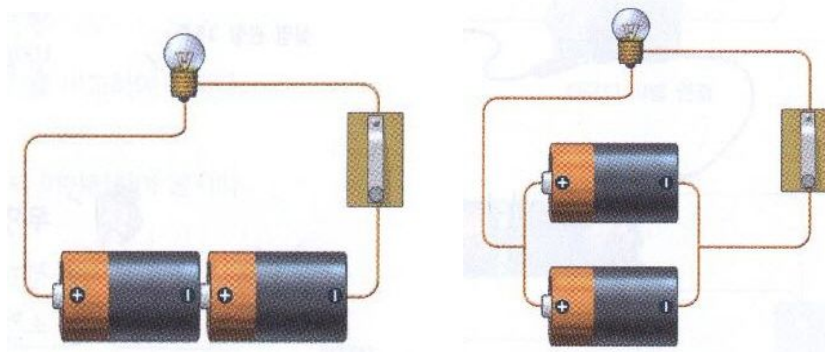


그림 Ⅱ-1. 2007 개정 초등학교 5학년 1학기 과학교과서에서 전지의 직렬연결과 병렬연결을 소개한 그림(교육과학기술부, 2007c)

2007 개정 교육과정 초등학교 5학년 1학기 과학 교과서 전기회로 단원에서는 그림 Ⅱ-1과 같은 그림을 통해 ‘전지 여러 개를 서로 다른 극끼리 한 길로 연결하는 방법을 전지의 직렬 연결이라고 하고, 전지 여러 개를 두 개 이상의 길로 연결하는 방법을 전지의 병렬 연결이라고 한다’라고 전지의 직렬연결과 병렬연결을 학생들에게 처음 소개한다. 전지를 전력원으로 사용하는 전기회로에서 전지들의 연결에 따른 전류의 특성에 대한 개념들은 초등학교 과학과 교육과정에서는

전지를 직렬연결한 전기회로와 전지를 병렬연결한 전기회로에 연결된 전구의 밝기를 관찰하고 비교하는 활동을 통하여 현상적인 이해의 수준에서 학습하게 된다(교육과학기술부, 2007a, 2007b; 교육인적자원부, 2002a, 2002b). 초등학교의 과학교육과정에서 전지들의 연결 방법에 대하여 학습되어야 할 개념은 ‘전지를 직렬로 연결했을 때가 전지를 병렬로 연결했을 때보다 전구의 밝기가 더 밝다’이다(교육과학기술부, 2007a; 교육인적자원부, 2002a).

이상의 내용을 통하여, 초등학교 과학과 교육과정에서는 전지를 직렬로 연결했을 때, 전구의 불빛은 단일 전지를 사용했을 때보다 밝아진다. 그러나 전지를 병렬로 연결하면 전구의 불빛의 밝기는 단일 전지를 사용할 때와 같다는 현상적 수준에서 옴의 법칙을 학생들에게 소개하고 있음을 확인할 수 있다.

2) 중학교 과학 교과서에 나타난 전지 연결 방법에 따른 전류의 특성에 대한 내용

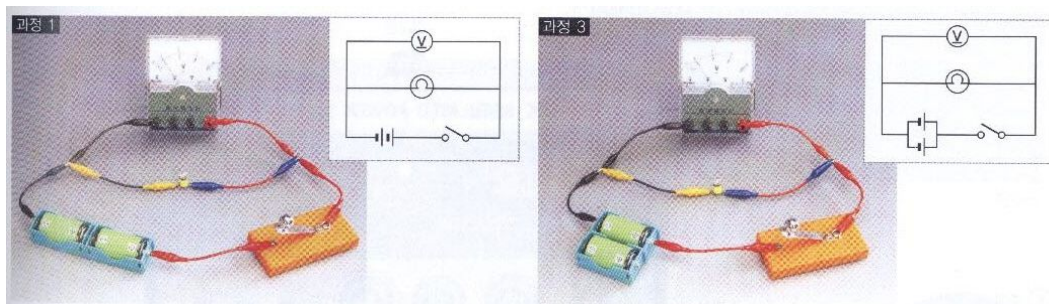


그림 II-2. 2007 개정 중학교 3학년 과학교과서에서 전지의 직렬연결과 병렬연결을 소개한 그림(이성목 등, 2012b)

2007 개정 교육과정 중학교 3학년 과학 교과서 전기 단원에서는 그림 II-2와 같은 그림을 통해 ‘전지를 직렬연결하면 전체 전압은 전지의 개수에 비례하여 커지고, 전지를 병렬연결하면 전체 전압은 커지지 않고 전지 한 개의 전압과 같다’라고 전지의 직렬연결과 병렬연결에 대해 소개한다. 중학교의 전기 관련 과학교육과정에서는 전류, 전압, 저항 등의 전기에 대한 기본 개념들을 습득하게 하는 과정에서 전기회로에 흐르는 전류와 단자전압을 변화시키기 위하여 전지의 연결

방법을 적용하여 그 개념을 학습하게 하고 있다. 중학교 과학과 교육과정에서 학습되어야 할 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 개념들은, ‘전지를 직렬로 연결할 경우 연결하는 전지의 수가 많을수록 전기회로의 단자전압이 높아지며, 전기회로에 흐르는 전류는 단자전압에 비례하여 커진다. 그러나 전지를 병렬로 연결할 경우에는 전지의 수에 관계없이 전기회로의 단자전압이 일정하여 전류도 일정하다’라고 정리할 수 있다(이광만 등, 2007; 이성묵 등, 2002, 2009, 2012a).

또한, 중학교 과학과 교육과정에서는 니크롬선에 흐르는 전류와 전압을 측정하는 실험을 통해 학생들에게 ‘도선에 흐르는 전류의 세기는 전압의 크기에 비례한다’는 사실을 알게 하고, ‘전류에 대한 전압의 비를 그 도선의 전기 저항 또는 저항이라고 한다’라고 옴의 법칙을 제시한다. 그리고 저항의 직렬연결 실험에서는 두 개의 저항에 걸리는 전압의 합은 전체전압과 같다는 현상적 수준에서 키르히호프의 제2법칙을 소개하고 있고, 저항의 병렬연결 실험에서는 병렬연결된 두 개의 저항에 흐르는 전류의 합은 전체 전류와 같다는 현상적 수준에서 키르히호프의 제1법칙 소개하고 있음을 확인할 수 있다.

3) 고등학교 과학 교과서에 나타난 전지 연결 방법에 따른 전류의 특성에 대한 내용

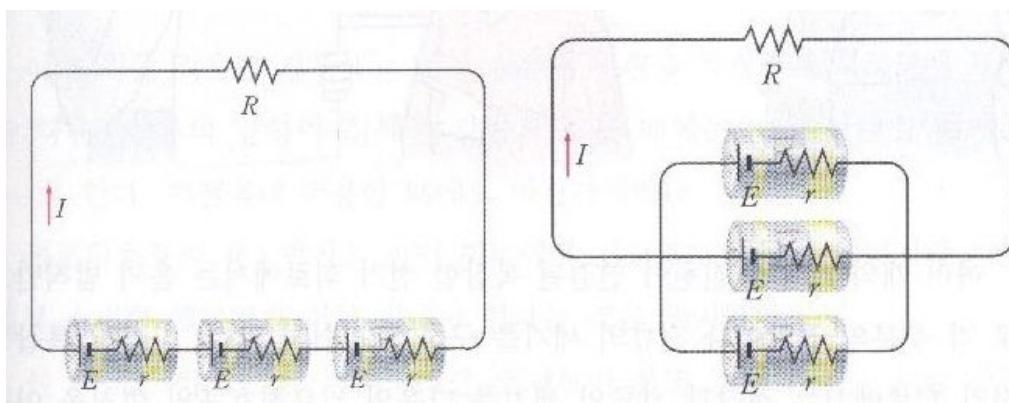


그림 II-3. 2007 개정 고등학교 물리II 교과서에서 전지의 직렬연결과 병렬연결을 소개한 그림(채광표 등, 2010)

2007 개정 교육과정 고등학교 물리Ⅱ 교과서 전기장과 전류 단원에서는 그림 Ⅱ-3과 같은 그림을 통해 ‘여러 개의 전지를 직렬로 연결하면 전체의 기전력은 각 전지의 기전력을 합한 것과 같으며, 전체의 내부저항도 각 전지의 내부저항을 합한 것과 같다. 그리고 여러 개의 전지를 병렬로 연결하면 전체의 기전력은 전지 한 개의 기전력과 같고, 내부저항은 감소한다’라고 전지의 직렬연결과 병렬연결에 대해 소개한다.

고등학교 과학과 교육과정에서는 전지의 기전력과 내부저항을 고려한 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 관련된 법칙을 제시하고 있다. 고등학교 과학과 교육과정에서 학습되어야 할 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 개념들은, ‘전지를 직렬로 연결하면 높은 기전력을 얻을 수 있지만 내부저항도 커지며, 전지를 병렬로 연결하면 큰 기전력을 얻을 수 없으나, 내부저항을 줄이는 효과를 낼 수 있다’라고 정리할 수 있다(장준성 등, 2010; 채광표 등, 2010). 또한 이와 관련하여, 여러 개의 저항과 전원이 연결된 복잡한 전기회로에서 전압이나 전류의 세기를 구하는 상황을 도입하며 키르히호프의 제 1법칙과 제 2법칙을 제시하고 있다.

이상의 분석을 통하여 초등학교와 중학교에서의 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성은 학습개념과 일치하고 있음을 확인할 수 있다. 그리고 고등학교에서도 전지의 내부저항과 기전력 개념으로 설명하고 있으나, 전지의 내부저항과 부하저항의 상대적 크기에 따른 전류의 특성을 고려하지 않기 때문에, 결국 과학과 교육과정에 제시된 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성은 용어의 정의에서 언급한대로 학습개념 수준으로 교과서에 제시되고 있음을 확인할 수 있다.

2. 선행연구

선행연구는 전기회로 및 전류 개념, 전지관련 실험수업의 어려움, 개념변화, 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성, 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도에 관한 내용으로 살펴본다.

1) 전기회로 및 전류 개념에 관한 선행연구

선행연구를 살펴본 결과 전지의 연결방법에 관련된 선행연구는 많지 않았다. 그래서 전지의 연결방법을 포함하여 전기회로, 전류 등으로 폭넓게 선행연구를 살펴보았고, 그 결과는 다음과 같다.

김찬호(1993)는 초등학교 교사들의 전류개념을 조사한 결과, 전기회로에서 전류의 오개념인 일정전류 모형, 소모성 모형, 분배 모형이 초등교사들에게 높게 분포하고 있다고 하였다. 특히 소모성 모형, 분배모형은 많은 수의 교사들이 선택하고 있으며 소모성 모형은 대부분의 교사들에게서 넓게 분포하고 있다고 하였다.

장병기와 신순임(1998)은 초등학교 교사들을 대상으로 전기회로에서 전류의 흐름에 대하여 조사한 결과, 전기회로에서 전류의 흐름에 대한 이해도가 초등학교들의 수준과 크게 차이가 없었다고 하였다. 초등교사들은 현상에 대해서는 잘 이해하고 있으나 전류의 흐름에 대해 정확히 이해하지는 못하고 있다고 하였다. 그리고 전류나 전압 또는 저항에 대한 기본적인 개념을 획득할 수 있는 경험을 제공하기 위해 전류계나 전압계를 사용하여 보이지 않는 전류나 전압을 측정해보는 경험이 필요하다고 하였다.

공은주(2004)는 초등학생을 대상으로 전원, 전기 회로, 도체와 부도체, 전지의 연결방법이라는 영역으로 구성된 전기개념을 향상시킬 수 있는 구성주의적인 수업이 전기개념 향상에 효과적이었다고 하며, 전지의 직렬연결과 병렬연결시 불의 밝기를 비교하는 문항들과 전지의 직렬연결과 병렬연결 방법을 구분하는 문항들에서 오개념이 개선되어 과학적 개념으로 향상되었다고 하였다.

전현주와 유병길(2004)은 초등학생들을 대상으로 전지의 직렬연결과 병렬연결에 대한 이해도를 조사한 결과, 초등학생들의 이해도는 100점 만점으로 환산하면 약 60점대로 높지 않았고, 특히 학생들은 전지의 연결방법을 구분할 때 회로 전체를 고려하지 못하고 일부분에 초점을 맞추고 있다고 하였다. 또한 학년과 성별에 따른 차이는 거의 없었다고 하였다.

장병기(2005)는 초등예비교사들이 전지와 전구의 수를 기준으로 하여 2개의 전구의 밝기를 비교하는 경향이 있다고 하면서, 전류나 전압이 각 전구에 나누어진

다는 분배개념과 전지에서 일정한 전류가 나온다는 전지 개념으로 설명하는 초등예비교사들이 많았던 결과는 초등학교 5학년 학생들의 결과(정미영 등, 2005)와 비슷한 수준이며 저항과 전압 개념을 전기회로에서 더 지도할 필요성이 있다고 하였다. 또한 정량적 이해를 통한 정성적 이해를 위해, 초등학교에서 전류계나 전압계를 도입하는 문제를 진지하게 고려되어야 한다고 하였다.

주혜은과 이문남(2005)은 중등 예비과학교사들을 대상으로 간단한 회로의 전구의 밝기를 비교하는 연구에서, 중등 예비과학교사들이 수용가능한 과학개념, 제한된 과학개념, 혼돈된 개념에 분포되었고, 기초개념과 고차원적인 물리개념에 대한 이해가 충분하지 못하여 간단한 회로에서 중요한 전류에 대한 개념이해가 부족하다고 하였다. 그리고 학생들과의 개념과는 다른 특징을 갖는 대안개념을 보여주는 중등 예비과학교사들의 개념들이 교사 교육 프로그램 개발에 반영되어야 한다고 하였다.

최은정(2006)은 초등교사들의 전지에 대한 이해도를 알아보고 오개념을 조사하였다. 초등교사들의 전지에 대한 이해도 평균 점수는 정답률이 약 40%로 낮았고, 전지에 대한 오개념을 분석한 결과 전지들의 역병렬 연결과 역직렬 연결에서 전류가 흐르지 않는다는 오개념과 옴의 법칙을 잘못 적용하는 오개념이 높은 비중을 차지한다고 하였다. 그리고 이 연구에서는 전지를 내부저항과 기전력으로 구성되어 있어서 옴의 법칙이 직접 적용되지 않음을 많은 초등교사들이 이해하지 못하고 있으며, 이는 전지에 대한 내용이 우리 나라의 교육과정 전반에서 심도있게 다루어지지 않았기 때문이라고 하였다.

윤중록(2007)은 여러 유형의 전기회로 이해도 조사 결과 초등교사들의 이해도는 전반적으로 학생들보다는 조금 높았으나 정답률로는 약 60% 정도로 높지 않다고 하면서, 특히 전지와 전구가 혼합된 문항에서 이해도가 낮았다고 하였다. 또한 교사 특성별로 분류하여 전류개념에 대한 이해도의 차이가 있는지 알아보았으나 통계적으로 의미있는 차이는 없었다고 하였다. 그리고 초등교사들의 오개념 중 빈도수가 높은 오개념은 일정전류 모형과 소모성 모형이며, 빈도수가 적은 오개념은 순차적 흐름모형과 분배모형이라고 하였다.

김태일 등(2008)은 중학교 과학 교사들의 전기와 자기 개념 이해도는 100점 만점에 약 50점으로 높지 않았다고 하였다. 그리고 성별과 근무경력에서는 이해도

의 차이가 없었으나, 전공과목에서는 통계적인 이해도의 차이가 있다고 하였다. 즉, 물리과목 이외에 다른 과목을 전공한 과학교사들의 이해도가 물리과목을 전공한 과학교사들의 이해도보다 낮았다고 하였다. 또한 이해도가 높은 영역은 도체영역이었고, 부도체 영역에서의 이해도는 낮았다고 하였다.

최정호 등(2009)은 ‘전기’라는 용어를 일상적인 의미로 교과서에서 무의식적으로 사용하고 있는 현상이 중학생과 고등학생에게 올바르게 않은 전기에 대한 개념을 형성함을 지적하며, 중등교사에게 전기를 일상생활에서 올바르게 사용하는 예를 찾고, 전기의 과학적 정의와 비교해보는 교수법을 제안하였다.

한용희(2009)는 전지에 연결방법에 대한 초등학교 교과 내용을 설명방식 및 정의유형으로 분석하였고, 분석결과는 각 교육과정에 따라 설명방식과 정의유형에 차이가 있었다. 초등교사와 초등예비교사들 중 전지의 연결방법에 대한 명확한 지식을 가지고 있는 교사는 13%로 나타났으며, 이는 전지의 연결방법에 대한 초등교사들과 초등예비교사들의 지식이 낮다는 것을 의미하며 이와 관련된 교사교육이 필요함을 시사한다고 하였다. 교사들의 설명방식은 전지 극의 연결상태, 전류가 흐르는 경로, 전지의 배열상태, 전구의 밝기 등으로 나타났고, 정의 유형은 조작적 정의 유형이 많았다고 하였다.

이정숙(2010)은 초등교사들을 대상으로 전하이동을 강조한 튜토리얼을 개발하고 적용하였더니, 전기개념이 오개념에서 과학적 개념으로 변화하였다고 하였다. 특히 전하들의 움직임으로 전류와 전압 개념을 이해하였고, 전기회로에서 오래된 오개념인 소모 모형과 일정 전류 모형에 해당하는 부분에서 개념이 향상이 있었다고 하였다.

Shipstone(1984, 1985)은 전류에 대한 생각들을 몇 가지로 구분하였다. 전지의 한 쪽 극에만 전선을 연결해도 전구가 켜진다는 홀극 전류 모형과 전류는 전지의 양극에서 나와 전구에서 충돌하며 전구가 켜진다는 충돌모형, 같은 양의 전류가 분배되어 전구에 불이 켜진다는 분배모형, 전류가 한 쪽 방향으로 흐르기 때문에 점점 줄어든다는 일방적 비보존 모형이다. 영국의 학생들을 대상으로 전류에 대한 오개념 유형을 조사하였더니 과학적인 개념인 과학자적 모형은 연령이 증가할수록 높아지고, 충돌모형은 연령이 증가할수록 감소하며, 소모성 모형은 연령과 상관없이 많이 나타나고, 분배모형은 연령과 상관없이 가장 적게 나타난

다고 하였다.

Light(1987)는 중등학생들이 가지는 전기영역에서의 오개념을 다음과 같이 언급하였다. 첫째, 전구와 저항에서 전류는 소모된다고 생각한다. 둘째, 전지는 회로를 구성하는 전기소자들의 구성과 상관없이 항상 일정한 전류를 내보낸다고 생각한다. 셋째, 직렬연결과 병렬연결이라는 전지의 연결방식에서 회로를 구성하는 부분들이 서로 관련되어 있지 않고 부분적이며, 순서가 있다고 생각한다. 넷째, 전압보다 전류개념을 더 우선시 하고 두 개념 사이에는 관계가 없다고 생각한다. 그리고 Shipstone과 Light 이외에도 소모전류 모형, 순차 전류 모형, 분배 전류 모형 등의 오개념을 찾아낸 연구는 Osborne(1983), Gott(1984), Moreira(1987)의 연구 등이 있다.

Arnold와 Millar(1987)는 중등교사들은 학생들에게 전기회로를 가르치는 것은 쉽지 않다고 언급하고, 학생들은 전류, 전압, 저항 등 전기 학습을 위한 내용들이 관찰되기 어려운 것이기 때문에 전기 학습 지도가 어렵다고 하였다.

Küçükozer와 Demirci(2008)는 고등학교 물리교사 및 물리예비교사들을 대상으로 단순전기회로에서 전류이해도 검사를 실시한 결과, 고등학교 물리교사와 물리예비교사들은 비과학적인 개념과 대안개념들을 가지고 있는 것으로 나타났다고 하였다. 이는 초등학생 및 중고등학생들이 가지고 있는 비과학적인 개념들과 고등학교 물리교사 및 물리예비교사들의 비과학적인 개념에서 비슷한 부분이 있다는 것을 의미한다고 하였다.

이상의 연구들에서 교사 및 학생들의 전류 이해도는 높지 않았으며, 전기회로에서 전류와 관련한 많은 오개념을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 전지의 직렬연결과 병렬연결에서도 이해도가 높지 않다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성이 전지의 내부저항과 부하저항의 상대적 차이에 따라 달라진다는 시각으로 바라보는 연구와 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 개념 이해도를 향상시키는 프로그램을 개발하는 연구들이 부족했음을 알 수 있었다.

2) 전지관련 실험수업의 어려움 관련 선행연구

이 연구에서의 주제인 전지와 관련하여 전기회로에 전지를 연결하여 사용하는 실험수업에서 어떤 어려움이 있는지를 알아보기 위하여 아래와 같이 선행연구를 살펴보았다.

박종욱과 김선자(1996)는 초등교사들을 대상으로 실험수업에서 겪는 문제를 조사하는 연구에서, 전자석 주위에 철가루가 늘어선 모양이 뚜렷하지 못하다는 문제와 센 전자석을 만들기위해 전지를 직렬로 더 연결하지만 전자석에 붙는 핀의 개수가 별 차이가 나지 않는다는 문제점을 응답하였다고 하였다.

김양균(2002)은 초등학교 교사들을 대상으로 과학 실험수업에 대한 인식 및 실태 조사를 실시하는 연구에서, 전자석 주위에 철가루 관찰이 어려움과 전류가 흐르는 전선의 위와 아래에 놓은 나침반에서 자침이 움직임을 관찰하기 어렵다는 문제들을 초등교사들이 응답하였다고 보고했다.

강진필(2004)은 초등학교 교사들을 대상으로 전기단원 실험지도의 실태를 조사하는 연구에서, 전류가 흐르는 에나멜선 주위의 나침반 방향 관찰이 되지 않는 문제와 전자석의 세기를 크게하기 위한 실험에서 전지를 직렬연결하여도 전류의 크기가 별 차이가 없다는 문제가 있다고 초등교사들이 응답하였다고 보고했다.

정수현(2005)은 고리 모양으로 감은 에나멜선 주위에서 나침반 자침이 움직임을 관찰하기 어렵다는 문제가 있다고 초등교사들이 응답하였다고 보고했다. 그리고 문제점들을 범주별로 살펴보면 실험기구의 불량, 제작하기 어려운 간이 기구, 실험과정에서의 조작의 어려움, 실험결과가 너무 미세하게 나와서 실험결과를 확인하기 어렵다는 내용 등이 있었다.

이미경(2007)은 초등교사들을 대상으로 과학실험수업의 돌발상황에 대한 연구에서, 전류가 흐르는 전선 위와 아래에 나침반을 올려놓아도 나침반 바늘이 잘 움직이지 않는다는 돌발상황이 발생할 때, 교사들은 재실험하거나 관련 이론을 통해 결과를 설명한다고 응답하였다. 그리고 실험결과와 관찰이 쉽지 않다고 언급하였다.

이상의 전지 관련 실험수업에서의 어려움들에 대한 선행연구들에서의 공통점은 초등교사들이 이런 문제들의 원인을 실험기자재의 불량 또는 전지의 수명 등

으로 보고 있다는 점이다. 즉, 실험구성 자체의 문제가 아니라 실험도구와 재료의 문제로 파악하고 있는 초등교사들이 많다는 것이다.

3) 개념변화 관련 선행연구

단순히 검사도구에서의 점수인 양적 개념 이해도만으로 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도가 향상하였는지를 파악하기는 쉽지 않다. 왜냐하면 어떤 이해수준에서 정답을 선택하였고 또 정답을 선택하지 못했는지를 확인할 수 없기 때문이다. 따라서 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해수준 분석틀을 개발하여 프로그램에 참여한 초등교사들의 이해수준을 분석할 필요가 있다. 이렇게 분석틀을 이용하여 이해수준의 차이를 구분하는 것이 의미가 있는 활동인지를 알아보기 위하여 아래와 같이 개념변화와 관련된 선행연구를 살펴보았다.

Posner 등(1982)의 연구에서는 학생의 개념변화는 과학학습에서의 동화(assimilation)와 조절(accommodation) 중 조절에 해당하며, 여기서 조절을 Kuhn(1972)이 언급한 과학의 혁명적 변화에 비유하며 중심개념이 다른 개념으로 바뀌는 급격한 변화로 보았다. 또한 그들은 개념변화의 조건으로 기존 개념에 대한 불만족(dissatisfaction), 새로운 개념의 이해(intelligible), 그럴듯함(plausible), 유용함(fruitful) 이상 4가지 조건을 제안하였다.

과학의 개념변화를 진화적 관점에서 바라보는 Hewson과 Hennessey(1992)는 과학 개념변화를 ‘개념의 지위나 위상이 변화하는 것과 비슷하다’고 언급한다. 그들은 학생들의 개념변화 과정을 분석하고 학생들의 개념변화 과정은 Posner 등(1982)이 언급한 ‘조절’보다는 ‘동화’에 해당하는 개념적 포획(conceptual capture)에 해당한다고 하였다. 이는 기존개념이 완전히 폐기되고 새로운 개념으로 대체되는 것이 아니라 기존개념과 새로운 개념이 상호보완 하면서 조화롭게 새로운 개념을 받아들일 수 있다는 연구들과(Bliss & Ogborn, 1994; Duit, 1999; Wisser & Amin, 2001) 맥락을 같이 한다.

개념 내용이 변화가 아닌 존재론적 범주의 변화를 강조한 연구자들은(Chi 등, 1994; Chi & Roscoe, 2002) 비교적 개념변화가 쉽게 되는 개념을 선개념

(preconceptions)으로 개념변화가 잘 되지 않는 개념을 오개념(misconceptions)으로 구분하고, 사건이나 현상에 대한 공통적 속성을 범주화하고 추상화한 개념은 범주의 변화로 볼 수 있다고 하였다. 그들은 열이라는 개념을 ‘물질(matter)’이라는 범주에서 ‘과정(process)’이라는 범주로 이동하였을 때 개념의 변화가 일어난다고 언급하였다. 즉, 오개념에 해당하는 개념을 올바른 과학개념으로 변화시키기 위해서는 오개념이 포함되어 있는 존재론적인 범주를 변화시켜야 개념변화가 일어난다는 것이다.

그 이외의 개념변화와 관련된 연구는 개념체계를 틀이론/framework)과 특정이론(specific theory)으로 구성된 구조물로 바라보며 개념변화는 풍부함(enrichment)과 수정(revision)을 통해 일어난다(Vosniadou & Brewer, 1992; 1994, Vosniadou; 1994)는 연구와 개념 변화 유형을 약한 재구성과 강한 재구성으로 구분하여 개념이 설명하는 현상 범위와 설명의 변화를 강조한 연구(Carey, 1985) 등이 있었다.

이상의 연구들의 내용을 종합하면, 개념변화는 중요 내용이 완전히 변화하는 큰 의미에서부터 개념들 사이의 관계의 변화를 통하여 조화롭게 변화하는 좁은 의미, 그리고 존재의 범주라는 다른 차원에서의 변화와 현상의 변화를 통하여 개념변화가 일어나는 수준 등으로 각기 다른 수준에서의 개념변화가 있었다. 따라서 이 연구에서 개념들 사이의 관계의 변화라는 ‘개념의 지위나 위상이 변화’라는 입장으로 각 문항별로 이해수준의 변화를 살펴보는 것은 의미가 있는 활동이라 할 수 있다. 그리고 전기 회로 및 전류에 관한 선행연구에서도 각 문항별로 개념의 위상의 변화라는 관점으로 이해수준을 분석한 연구는 부족했으므로, 이 연구에서는 양적 개념 이해도인 ‘이해상태’와 질적 개념 이해도인 ‘이해수준’을 함께 살펴볼 것이다.

이상의 연구들을 살펴보면서 전지의 연결방법에 관한 연구는 매우 부족한 실정이며, 특히 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성이 전지의 내부저항과 부하저항의 상대적 차이에 따라 달라진다는 시각으로 바라보는 연구는 거의 이루어지지 않았다는 것을 알 수 있었다. 또한 전지 관련 실험시 나타나는 문제들을 지적하는 연구들은 있었지만 그 문제들의 원인을 분석하고 해결할 수 있는 연구들은 없었다는 것 또한 알 수 있었다.

현동걸(2010)과 현동걸 등(2011a, 2011b)은 전지의 연결방법에 따른 전류의 크기는 전지의 내부저항과 부하저항의 상대적 크기에 따라 달라진다고 하면서 전지관련 실험수업의 어려움 관련 선행연구들의 실험에서 나타나는 문제들의 원인을 밝히고 또한 그런 문제들을 해결할 수 있는 방법도 제안하였다. 현동걸(2010)과 현동걸 등(2011a, 2011b)의 연구의 내용을 살펴보면 다음의 내용과 같다.

3. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성

최근 현동걸 등(2011a, 2011b)은 전류와 자기장 관련 실험수업에서 나타나는 문제들을 파악하고 그 해결 방안을 제시하였다. 이들은 ‘전류와 자기장 관련 실험수업에서 나타나는 문제들의 주된 원인은 전선에 흐르는 전류의 크기가 너무 작은 것이며, 그로 인해 전선 부근에 놓인 나침반의 자침의 변화를 관찰할 수 있을 정도로 충분히 편향시킬 수 있는 세기의 자기장을 형성시키지 못한다’고 하였다. 그리고 전자석인 경우 에나멜선에 흐르는 전류의 세기가 충분한 개수의 핀을 끌어당길 수 있을 정도의 자기장을 형성시키지 못할 정도로 작다는 것이다. 또한 보다 큰 자기장을 형성시키기 위하여 전지를 직렬연결하여 그 수를 증가시키는 경우에도 전류의 크기가 작아 ‘예상하는 실험결과’를 얻기 어렵다고 하였다. 그리고 이러한 현상은 전지를 전력원으로 하는 전기회로에서 전류의 특성은 전지의 연결방법, 전지의 기전력, 연결하는 전지의 수, 전지의 내부저항의 크기, 부하저항의 크기, 그리고 두 저항의 상대적 크기에 의하여 결정되기 때문에 나타난다고 하였다(현동걸, 2010). 이를 좀더 자세히 설명하면 다음과 같다.

전지의 직렬연결 전기회로에서 전류의 특성은 전지의 내부저항의 크기보다 부하저항의 크기가 클 경우 직렬연결하는 전지의 수를 증가시킴에 따라 전류가 증가하다가 전지의 직렬연결의 한계전류에 수렴한다. 그리고 부하저항의 크기가 전지의 내부저항의 크기보다 작을 경우는 전지의 직렬연결의 한계전류에 빨리 수렴하여 직렬연결하는 전지의 수를 증가시켜도 거의 일정한 전류가 흐른다.

전지의 병렬연결 전기회로에서 전류의 특성은 부하저항의 크기가 전지의 내부

저항의 크기보다 클 경우, 전지의 병렬연결의 한계전류에 빨리 수렴되어 병렬연결하는 전지의 수를 증가시켜도 거의 일정한 전류가 흐른다. 그리고 부하저항의 크기가 전지의 내부저항의 크기보다 작을 경우는 병렬연결하는 전지의 수를 증가시키에 따라 전류가 증가하다가 병렬연결의 한계전류에 수렴한다.

그러나 제3차 교육과정 이래 과학교과서에 제시된 전기회로들을 살펴보면, 전지의 내부저항과 부하저항에 대한 인식이 전혀 없이 전기회로, 특히 전지의 직렬연결 또는 병렬연결 전기회로를 구성하고 있다(김영민, 1997; 최은정 등, 2006; 홍석인과 김현수, 2002). 현동걸(2010)의 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 전지의 직렬연결 전기회로와 병렬연결 전기회로에서 전류(I [A])는 전지의 기전력의 크기(E [V]), 전지의 수(n), 전지의 내부저항의 크기(r [Ω]), 부하저항의 크기(R [Ω]), 그리고 내부저항과 부하저항의 상대적 크기에 의하여 결정된다.

둘째, 전지의 직렬연결 전기회로에서 최대 흐를 수 있는 한계전류가 존재한다. 이 한계전류는 전지의 직렬연결의 한계전류(the limited current in a series connection of batteries: I_{Ls} [A])라고 하며, 전지의 내부저항의 크기 r [Ω]에 대한 전지의 기전력의 크기 E [V]의 비율인 $I_{Ls} = E/r$ 로 정의된다. 이는 직렬연결하는 전지의 수 n 이나 부하저항 R 에 관계없는 양이다.

셋째, 전지의 직렬연결 전기회로에서 전류 I_s 는 직렬연결하는 전지의 수 n 이 증가함에 따라 증가하며 한계전류 I_{Ls} 에 수렴한다. 부하저항 R 이 전지의 내부저항 r 보다 작을수록 빨리 수렴한다.

넷째, 전지의 병렬연결 전기회로에서 최대 흐를 수 있는 한계전류가 존재한다. 이 한계전류는 전지의 병렬연결의 한계전류(the limited current in a parallel connection of batteries: I_{Lp} [A])라고 하며, 부하저항의 크기 R 에 대한 전지의 기전력의 크기 E 의 비율인 $I_{Lp} = E/R$ 로 정의된다. 이는 병렬연결하는 전지의 수 n 이나 전지의 내부저항 r 에 관계없는 양이다.

다섯째, 전지의 병렬연결 전기회로에서 전류 I_p 는 병렬연결하는 전지의 수 n 이 증가함에 따라 증가하며 한계전류 I_{Lp} 에 수렴한다. 부하저항 R 이 전지의 내부저항 r 보다 클수록 빨리 수렴한다.

여섯째, 전지의 내부저항 r 과 부하저항 R 이 같을 경우, 즉 $r = R$ 인 경우에는 같은 전지의 수 n 을 연결한 전지의 직렬연결 전기회로에 흐르는 전류 I_s 와 병렬연결 전기회로에 흐르는 전류 I_p 는 같다, 즉 $I_s = I_p$ 이다.

일곱째, 부하저항 R 이 전지의 내부저항 r 보다 클 경우, 즉 $R > r$ 인 경우에는 같은 전지의 수 n 을 연결한 전지의 직렬연결 전기회로에 흐르는 전류 I_s 가 병렬연결 전기회로에 흐르는 전류 I_p 보다 크다, 즉 $I_s > I_p$ 이다.

여덟째, 부하저항 R 이 전지의 내부저항 r 보다 작을 경우, 즉 $R < r$ 인 경우에는 같은 전지의 수 n 을 연결한 전지의 직렬연결 전기회로에 흐르는 전류 I_s 가 병렬연결 전기회로에 흐르는 전류 I_p 보다 작다, 즉 $I_s < I_p$ 이다.

앞에서 언급한 현동걸(2010)의 연구결과에서 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성은 초등학교 교사들에게 생소한 내용이지만, 전지를 사용하는 실험에서 예상과 다른 결과가 나올 때 이를 설명할 수 있는 유용한 지식이다. 따라서 전지를 사용하여 과학 수업을 하는 초등교사들은 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대해 이해할 필요가 있다. 이와 관련하여 신애경 등(2012a, 2012b)은 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도를 조사하였고 그 결과는 다음의 내용과 같다.

4. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도

신애경 등(2012a, 2012b)의 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도와 관련된 선행연구의 내용을 요약하면 아래와 같다.

전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도를 조사하기 위한 연구대상은 초등교사 96명이었다. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도를 알아보기 위해 현동걸(2010)의 연구결과를 검토·분석한 후 12개 문항으로 구성된 검사도구를 사용하여 96명의 현직 초등교사들을

대상으로 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도를 조사한 결과는 다음과 같다.

첫째, 초등교사들의 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도는 11점 만점에 4.5점으로 정답률은 50%를 넘지 못하였다. 정답률이 높은 문항은 부하저항보다 전지의 내부저항이 큰 영역에 해당하는 학습개념의 문항들이었다. 정답률이 낮은 문항은 부하저항보다 전지의 내부저항이 작은 영역에 해당하는 분화개념과 저항에 대한 인식 영역의 문항에 해당하는 저항개념의 문항들이었다. 이러한 결과를 통해, 대부분의 초등교사들은 학습개념에 대해서는 대체로 잘 이해하고 있으나, 분화개념과 저항개념에 대해서는 잘 이해하지 못하고 있다는 점을 알 수 있었다.

둘째, 전지의 내부저항을 인식하는 초등교사들은 매우 적었고, 전선을 부하저항으로 인식하는 초등교사는 약 60% 정도였고, 부하저항인 전선과 전구의 저항의 크기까지도 인식하는 초등교사는 약 15% 정도에 불과했다. 대부분의 초등교사들은 전지의 내부저항에 대해 인식을 하지 못하고 있었기 때문에 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 경우에는 전지의 직렬연결에서 전지의 개수와 전류는 비례할 것이라는 오개념을 가지고 있었다. 즉, 기전력은 전지의 개수에 비례하지만, 전지의 내부저항으로 인하여 전류는 직렬연결한 전지의 개수에 비례하지 못하고 한계전류에 수렴한다는 사실을 약 65%의 초등교사들이 이해하지 못하고 있었다.

셋째, 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역인 학습개념의 문항들의 이해도가 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역인 분화개념의 문항들의 이해도보다 통계적으로 유의하게 높았고, 전지를 계속 직렬연결할 때의 전류의 특성을 물어보는 문항의 정답률이 낮았던 영향으로 병렬연결 영역의 이해도가 직렬연결 영역보다 통계적으로 유의하게 더 높았다. 그리고 과학에 흥미를 가지는 초등교사 집단과 흥미가 없는 초등교사 집단에서 모두 분화개념에 대해 잘 이해하지 못하고 있었다. 이는 초등교사 및 초등예비교사들에게 학습개념과 함께 분화개념을 교육해야할 필요성을 보여주는 결과로 여겨진다.

신애경 등(2012a, 2012b)의 연구에서 초등교사들의 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 조사 결과를 통해 분석된 초등교사들의 이해유형은 표

II-1과 같았다. 초등교사들의 이해유형은 저항에 대한 인식 영역에서는 전지의 내부저항과 전선의 저항에 대한 인식이 부족하였다. 이에 대해 자세히 살펴보면, ‘전지 자체에는 저항이 없다.’, ‘전기회로에 전구가 연결되지 않으면 전류가 흐르지 않는다.’, ‘전지에 어떤 부하저항을 연결하더라도, 회로에서 나오는 전류는 항상 일정하다.’ 등의 유형이 있었다(김진숙과 권성기, 2000; 김찬호, 1993; 박상우, 1991; 신애경 등, 2012a, 2012b; 최은정 등, 2006; 홍석인과 김현수, 2002).

학습개념에서는 전지를 다중직렬연결 했을 때 전류의 크기는 증가하다가 수렴한다는 인식이 부족하였으며(김영민, 1997; 김태일 등, 2008; 신애경 등, 2012a, 2012b; 정미영 등, 2005; 최은정 등, 2006), 5개 문항 모두에서 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 고려하지 않고 전지를 직렬연결하면 전류의 크기는 증가하고 전지를 병렬연결하면 전류의 크기는 일정하다고 생각하는 유형(신애경 등, 2012a, 2012b)이 많았다.

분화개념에서는 5개의 문항 모두에서 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 고려하지 않고 학습개념의 이해유형을 그대로 적용하고 있었다(신애경 등, 2012a, 2012b). 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역인 분화개념에서는 선행 연구가 없었기 때문에 선행연구와 비교할 수 없었지만, 저항에 대한 인식 영역과 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역인 학습개념에서의 이해유형은 선행연구에서 언급된 결과와 비슷하게 나타났다.

이상의 선행연구들을 살펴보면, 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도가 매우 낮은 상태이나 이를 향상시키는 프로그램과 관련된 선행연구는 부족했다. 따라서 이 연구에서는 전지관련 실험 수업에서 나타나는 문제를 바르게 인식하고 해결하기 위해서 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도를 향상시킬 수 있는 프로그램을 개발 및 적용하고 그 효과를 알아보고자 한다.

표 II-1. 초등교사들의 전지의 연결방법과 전류의 특성에 대한 이해유형

검사지의 영역	문항내용	이해유형
저항에 대한 인식영역	전지 내부저항	<ul style="list-style-type: none"> · 전지 자체에는 저항이 없다(신애경 등, 2012a, 2012b; 최은정 등, 2006; 홍석인과 김현수, 2002).
	전선의 부하저항	<ul style="list-style-type: none"> · 전기회로에 전구가 연결되지 않으면 전류가 흐르지 않는다(김진숙과 권성기, 2000; 박상우, 1991). · 전지에 어떤 부하저항을 연결하더라도, 회로에서 나오는 전류는 항상 일정하다(김찬호, 1993; 신애경 등, 2012a, 2012b)
부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역	전지 1개와 전지 2개 직렬연결 전기회로의 전류 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 전지의 직렬연결 전기회로에서의 전류는 부하저항의 크기에 관계없이 증가한다(신애경 등, 2012a, 2012b). · 전지의 병렬연결 전기회로에서의 전류는 부하저항의 크기에 관계없이 거의 일정하다(신애경 등, 2012a, 2012b).
	전지 여러 개 직렬연결시 전류의 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 전지의 직렬연결 전기회로에서 전류는 전지수에 비례하여 증가한다(김영민, 1997; 김태일 등, 2008; 신애경 등, 2012a, 2012b; 정미영 등, 2005; 최은정 등, 2006).
	전지 1개와 전지 2개 병렬연결 전기회로의 전류 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 전지의 직렬연결과 병렬연결을 혼동하여 사용한다(신애경 등, 2012a, 2012b).
	전지 여러 개 병렬연결시 전류의 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 전지의 연결방법에 대한 개념과 저항의 연결방법에 대한 개념을 혼동하여 적용한다(신애경 등, 2012a, 2012b).
부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역	전지의 직렬연결과 병렬연결의 전류 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 전지의 내부저항과 부하저항에 대한 인식이 없이 전지의 연결방법에 따른 전류에 대한 단편적인 이해를 한다(신애경 등, 2012a, 2012b).
	전지 1개와 전지 2개 직렬연결 전기회로의 전류 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 부하저항보다 내부저항이 큰 회로에서도, 전지 1개를 연결한 회로보다 전지 2개를 직렬 연결한 회로에서 전류가 더 크게 나온다(신애경 등, 2012a, 2012b).
	전지 여러 개 직렬연결시 전류의 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 부하저항보다 내부저항이 큰 회로에서도, 전지 여러 개를 직렬 연결하면 전류는 전지수에 비례하여 증가한다(신애경 등, 2012a, 2012b).
	전지 1개와 전지 2개 병렬연결 전기회로의 전류 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 부하저항보다 내부저항이 큰 회로에서도, 전지 1개를 연결한 회로와 전지 2개를 병렬 연결한 회로에서는 비슷한 크기의 전류가 나온다(신애경 등, 2012a, 2012b).
	전지 여러 개 병렬연결시 전류의 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 부하저항보다 내부저항이 큰 회로에서도, 전지 1개를 연결한 회로와 전지 여러 개를 병렬연결한 회로에서의 전류의 크기는 비슷하다(신애경 등, 2012a, 2012b).
	전지의 직렬연결과 병렬연결의 전류 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 부하저항보다 내부저항이 큰 회로에서도, 전지를 병렬 연결한 회로보다 전지를 직렬연결한 회로에서 더 큰 전류가 나온다(신애경 등, 2012a, 2012b).

Ⅲ. 연구 절차 및 방법

1. 연구 절차

이 장에서는 연구의 목적을 수행하기 위하여 그림 Ⅲ-1과 같은 절차로 연구를 수행하였다.

먼저 전지의 연결방법과 전류의 특성과 관련된 선행연구 및 문헌을 살펴보았다. 그리고 현동걸(2010)이 제안한 개념의 확장에 대하여 연구한 신애경 등(2012a, 2012b)의 초등교사들의 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 분석 결과를 통하여 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 관한 초등교사들의 이해유형을 확인하고 이를 참고하여 프로그램의 내용을 구성하였다. 인원은 팀당 3인 1조의 소집단 활동으로 구성하였다. 소집단 활동으로 구성한 이유는 이 프로그램에서 측정해야할 실험도구가 3가지인데 이들을 동시에 측정하기 위해서는 소집단으로 구성하는 것이 적절하기 때문이고, 또한 프로그램에 참여한 교사들이 다른 교사들과 프로그램에 관하여 토론하는 것이 교사들의 개념향상에 도움이 되기 때문이다(Bell & Gillbert, 1996). 그리고 수행시간은 3시간 정도로 구성하였으며, 수행자 중심으로 진행하도록 하였다. 프로그램의 내용타당도 검증은 과학교육학자의 검토와 현직 교사의 검토, 예비투입후 과학교육학자의 검토 이상 3단계로 실시하였다.

먼저 과학교육전문가 3인과 물리교육전문가 1인이 표 Ⅲ-1과 같이 프로그램의 내용 타당도를 검토하였다. 내용타당도 검증을 통해 프로그램 내용과 실험도구, 내용의 흐름 및 프로그램에 대한 안내 사항 등의 내용을 수정하였다. 그리고 현직 교사의 검토는 4명의 교사와 함께 프로그램의 내용을 살펴보면서, 진술문이 프로그램을 수행하는 교사들에게 이해가 잘 되는지, 진술문의 내용이 교사들의 개념이해에 도움이 되는지 등 프로그램 내용의 난이도 검토 및 투입 가능성을 중점적으로 점검하였다.

그리고 초등교사 12명에게 예비투입을 실시하였다. 예비투입시 나타난 문제점에 대하여 과학교육전문가 3인과 물리교육전문가 1인이 표 Ⅲ-2와 같이 프로그

램의 내용 타당도를 검증하였고, 그 내용을 바탕으로 프로그램을 수정하여 완성하였다.

프로그램을 시작하기 전에 동형검사지로 사전검사를 실시하였고, 3인 1조로 3시간동안 프로그램을 진행하였다. 그리고 사후검사로 개념검사지를 실시하고, 사전검사, 사후검사, 프로그램 워크시트 작성 내용을 통하여 초등교사들의 이해도 변화를 분석하였다.

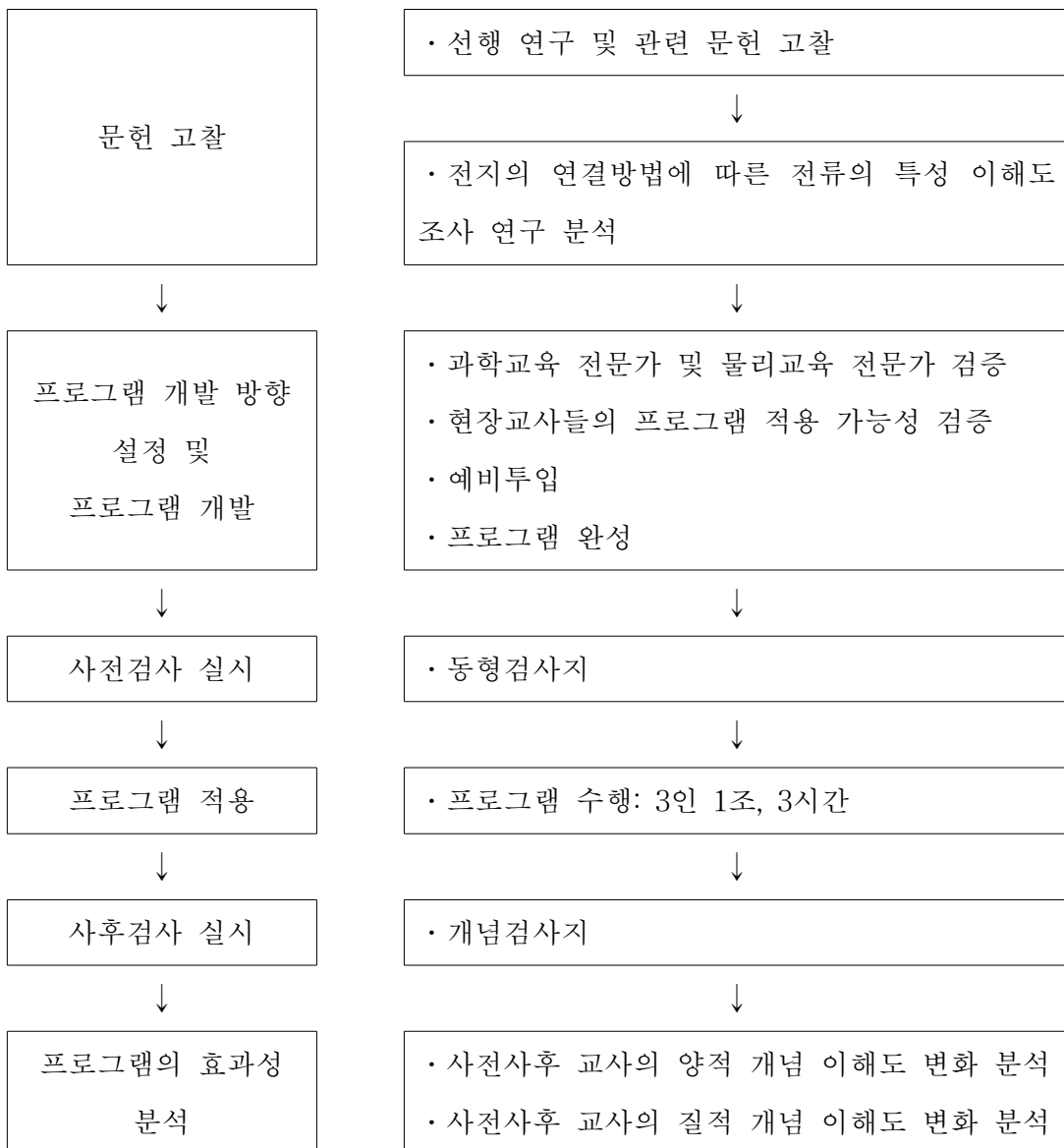


그림 III-1. 연구의 절차

표 III-1. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램 개발에 대한 과학교육학자들의 검토 내용

프로그램의 내용	검토의견
과학교과서에 제시된 전구를 사용하는 나침반 각도 변화실험	<ul style="list-style-type: none"> · 정말 각도 변화가 적은지 확인이 필요함. · 전구의 규격의 차이 때문에 나침반 각도 변화가 적은 것은 아닌지 검토해야 함. · 나침반은 전선 위에 있어야 측정하기 쉬울 것 같음. · 나침반은 교과서에 제시된 나침반처럼 초등학교 실험에서 가장 보편적으로 사용하는 나침반을 사용하는 것이 좋겠음.
전구를 사용하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지를 직렬로 6개까지 연결하면서 전류의 크기를 측정하는 실험	<ul style="list-style-type: none"> · 전구의 규격은 전압을 고려하여, 9V-0.15A 규격을 사용하는 것이 좋겠음. · 전선은 가능한 길이가 짧고 깨끗한 전선을 사용하는 것이 좋겠음.
전구를 사용하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지를 병렬로 6개까지 연결하면서 전류의 크기를 측정하는 실험	<ul style="list-style-type: none"> · 전지를 병렬로 연결하면 전압이 증가하지 않는다는 것을 이미 알고 있는 초등교사들에게 왜 이런 실험을 실시해야 하는지를 이해시킬 수 있는 설명이 필요함.
전구를 사용하지 않아 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지를 직렬로 6개까지 연결하면서 전류의 크기를 측정하는 실험	<ul style="list-style-type: none"> · 전지의 내부저항이 비슷한 전지를 사용하는 것이 좋겠음. · 전류와 단자전압을 측정하는 시점을 정확히 알려주는 것이 좋겠음. · 전지의 내부저항을 고려하여 전지를 하나씩 더 연결하여 실험할 때에는 조금씩 시간 간격을 두어 전지 속의 내부저항이 줄어드는 시간을 주는 것이 좋겠음.
전구를 사용하지 않아 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지를 병렬로 6개까지 연결하면서 전류의 크기를 측정하는 실험	<ul style="list-style-type: none"> · 큰 전류로 인해 나침반 변화 각도가 90°이상으로 측정되는데, 이는 나침반 고유의 특성으로 인한 현상이며 실제 자기장만 측정하는 디지털 나침반으로는 자침의 변화각도가 90°이상이 되지 못한다는 안내자료가 필요함. · 큰 전류로 인해 인체에 위험하지 않은지에 대한 안내를 해줄 필요가 있음.
전지의 내부저항, 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 부하저항, 저항의 직렬연결과 병렬연결의 개념 설명과 부하저항과 전지의 내부저항 계산식	<ul style="list-style-type: none"> · 초등교사들에게 익숙하지 않은 용어이므로 좀 더 자세하게 내용을 설명해 주면 좋겠음.
전기회로의 상황(부하저항과 전지의 내부저항의 크기, 전지의 직렬연결과 병렬연결)에 따른 전류의 크기 변화의 원인에 대한 토론	<ul style="list-style-type: none"> · 표에 제시된 내용으로는 전지의 기전력과 부하저항과 전지의 내부저항의 합인 총저항이 영향으로 전류의 크기가 결정된다는 내용을 확인하기 어려움으로 표 대신 그래프로 제시하는 것이 좋겠음.

표 III-2. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램 예비 투입 후 과학교육학자들의 검토 내용

프로그램의 내용	예비 투입 후 검토 의견
<p>과학교과서에 제시된 전구를 사용하는 나침반 각도 변화실험</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 전선의 위와 아래에 나침반을 두고, 전류의 방향을 바꾸는 과정이 반복되는 경향이 있으므로 반복되는 부분은 생략하여 내용을 줄이는 것이 좋겠음.
<p>전구를 사용하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지를 직렬로 6개까지 연결하면서 전류의 크기를 측정하는 실험</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 전류계와 전압계 사용법에 익숙하지 않은 초등교사들이 많으므로, 이에 대한 안내자료가 필요함. • 프로그램 후반부에서 계산하는 부하저항과 전지의 내부저항 계산식에서 사용되는 전지의 기전력과 단자전압은 전류와 나침반 변화각도를 측정하면서 같이 측정하도록 할 필요가 있음.
<p>전구를 사용하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지를 병렬로 6개까지 연결하면서 전류의 크기를 측정하는 실험</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 전류의 크기가 너무 작아서, 전류의 크기만을 수치화한 표만으로는 전류가 증가한다는 것을 이해하기가 어려우므로, 그래프와 함께 전류 증가량을 백분율로 나타내는 것이 좋겠음. • 그래프의 간격도 전체 변화량을 고려하여 조절해야 할 필요가 있음.
<p>전구를 사용하지 않아 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지를 직렬로 6개까지 연결하면서 전류의 크기를 측정하는 실험</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 실험에서 측정하는 전류와 단자전압이 수시로 변하므로 전류의 최고값을 기준으로 전류와 단자전압을 측정하도록 안내할 필요가 있음. • 실험이 익숙하지 않아 같은 건전지로 오랜 시간 동안 실험을 실시하게 되면, 전지의 내부저항이 커지게 되고 이로 인해 실험결과가 잘못 나오는 경우가 있으므로 실험을 실시하기 전에 연습용 건전지로 측정 연습을 몇 번 할 필요가 있음.
<p>전구를 사용하지 않아 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지를 병렬로 6개까지 연결하면서 전류의 크기를 측정하는 실험</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 나침반 각도도 계속 회전하면서 변하기 때문에, 처음에 측정되는 각도를 기준으로 측정하도록 안내할 필요가 있음.
<p>전지의 내부저항, 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 부하저항, 저항의 직렬연결과 병렬연결의 개념 설명과 부하저항과 전지의 내부저항 계산식</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 내용을 읽어보면서 이해하도록 하는 것이 시간이 오래 걸리므로, 관련 내용을 프로그램을 안내하는 연구자가 간단하게 설명하는 것이 더 효과적임.
<p>전기회로의 상황(부하저항과 전지의 내부저항의 크기, 전지의 직렬연결과 병렬연결)에 따른 전류의 크기 변화의 원인에 대한 토론</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 프로그램에 참여한 교사들이 전류의 크기 변화의 원인을 전지의 기전력과 부하저항과 전지의 내부저항의 합인 총저항의 관점에서 생각하도록 정확한 안내를 해주는 것이 중요함. • 연구자는 관점만 정확하게 제시하고 더 이상 개입하지 말아야 하므로 다른 장소로 이동하여 프로그램에 참여한 교사들끼리 토론하도록 하는 것이 좋겠음.

2. 연구방법

1) 대상

프로그램을 개발하기 위하여 J시 소재 초등학교 교사 12명을 대상으로 3차에 걸쳐 프로그램 예비투입을 실시하였고, 대상 교사들의 정보는 표 III-3과 같다. 예비투입에 참여한 교사는 남교사 5명, 여교사 7명, 총 12명이었다. 경력은 1~5년이 6명, 6~15년이 4명, 16~20년이 2명이었다.

표 III-3. 프로그램 예비투입 교사 정보

경력	1~5년	6~15년	16~20년
남	3	1	1
여	3	3	1
합계	6	4	2

프로그램 본투입은 J시 소재 초등학교 교사 15명을 대상으로 실시하였고, 대상 교사들의 정보는 표 III-4와 같다. 프로그램 본투입에 참여한 교사는 남교사가 6명, 여교사가 9명 총 15명이었다. 경력은 1~5년이 9명, 6~15년이 5명, 16년 이상이 1명이었다. 과학교과를 선호하는 교사는 7명이었고, 선호하지 않는 교사는 8명이었다. 고등학교 출신계열은 이과가 6명이었고, 문과가 9명이었다. 교육대학 심화과정은 이 프로그램에서 요구하는 능력인 그래프 해석 능력과 관련이 있는 수학과와 과학과 심화과정을 이수한 교사는 6명이었고, 그 외 다른 심화과정을 이수한 교사는 9명이었다. 대학원 전공은 이 프로그램에서 요구하는 능력인 그래프 해석 능력과 관련이 있는 수학과과 과학과 전공을 이수하거나 이수중인 교사는 6명이었고, 나머지 9명의 교사는 해당이 없었다.

팀은 표 III-4의 순서대로 3명이 한 팀을 이루면서 프로그램을 진행하였다. 같은 팀을 이루는 3명의 교사는 프로그램을 진행하면서 원활한 의사소통을 하도록 하기 위하여 서로 친분이 있는 교사들로 구성하였다.

표 III-4. 프로그램 본투입 교사 정보

교사명	성별	경력	과학교과 선호여부	고등학교 출신계열	교육대학 심화과정	대학원 전공
A교사	여	1~5년	비선호	문과	국어교육	해당없음
B교사	여	1~5년	비선호	문과	윤리교육	해당없음
C교사	여	1~5년	비선호	문과	수학교육	해당없음
D교사	여	6~15년	비선호	문과	사회교육	해당없음
E교사	여	6~15년	선호	이과	영어교육	수학교육
F교사	여	1~5년	선호	이과	수학교육	수학교육
G교사	남	6~15년	선호	이과	과학교육	해당없음
H교사	남	1~5년	선호	문과	영어교육	사회교육
I교사	여	16년 이상	비선호	문과	체육교육	국어교육
J교사	여	1~5년	비선호	문과	수학교육	수학교육
K교사	여	1~5년	비선호	문과	수학교육	해당없음
L교사	남	6~15년	비선호	문과	영어교육	해당없음
M교사	남	6~15년	선호	이과	실과교육	과학교육
N교사	남	1~5년	선호	이과	윤리교육	과학교육
O교사	남	1~5년	선호	이과	과학교육	과학교육

2) 검사도구

(1) 개념검사지

이 연구에서 사용한 개념검사지는 신애경 등(2012a, 2012b)이 개발한 개념검사지를 사용하였다. 개념검사지에서 측정하고자 하는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도는 전기회로를 구성하는 전지의 내부저항, 부하저항, 그리고 이들의 상대적인 크기를 인식하는데서 시작된다. 표 III-5를 살펴보면, 개념검사지의 ‘저항에 대한 인식’영역에서는 전지의 내부저항과 부하저항에 대한 ‘저항개념’을 파악하고, 전구가 연결된 회로에 해당하는 ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역’에서는 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 ‘학습개념’을 파악한다. 그리고 전선만 연결된 회로에 해당하는 ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역’에서는 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 ‘분화개념’을 파악한다.

문항들 중 과학과 교육과정에서 다루는 개념으로 해결할 수 있는 문항은 1, 2,

3, 5, 7, 9, 11번 문항으로 7문항이며, 이 문항들은 표 III-5의 저항개념과 학습개념에 해당한다. 분화개념으로 해결해야 하는 문항은 4, 6, 8, 10, 12번 문항으로 5문항이다. 1번 문항인 경우 전지의 내부저항에 대한 인식을 알아보는 서술형 문항이므로 신뢰도 계산과 점수합계에서 제외한다. 과학과 교육과정에서 다루는 개념에 해당하는 저항개념과 학습개념에 해당하는 6문항의 신뢰도는 Cronbach α 가 0.68이고, 분화개념에 해당하는 5문항의 신뢰도는 Cronbach α 가 0.77이다. 개념검사의 구성은 표 III-5와 같다.

표 III-5. 개념검사의 구성

영역	문항내용	개념구분	진지 연결 방법	문항 번호	문항 유형
저항에 대한 인식영역	전지의 내부저항에 대한 인식	저항개념		1	서술형 (신뢰도, 합계 점수에서 제외)
	전구연결회로와 전구없이 전선만으로 이루어진 회로의 전류 크기 비교	저항개념		2	선택형
부하 저항이 전지의 내부저항 보다 큰 영역	단일전지와 전지 2개의 직렬연결에서의 전류의 크기 비교	학습개념	직렬	3	선택형
	단일전지와 전지 2개의 병렬연결에서의 전류의 크기 비교	학습개념	병렬	5	선택형
	전지의 다중 직렬연결시 전류의 크기	학습개념	직렬	7	선택형
	전지의 다중 병렬연결시 전류의 크기	학습개념	병렬	9	선택형
	직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기 비교	학습개념		11	선택형
부하 저항이 전지의 내부저항 보다 작은 영역	단일전지와 전지 2개의 직렬연결에서의 전류의 크기 비교	분화개념	직렬	4	선택형
	단일전지와 전지 2개의 병렬연결에서의 전류의 크기 비교	분화개념	병렬	6	선택형
	전지의 다중 직렬연결시 전류의 크기	분화개념	직렬	8	선택형
	전지의 다중 병렬연결시 전류의 크기	분화개념	병렬	10	선택형
	직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기 비교	분화개념		12	선택형

(2) 동형검사지

전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 개념향상 프로그램은 약 3시간에 걸쳐 진행되는데 프로그램 실시전에 사전검사를 실시하고, 3시간 후에 같은 검사지로 사후검사를 실시할 경우 동일검사지 사용으로 인한 효과가 발생할 수 있어 이를 배제하기 위해 동형검사지를 개발하여 사전검사로 활용하였다. 동형검사지는 물리교육 전문가 1인과 과학교육 전문가 3인, 현직교사 4인 총 8인의 내용 타당도 검증을 통해 문항을 수정·보완하였다.

동형검사지를 개발하기 위하여 J대학교 교육대학생 27명을 대상으로 예비투입한 후 문항을 수정하였다. J대학교 교육대학생 61명에게 개념검사지와 동형검사지를 투입하고 동형검사지의 내용을 개념검사지의 내용으로 변환하여 알아본 두 검사지의 동형검사신뢰도는 Cronbach α 가 0.83이었다.

동형검사지는 개념검사지에서 측정하는 내용과 동일한 내용을 측정하지만, 사후검사로 사용하는 개념검사지와 독립적인 검사로 분량과 기술방식에서 개념검사지와는 다르다. 동형검사지는 개념검사지의 각 문항내용과 동일하나 응답을 수치로 기술하도록 하고 있는데, 그 수치를 통해 개념검사지의 각 문항의 보기로 변환할 수 있다. 개발된 동형검사지의 내용과 개념검사지의 관련성은 표 III-6과 같고, 동형검사지는 부록에 첨부하였다.

표 III-6. 동형검사지의 구성

영역	문항 내용	개념검사지 해당문항
저항에 대한 인식영역	1. 전지의 내부저항 인식	1번
부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역	2. 전구가 연결된 회로에서 전지 1개~6개 직렬연결시 각각의 전류의 크기 예상 3. 전구가 연결된 회로에서 전지 1개~6개 병렬연결시 각각의 전류의 크기 예상	2, 3, 7, 11번 2, 5, 9, 11번
부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역	4. 전구없이 전선만으로 이루어진 회로에서 전지 1개~6개 직렬연결시 각각의 전류의 크기 예상 5. 전구없이 전선만으로 이루어진 회로에서 전지 1개~6개 병렬연결시 각각의 전류의 크기 예상	2, 4, 8, 12번 2, 6, 10, 12번

(3) 이해수준 분석틀

프로그램 예비투입 및 본투입에 참여했던 27명의 교사들의 자료들을 분석하여 개념검사지의 각 문항별 분석틀과 전체문항을 포괄하는 이해수준 분석틀 위계도를 표 III-7과 같이 개발하였다. 그리고 각 문항별 분석틀과 전체 문항을 포괄하는 이해수준 분석틀 위계도는 물리교육 전문가 1인과 과학교육 전문가 3인, 현직 교사 4인 총 8인의 내용 타당도 검증을 통해 수정 보완하였다.

표 III-7. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해수준 분석틀 위계도

분석틀 요소		하위개념 요소			상위개념 요소		
개념단계	하위개념	중위개념	상위개념	하위개념	중위개념	상위개념	
분류기호	전지연결 방법에 따른 전압의 크기	전지연결 방법에 따른 내부저항 의 크기	부하저항 과 내부저항 크기	현상을 통한 일반화	현상의 원인 과악을 통한 일반화	세부적인 원인 과악을 통한 일반화	
	S	O	O	O	O	O	
P	PS1	O	O	O	O	X	
	PS2	O	O	O	O	X	
	PS3	O	X	O	O	.	
	PS4	O	O	O	X	O	X
	PS5	O	O	O	X	X	X
F	PS6	O	O	X	X	.	.
	M	O	X	.	X	.	.
X		O	.	X	.	.	

이해수준 분석틀 위계도의 내용을 살펴보면 다음과 같다. 이해수준 분석틀 위계도의 윗부분에 있는 분석틀 요소는 하위개념요소와 상위개념요소로 나누워진다. 하위개념요소는 검사지의 문항을 해결하기 위해서는 반드시 알아야 하는 가장 기초적인 개념요소이고, 상위개념요소는 검사지에서 묻고 있는 개념을 어떤

수준에서 이해하여 해결하고 있는지를 알아보는 개념요소이다. 하위개념요소는 다시 3가지 수준으로 나누어지는데, 전지 연결방법과 전압의 크기라는 하위개념에서부터 전지 연결방법에 따른 내부저항의 크기라는 중위개념, 그리고 부하저항과 내부저항의 크기 비교라는 상위개념이다. 그리고 상위개념요소도 실험결과 현상을 통한 일반화라는 하위개념과 현상의 원인 파악을 통한 일반화라는 중위개념, 그리고 세부적인 원인파악을 통한 일반화라는 상위개념까지 3개의 위계로 나누어진다. 결국 이해수준 분석틀 위계도 윗부분의 내용은 전체적으로 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 상위개념으로 가는 위계를 가지게 된다.

이해수준 분석틀 위계도에서 왼쪽에 있는 분류기호에 대해 살펴보면, P는 Pass의 의미로 정답을 선택했다는 것을 의미하고 F는 Fail의 의미로 정답을 선택하지 못했다는 것을 의미한다. 만약 실험결과 현상을 기억하고 있다면, 즉 현상을 통한 일반화가 되어있다면 현상의 원인이나 세부적인 원인을 파악하지 못하더라도 정답을 선택할 수 있고, 현상을 통한 일반화가 되어있지 않다면 현상의 원인까지는 파악하더라도 세부적인 원인을 파악하지 못해서 아쉽게 틀리게 된다.

S 수준은 Scientific concept이라는 뜻으로 관련 개념을 모두 이해하고 정답을 선택한 가장 과학적인 개념 이해수준으로 보았다. PS 수준은 Partial Scientific concept이라는 뜻으로 개념이해 수준이 부족하더라도 정답을 선택한 부분 과학적인 개념 이해수준으로 보았고, PS1, PS2, PS3 수준으로 내려오면서 점점 개념이해 수준이 부족하더라도 정답을 선택한 이해수준에 해당한다. 또한 문제를 틀리더라도 현상의 원인까지는 파악했는데, 데이터 해석이 매우 까다로워 현상의 세부원인을 파악하지 못하고 현상을 통한 일반화가 이루어지지 않아서 유사정답에 가까운 수준에서 정답을 선택하지 못한 이해수준은 PS4 수준을 보았고, PS5, PS6 수준으로 내려오면서 점점 개념이해 수준이 부족한 상태에서 정답을 선택하지 못한 이해수준으로 보았다. 그리고 M 수준은 Misconception이라는 뜻으로 전지의 연결방법에 따른 전압의 크기와 내부저항의 크기라는 하위개념요소도 모르는 매우 낮은 개념 수준 상태에서 정답을 선택하지 못한 경우로 보았다. 결국 이해수준 분석틀 위계도의 왼쪽의 내용은 전체적으로 위에서 아래로 갈수록 상위이해수준에서 하위이해수준으로 가는 위계를 가지게 된다. 학습개념과 분화개념에 해당하는 문항들에서는 어떤 문항의 분석틀은 이 모든 수준이 다 포함되는

분석틀이 되고, 어떤 문항의 분석틀은 개념내용의 수준에 따라 몇 개의 수준만으로 구성되는 경우도 있었다. 그리고 2번 문항은 저항개념을 물어보는 문항이므로 하위개념요소를 제외한 상위개념요소로만 이해수준 분석틀이 구성되었다.

각 문항별 분석틀을 이용한 이해수준 분석은 다음과 같이 실시하였다. 먼저 연구자가 초등과학교육 박사과정에 재학중인 초등교사 2명에게 이해수준 분석틀의 의미와 위계, 그리고 각 문항별 분석틀로 이해수준을 분석하는 방법을 안내하였다. 연구자를 포함한 3인이 개별적으로 모든 검사지를 분석한 후, 그 결과를 비교하여 분석결과가 다른 경우에는 개념검사지의 이유 기술 내용을 다시 확인하고 채점자들이 합의하여 이해수준을 결정하는 방법으로 채점자간 신뢰도를 확보하였다.

사전검사로 활용했던 동형검사지는 개념검사지와는 달리 응답이유를 작성하지 않았기 때문에 동형검사지의 첫 번째 문항인 전지의 내부저항의 개념을 인식하는지 여부를 통해 이해수준을 분석하였다. 전지의 내부저항의 개념을 알지 못하면 결국 학습개념과 분화개념에 해당하는 문항들의 이해수준 분석틀에서 S 수준은 나올 수 없다. 프로그램 본투입에 참여한 교사 모두가 첫 번째 문항에서 전지의 내부저항의 개념에 대해 응답하지 못하고 있었기 때문에 동형검사지의 학습개념과 분화개념에 해당하는 문항들에서 S 수준은 없었다. 학습개념에 해당하는 문항의 정답을 선택한 경우에는 전지의 내부저항의 개념은 인식하지 못하였으나 표 III-7의 분석틀의 단계에서 가장 비슷한 수준인 현상을 통한 일반화 단계에 해당하는 PS2 수준으로 보았으며, 정답을 선택하지 못하는 경우에는 M수준으로 보았다. 학습개념에 대해 이해가 되지 않은 상태에서 분화개념에 해당하는 문항의 정답을 우연히 선택한 경우도 M수준으로 보았기 때문에 분화개념에 해당하는 문항에서는 PS2수준이 나오지 않았다. 저항개념에 해당하는 문항들에서, 2번 문항은 정답을 선택하면 현상의 원인 파악을 통한 일반화가 된 것으로 판단하여 S수준으로 보았고 정답을 선택하지 못하면 M수준으로 보았으며, 1번 문항은 전지의 내부저항에 대한 인식을 알아보는 서술형 문항이므로 이해상태의 점수 계산에서와 마찬가지로 이해수준 점수 계산에서도 제외하였다.

3) 자료 수집 및 분석

자료 수집은 사전검사인 동형검사지, 프로그램 활동 결과물인 워크시트와 워크시트 작성을 보조하기 위한 엑셀프로그램, 프로그램 참여교사들의 대화 내용 전사본, 사후검사인 개념검사지를 통해 이루어졌다. 수집된 자료는 검사도구와 이해수준 분석틀을 이용하여 사전사후의 양적 개념 이해도와 질적 개념 이해도의 변화를 살펴보았다.

전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 변화는 먼저 전체문항의 결과를 사전검사 점수, 사후검사 점수, 증가량을 빈도 분석하고 나서 각 문항별로 사전검사 점수, 사후검사 점수, 증가량을 빈도 분석하였다. 그리고 교사 개인별로 이해도 변화를 살펴보고, 이해도를 단계로 구분하여 분석하였다.

IV. 프로그램 개발

1. 프로그램 개발의 근거

Piaget(1963)는 학습자가 가지고 있는 인지구조의 변화를 학습으로 정의하고, 인지구조와 환경 사이의 상호작용은 동화와 조절이라는 상호 보완적인 과정에 의하여 이루어진다고 보았다. 동화란 외부로부터 받아들여진 정보가 기존의 인지구조에 의해서 흡수되는 현상을 의미한다. 조절이란 기존의 인지구조로 새로운 정보를 동화하는데 적합하지 않을 때, 기존의 인지구조를 바꾸어 나가는 것을 의미한다. 인지구조와 환경 사이에 동화와 조절이 원만하게 일어나는 상태를 지적인 평형상태라고 하며, 학습자가 이미 가지고 있는 인지구조로는 동화와 조절이 불가능한 새로운 환경을 접하게 되었을 때 학습자는 인지적 갈등을 겪게 되는데 이런 상태를 지적 비평형상태라고 한다. 이러한 비평형 상태를 해소하기 위해 학습자는 기존의 인지구조를 새로운 인지구조로 변화시키는 과정을 통하여 갈등을 해결하고 새로운 평형을 이루게 된다. 따라서 Piaget의 이론에서 인지발달의 핵심은 평형화과정이라고 볼 수 있다.

Hashweh(1986)는 인식의 대상을 생각의 세계와 실제 세계로 나누고, 선개념과 과학개념은 C로, 실제 현상은 R로 표시하였다. 그리고 선개념으로 실제 현상을 설명할 수 없는 것을 갈등 1로 제시하고, 선개념과 과학개념 사이의 갈등을 갈등 2로 정의하며 개념의 변화과정을 설명하고 있다. 갈등 1을 해결하기 위하여 과학개념이 도입되고, 두 개념 사이의 관계를 파악하는 과정을 통하여 갈등 2를 해결할 수 있다고 하였다.

권재술(1989)은 Hashweh의 개념모형을 대체로 수용하면서, 인식의 대상을 인지구조와 환경으로 나누었다. 그림 IV-1의 인지구조는 개념을 의미하며, 기존의 인지구조의 변화 없이도 새로운 인지구조의 수용이 가능하다는 것과 새로운 학습 개념인 C2와 선개념으로 이해할 수 있는 R1 사이에 생기는 갈등을 비평형2라고 표현한 점이 Piaget와 Hashweh 이론과의 차이라고 설명하고 있다. 권재술은 이러한 기존 이론에서의 두 종류의 갈등상황을 받아들이면서 비평형2의 경우

가 포함되는 변형된 개념변화 모형을 그림 IV-1과 같이 제시하였고, Hashweh의 갈등1과 갈등2은 비평형1과 비평형3으로 표현하였다.

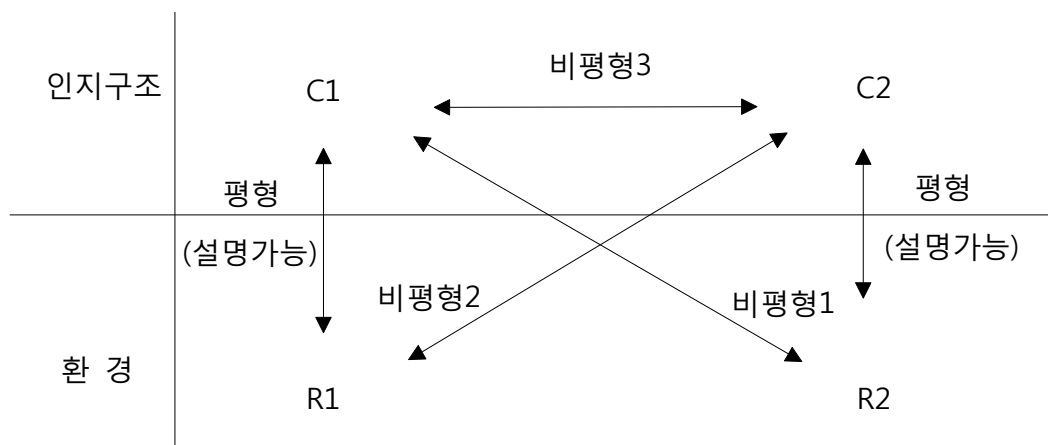


그림 IV-1. 권재술의 개념변화 모형

이 연구에서 학습개념과 분화개념을 권재술(1989)의 모형에서 자세히 살펴보면, 인지구조 C1은 학습자가 가지고 있는 개념으로 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램에서는 학습개념에 해당한다. 인지구조 C2는 새로 학습해야 할 개념으로, 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램에서는 학습개념과 분화개념을 모두 이해하는 확장된 개념에 해당한다. 그리고 환경이란 실제의 자연현상이나 교과서에 있는 내용 등으로, 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램에서는 프로그램의 활동과 실험결과에 해당한다. 즉, 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램에서의 개념변화는 권재술(1989)이 언급한 과학 개념변화의 유형 중 새로 학습해야 할 개념이 기존의 인지구조에서 가지고 있는 개념을 포함하는 상위 수준인 '확장형 개념변화'로 볼 수 있다. 또한 이 연구에서 학습개념과 분화개념을 Hashweh(1986)의 모형에 적용해보면, 선개념을 학습개념에 해당하고 과학개념은 학습개념과 분화개념을 모두 이해하는 확장된 개념에 해당한다. 그리고 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램에서는 선개념인 학습개념과 확장된 개념 사이의 관계를 파악하는 과정을 통하여

개념 변화과정이 이루어진다고 할 수 있다.

박윤희(1990)는 학생들의 전류개념에서 비과학적 개념을 과학적 개념으로 변화시키기 위해서는 교사중심의 과학수업보다는 토의와 실험수업이 더 효과적임을 밝히고 있으며, 한종화(1978)는 과학교육에서 과학개념은 개념을 설명하거나 확인 실험을 하는 언어교신으로는 신장하기 어려우며 Inhelder와 Piaget(1958)가 언급한 것과 같이 실제로 관찰하고 궁금한 점을 생각하고, 자신의 의견을 정리하고 표현하는 방법을 개발하여야 한다고 하였다. 따라서 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램에서는 참여 교사들 스스로 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성을 실험 전에 예상해보고, 실제 실험을 실시하고, 실험 결과를 토론하는 과정에서 개념변화가 일어나도록 구성하였다. 이를 위해 안내된 발견학습 방법과 POE 방법을 적용하였다.

Carin(1997)은 발견수업을 교사의 역할이나 참여도에 따라 순수한 발견 수업과 안내된 발견수업으로 구분할 수 있다고 하였다. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램에서는 참여교사들이 과학지식과 탐구방법이 부족한 점을 고려하여 안내된 발견학습 방법을 이용하였다. 발견학습의 단계를 따르면서 프로그램의 내용에 참여교사들에게 필요한 과학지식의 내용과 탐구방법을 제시하고, 연구자가 프로그램을 진행하면서 참여교사들의 개념 이해도 향상을 촉진하는 역할을 수행하였다. 안내된 발견수업에서는 스스로 제시된 자료를 통해 생각하고, 실험활동을 통해 얻어진 결과를 토의하면서 규칙성을 발견하도록 한다.

POE(prediction-observation-explanation)는 White와 Gunstone(1992)에 의해 제안된 방법으로 예상을 통해 선입관과 오개념의 내용을 파악할 수 있고, 관찰과 설명을 통해 예상과 관찰 사이의 불일치를 해결하는 과정에서 참여자들의 활발한 토의를 활용하면 효과적으로 과학개념을 이해시킬 수 있다. 국내에서도 안수영(1989), 박윤희(1990), 전철용(1992)이 POE를 이용하여 학생들과 교사들이 지니고 있는 전기에 관한 오개념의 유형과 관찰과 설명을 통해 나타낼 수 있는 대안적 개념(alternative conception)을 알아보는 연구가 이루어져 왔다. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램에서는 예상과 실제 실험 결과를 비교하는 토의 활동을 통해 실험결과에 대한 타당한 설명을 도출하는 POE 방법을 이용하여 교사들의 개념 이해도 향상에 도움이 되도록 활동을 구성하였다.

2. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램 개발 모형

그림 IV-2는 프로그램을 통해 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 선 개념에 해당하는 학습개념에서 과학개념에 해당하는 확장된 개념으로 개념이 변화하여 개념 이해도가 향상되는 과정을 실제적으로 구현한 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램의 개발 모형이다. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램의 개발 모형에서는 크게는 안내된 발견 학습의 단계를 거치면서, 실질적인 학습활동은 POE 방법을 적용하여 효율적으로 학습개념과 분화개념을 습득하도록 하였다.

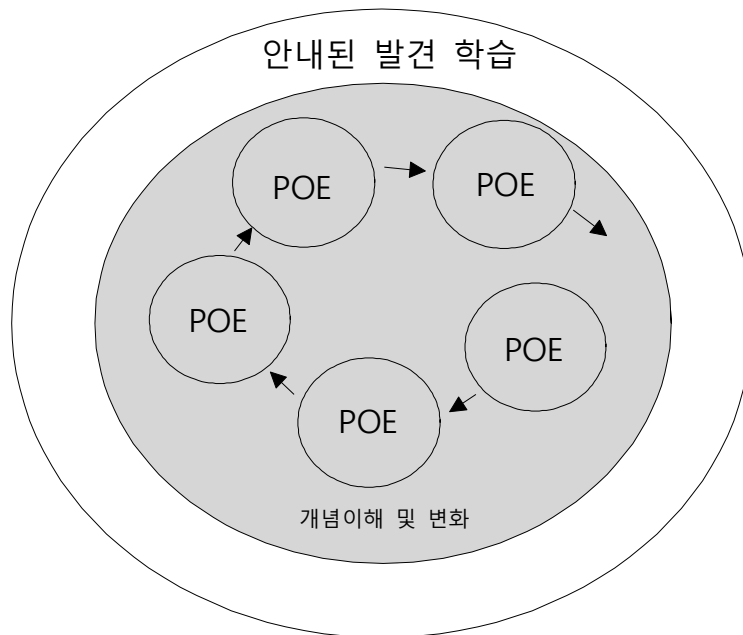


그림 IV-2. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램 개발 모형

이어지는 내용에서는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램의 구체화에 대해 언급한다. 그리고 안내된 발견 수업의 절차에 따른 실제 프로그램의 내용은 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램의 실제에서 살펴본다.

3. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램의 구체화

프로그램은 워크시트와 워크시트 작성용 엑셀파일, 그리고 안내자료로 구성되어 있다. 안내자료란 초등교사들이 실험 방법이나 실험과 관련된 개념에 대한 이해의 부족이 있는 부분에 대하여 프로그램에 안내 및 설명자료를 제시한 것을 의미한다.

1) 프로그램 워크시트 개발틀

표 IV-1은 이 프로그램 중 부하저항이 내부저항보다 큰 영역과 부하저항보다 내부저항이 작은 영역의 워크시트를 개발하는 틀로서 개념변화 학습모형을 적용하였다. 개념변화 수업모형은 오개념을 개선하는데 효과적인 학습모형이며(김동렬, 2009) 개발틀의 내용을 살펴보면 아래와 같다.

먼저 안내 단계에서는 전지의 연결 상황에 대해 확인한다. 즉 전구 등의 부하저항이 회로에 연결되었는지 확인하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 상황인지 작은 상황인지를 파악하고, 전지를 직렬연결하는지 병렬연결하는지를 확인한다.

직관적 개념의 표현 단계에서는 단일 전지를 연결한 전기회로에서의 전류값을 측정하는 활동을 하고, 각 참여교사별로 개인별 학습지에 각각 전지를 1개에서부터 6개까지 직렬연결 또는 병렬연결 했을 때의 전류의 크기를 예상하도록 한다.

직관적 개념의 재구성 단계에서는 동료들과 예상한 전류의 크기를 비교해보고, 실험을 실시한 후 결과를 확인한다. 그리고 실험결과인 현상적 수준의 일반화가 이루어지고, 새로운 개념에 대해 동료 교사들과 의논한다.

관념의 응용 단계에서는 비슷한 회로를 제시하여 전류의 특성에 대하여 현상적 수준의 일반화가 이루어졌는지 확인한다.

개념변화의 검토 단계에서는 전지의 내부저항, 부하저항, 전지의 기전력, 단자전압 개념을 파악하고 자료 해석과 동료교사들과의 토론을 통한 전지 연결상황별 전

류크기에 대한 현상의 원인과 세부원인을 파악하는 일반화를 통해 개념변화를 강화한다.

표 IV-1. 프로그램 워크시트 개발틀

개념변화 학습모형의 단계	워크시트의 내용
안내	전지 연결 상황 확인
직관적 개념의 표현	전지 연결 상황별 전류 특성 개인별 예상
직관적 개념의 재구성	직관적 개념의 재구성
- 명료화와 교환	- 동료들의 예상과 비교
- 갈등상황 노출	- 실험 실시후 결과 확인
- 새로운 개념의 구성	- 실험결과를 통한 현상적 수준의 개념변화
- 평가	- 새로운 개념이 맞는지 동료들과 의논
관념의 응용	비슷한 회로 제시후 전류 특성 개념 확인
개념변화 검토	전지의 내부저항, 부하저항, 전지의 기전력, 단자전압 개념 파악 자료 해석을 통한 전지 연결상황별 전류크기 개념변화

2) 프로그램의 내용 흐름도

연구대상이 초등학교 과학교과를 직접 지도하는 교사들이므로 교육과정에서 전지의 연결방법과 전류의 크기와 관련이 있는 부분을 중심으로 구성하였다. 프로그램의 내용은 그림 IV-3과 같이 프로그램의 흐름에 맞게 영역을 재구성하였다.

먼저 초등학교 교육과정의 순서에 따라 저항에 대한 인식 영역에서 전선 주변의 나침반의 각도가 얼마나 변화하는지 확인하는 활동을 하고, 실험결과가 왜 잘 나오지 않는지에 대한 이유를 생각하도록 한다. 자기장의 세기는 전선에 흐르는 전류에 비례하고 전지의 직렬연결에 의해 큰 전류를 얻을 수 있다는 것을 이미 알고 있는 초등교사들은 나침반 자침의 움직임을 크게 하기 위해서 이런 정보들을 활용하여 구성주의적으로 전지를 직렬연결하여 문제를 해결할 것이다. 그래서 전구를 사용하는 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지를 1~6개까

지 직렬연결 하고 나침반의 각도변화와 전류계에서 측정한 전류값을 통해 전류의 크기와 나침반의 각도변화량을 살펴보고 현상적 수준에서의 일반화가 이루어진다. 여기부터 전지를 병렬연결하면 전지 1개의 전류의 크기와 비슷하다는 것을 이미 알고 있는 초등교사들은 나침반 자침의 움직임을 크게 하기 위하여 전지의 병렬연결은 할 필요가 없다고 생각하겠지만, 과학적 사고력과 탐구력이 신장되어 가면 종속변인에 영향을 주지 않는 변인까지 모두 실험을 통해 확인하게 된다. 바로 이런 반증주의의 관점에서 전지를 병렬연결하여 전류의 크기가 정말 일정한지를 확인하게 한다. 저항에 대한 인식 영역에서 전구를 사용하지 않고 전선만 연결된 전기회로 즉, 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역으로 단일전지를 사용하여 나침반 각도 변화 실험을 실시한다. 그래서 기존의 나침반 각도 변화 실험의 문제점이 전구라는 큰 저항으로 인해 전류의 크기가 작았던 것임을 확인한다.

나침반 각도 변화를 더 크게 하기 위해 전구를 사용하지 않아 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 다시 구성주의와 반증주의의 관점에서 전지를 1~6개까지 직렬연결과 병렬연결을 하고 나침반의 각도변화와 전류계에서 측정한 전류값을 통해 전류의 크기와 나침반의 각도변화량을 측정하는 실험을 통하여 현상적 수준에서의 일반화가 이루어진다.

저항에 대한 인식 영역에서 실험시 측정한 전지의 기전력, 단자전압, 전류 개념을 파악하도록 한다. 그리고 측정자료를 이용하여 부하저항과 전지의 내부저항의 개념 및 계산식을 파악하고, 측정자료로 자동 계산된 전지의 내부저항과 부하저항의 크기를 확인한다. 그리고 왜 부하저항이 전지의 내부저항보다 크거나 작은 상황에서 전지를 직렬연결하거나 병렬연결하면 전류의 크기 변화가 그렇게 나타나는지에 대하여 전지의 기전력과 부하저항과 전지의 내부저항의 합인 총저항의 관점에서 현상의 원인과 세부 원인을 파악하는 일반화가 이루어지도록 하여 보다 확실한 개념변화가 이루어지도록 한다.

프로그램의 영역에 따른 워크시트의 내용은 표 IV-2와 같다. 그리고 워크시트의 제시 순서는 그림 IV-3의 프로그램 흐름도의 순서를 따른다.

<프로그램 영역>

<프로그램 내용>

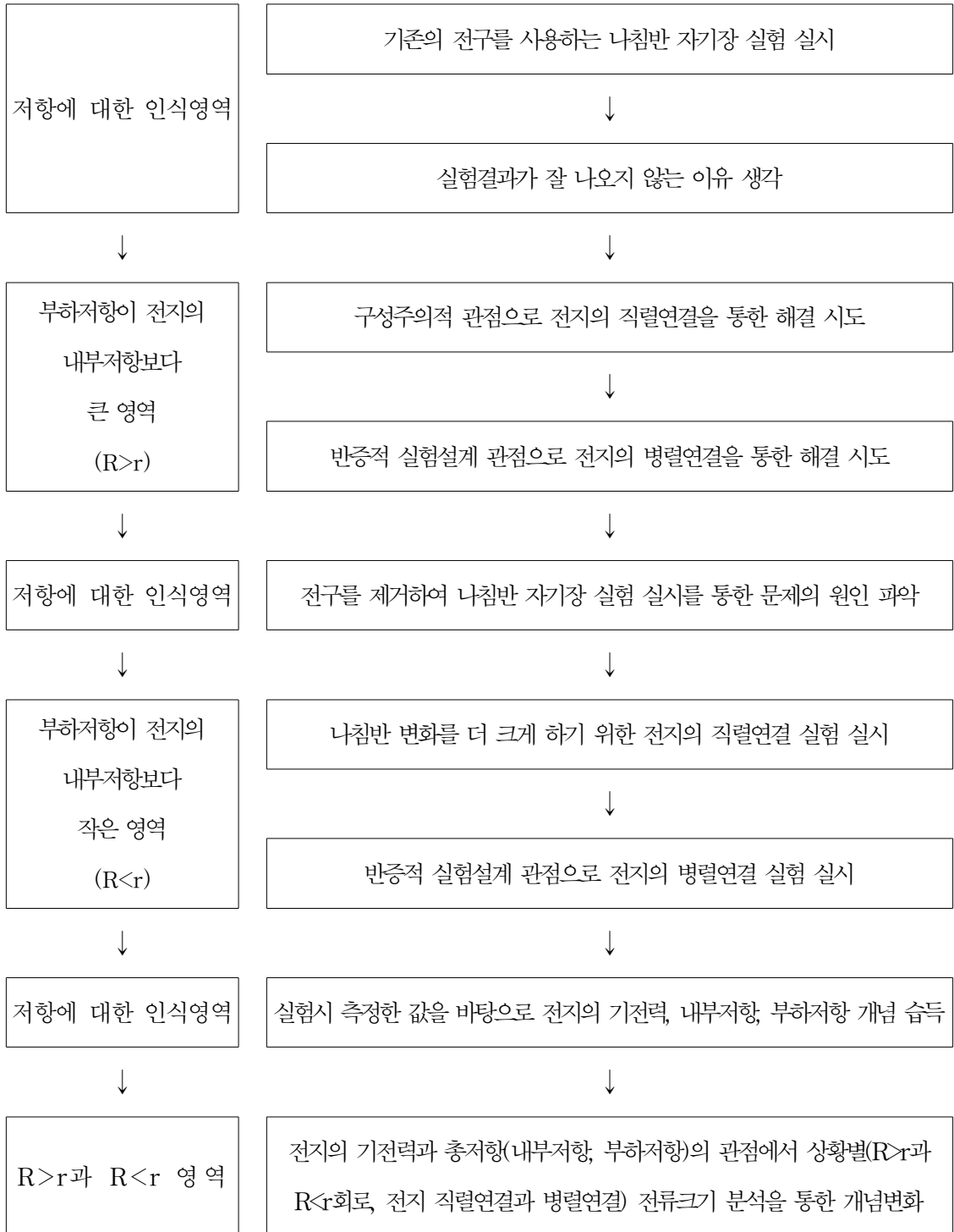


그림 IV-3. 프로그램 흐름도

표 IV-2. 프로그램 워크시트의 내용

프로그램 영역	워크시트의 내용
저항에 대한 인식영역	9. 전지의 내부저항, 부하저항, 전지의 기전력, 단자전압 개념 파악
부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역	1. 전지 1개~6개 직렬연결시 전류의 크기 예상 2. 전지 1개~6개 직렬연결시 전류의 크기 측정 및 현상 수준 일반화 10. 전지 1개~6개 직렬연결시 전지의 기전력과 총저항의 관점에서 전류 크기 변화에 대한 현상의 원인과 세부 원인을 파악하는 일반화
부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역	3. 전지 1개~6개 병렬연결시 전류의 크기 예상 4. 전지 1개~6개 병렬연결시 전류의 크기 측정 및 현상 수준 일반화 11. 전지 1개~6개 병렬연결시 전지의 기전력과 총저항의 관점에서 전류 크기 변화에 대한 현상의 원인과 세부 원인을 파악하는 일반화 5. 전지 1개~6개 직렬연결시 전류의 크기 예상 6. 전지 1개~6개 직렬연결시 전류의 크기 측정 및 현상 수준 일반화 12. 전지 1개~6개 직렬연결시 전지의 기전력과 총저항의 관점에서 전류 크기 변화에 대한 현상의 원인과 세부 원인을 파악하는 일반화 7. 전지 1개~6개 병렬연결시 전류의 크기 예상 8. 전지 1개~6개 병렬연결시 전류의 크기 측정 및 현상 수준 일반화 13. 전지 1개~6개 병렬연결시 전지의 기전력과 총저항의 관점에서 전류 크기 변화에 대한 현상의 원인과 세부 원인을 파악하는 일반화

3) 전기회로의 구성

그림 IV-4, 그림 IV-5, 그림 IV-6, 그림 IV-7은 프로그램에서 전류의 크기와 나침반의 자침의 변화각도를 측정하는 실험의 전기 회로도도를 나타내고, 그림 IV-8, 그림 IV-9, 그림 IV-10, 그림 IV-11은 그림 IV-4, 그림 IV-5, 그림 IV-6, 그림 IV-7의 전기회로도도를 실제로 구성한 전기회로의 모습이다. 그림별로 살펴보면, 그림 IV-4는 전구를 사용하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결 실험의 전기회로도이고, 그림 IV-8은 그림 IV-4의 전기회로도도를 실제로 구성한 전기회로의 모습이다. 그림 IV-5는 전구를 사용하지 않고 전선만으로 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결 실험의 전기회로도이고, 그림 IV-9는 그림 IV-5의 전기회로도도를 실제로 구성한 전기회로의 모습이다. 그림 IV-6은 전구를 사용하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 병렬연결 실험의 전기회로도이고, 그림 IV-10은 그림 IV-6의 전기회로도도를 실제로 구성한 전기회로의 모습이다. 그림 IV-7은 전구를 사용하지 않고 전선만으로 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 병렬연결 실험의 전기회로도이고, 그림 IV-11은 그림 IV-7의 전기회로도도를 실제로 구성한 전기회로의 모습이다. 그림 IV-4, 그림 IV-5, 그림 IV-6, 그림 IV-7에서는 2개의 전지를 사용하고 있는 상황이지만, 실제 실험에서는 전지를 각각 직렬과 병렬로 1개에서부터 6개까지 연결하면서 수행하였다.

위의 4가지 실험상황에서 사용하는 각각의 전기소자들의 전기적 특성을 살펴보면 다음과 같다.

건전지는 초등학교 과학과 교육과정의 전기와 자기 관련 실험수업에서 일반적으로 사용하는 전지로 R20 형태의 1.5 V 망간전지이다. D 사이즈 1.5 V인 망간전지는 사용하지 않은 상태에서 내부저항은 0.3 ~ 0.5 Ω 정도이고, 전기와 자기 관련 실험에 사용할 수 있는 전지인 경우 0.8 ~ 2 Ω 까지 범위의 내부저항의 크기를 갖는 것으로 측정되었다. 그리고 프로그램에서는 전지의 기전력과 내부저항의 차이로 인한 오차를 줄이기 위해 전지의 직렬연결과 병렬연결시 사용하는 전지들은 각각의 기전력과 내부저항이 비슷한 건전지를 사용하였다.

전구인 경우 이 프로그램에서는 1.5 V 건전지를 6개까지 직렬연결하기 때문에

9 V - 0.15 A 규격의 전구를 사용하였다. 9 V - 0.15 A 규격의 전구는 상온에서 저항의 크기가 약 4.5 Ω 정도로 측정되었다. 전구에 그 정격전압을 인가하였을 때 작동저항이 실온에서 저항의 크기보다 약 15배 증가한다는 보고에 의하면(현동걸과 박상우, 2012), 9 V - 0.15 A 규격의 전구에 규격전압인 9 V를 인가했을 때 그 저항은 약 64.5 Ω의 크기를 가질 것으로 예상할 수 있다.

전류가 흐르는 전선 주위에서 자기장을 관찰하는 실험에 사용되는 전선의 경우 길이 50 cm인 일반적인 전선을 사용한다고 할 때, 그 저항은 0.1 Ω 정도의 크기로 측정되었다. 이러한 초등학교 과학실험에서 사용되는 전선들의 저항이 전구의 작동저항에 비하여 매우 작지만, 전지의 내부저항에 비하면 그 크기를 무시할 수 없는 저항으로, 전지와 전선으로만 구성된 전기회로에서는 반드시 고려해야 할 저항이다.

연결전선의 저항의 크기는 측정할 수 없을 정도로 너무 작아서 저항이 거의 없는 것으로 간주할 수 있다. 또한 전지의 기전력과 단자전압을 측정하는 전압계와 전류를 측정하는 전류계는 측정방식이 비교적 간단하고 정확한 디지털 테스터기를 이용하였다. 그리고 집게 전선을 연결하고 분리하는 방법으로 스위치의 역할을 대신하였다.

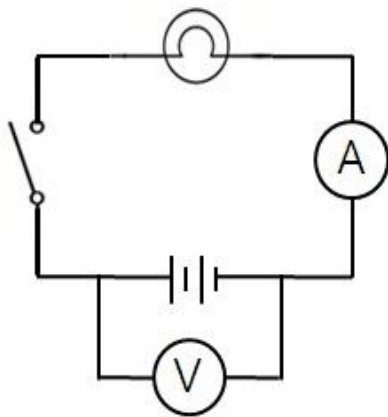


그림 IV-4. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결 전기회로도

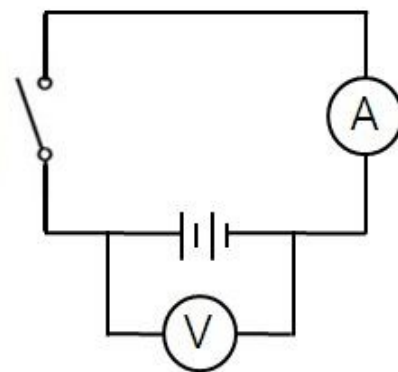


그림 IV-5. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결 전기회로도

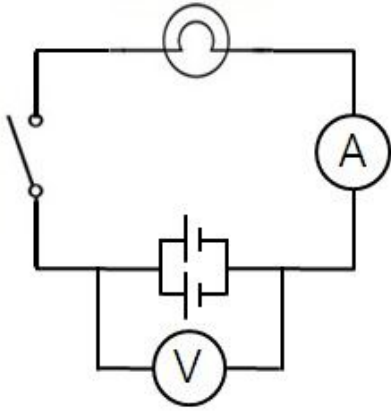


그림 IV-6. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 병렬연결 전기회로도

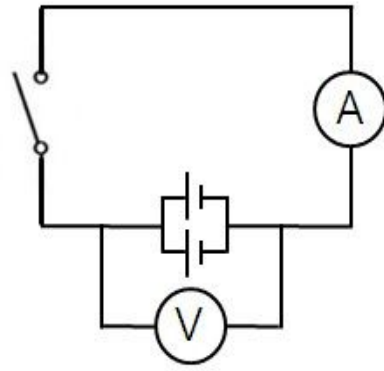


그림 IV-7. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 병렬연결 전기회로도

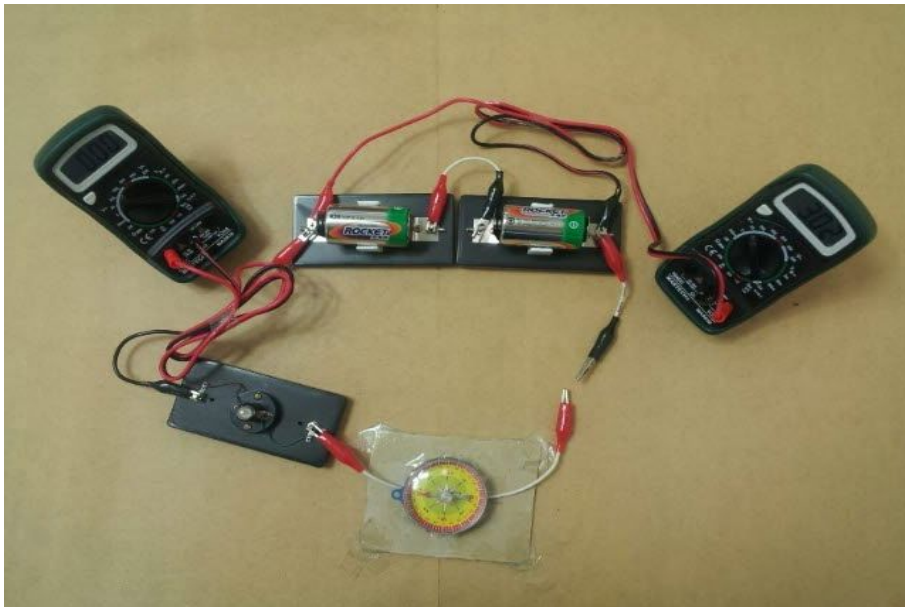


그림 IV-8. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결 전기회로의 모습

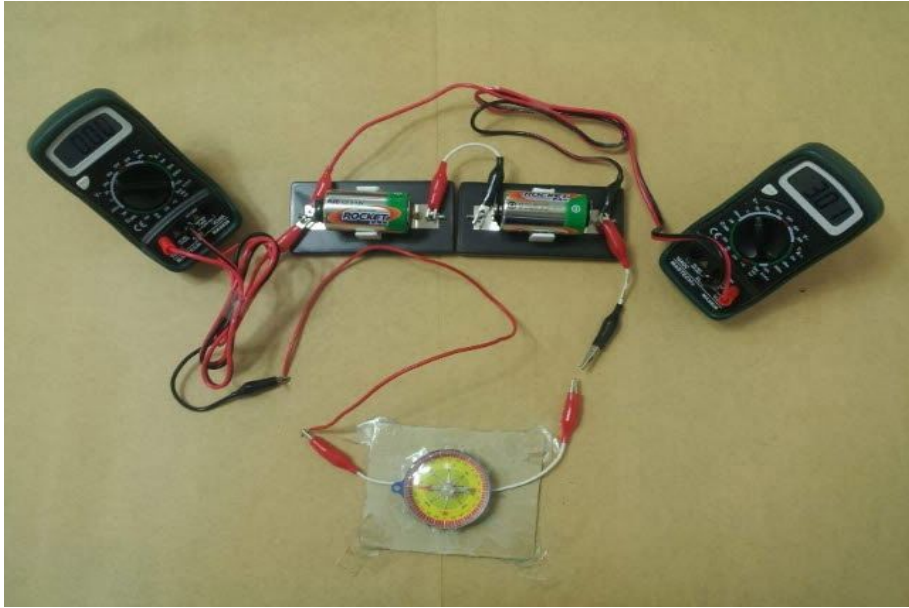


그림 IV-9. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결 전기회로의 모습

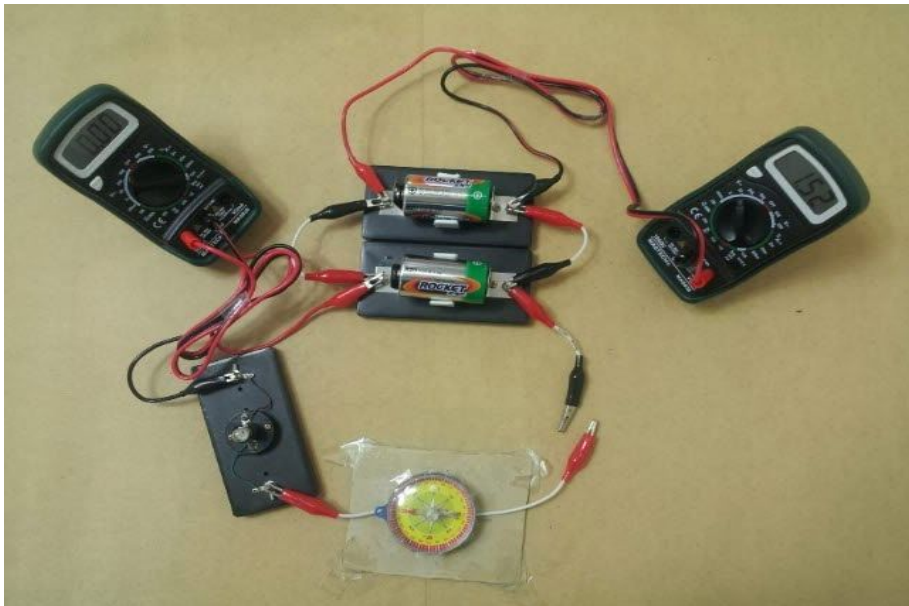


그림 IV-10. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 병렬연결 전기회로의 모습



그림 IV-11. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 병렬연결 전기회로의 모습

4) 워크시트 작성용 엑셀파일

그림 IV-12, 그림 IV-13, 그림 IV-14, 그림 IV-15는 교사들이 프로그램을 수행할 때, 실험시 측정값을 입력하면 그래프와 부하저항, 전지의 내부저항 값이 자동으로 계산이 되도록 하는 엑셀파일의 활용 모습을 나타내는 그림이다. 그 과정을 하나씩 살펴보면 다음과 같다.

그림 IV-12는 부하저항이 내부저항보다 작은 영역인 전선으로만 구성된 전기회로에서 전지를 병렬로 1개에서부터 6개까지 연결하였을 때, 전류와 나침반의 변화에 대한 예상값과 측정값을 입력한 엑셀파일의 모습이다. 여기서 입력하는 측정값은 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 변화각도 이상 4가지이며, 이 자료들을 입력하면 전류증가량과 전류증가비율이 자동으로 계산되도록 엑셀파일을 구성하였다. 이와 관련된 내용을 자세하게 살펴보면 다음과 같다.

		교사1		교사2		교사3		측정				전류증가 량	전류증가 비율(%)
전지수	예상전류1	예상각도1	예상전류2	예상각도2	예상전류3	예상각도3	기전력	단자전압	측정전류	측정각도			
1	4.54	145	4.54	145	4.54	145	1.49	0.52	4.54	145	1.66	36.6	
2	4.54	145	4.54	145	4.54	145	1.49	0.7	6.2	155	1.18	26.0	
3	4.54	145	4.54	145	4.54	145	1.48	0.76	7.38	155	0.23	5.1	
4	4.54	145	4.54	145	4.54	145	1.47	0.83	7.61	155	0.84	18.5	
5	4.54	145	4.54	145	4.54	145	1.47	0.8	8.45	155	0.3	6.6	
6	4.54	145	4.54	145	4.54	145	1.47	0.84	8.75	160			

그림 IV-12. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결
실험시 전류 크기 및 나침반 각도 예상값과 측정값을 입력한 엑셀파일

그림 IV-13은 그림 IV-12에서 엑셀파일에 입력한 전류값을 통해 자동으로 작성된 예상 전류와 측정 전류의 크기 변화 그래프이다. 그리고 그림 IV-14는 그림 IV-12에서 엑셀파일에 입력한 나침반 변화각도를 통해 자동으로 작성된 예상 각도와 측정 각도의 크기 변화 그래프이다.

이렇게 실험시 측정한 전류와 기전력, 단자전압, 나침반 변화각도만 입력하면, 전류 증가량과 증가비율, 전류 그래프와 나침반 각도 그래프가 자동 계산 및 작성되도록 하였다. 그래서 프로그램에 참여하는 교사들에게 표와 그래프 작성 시간은 단축하고 작성된 자료를 통해 현상을 일반화하는데 더 많은 시간을 활용할 수 있도록 하였다.

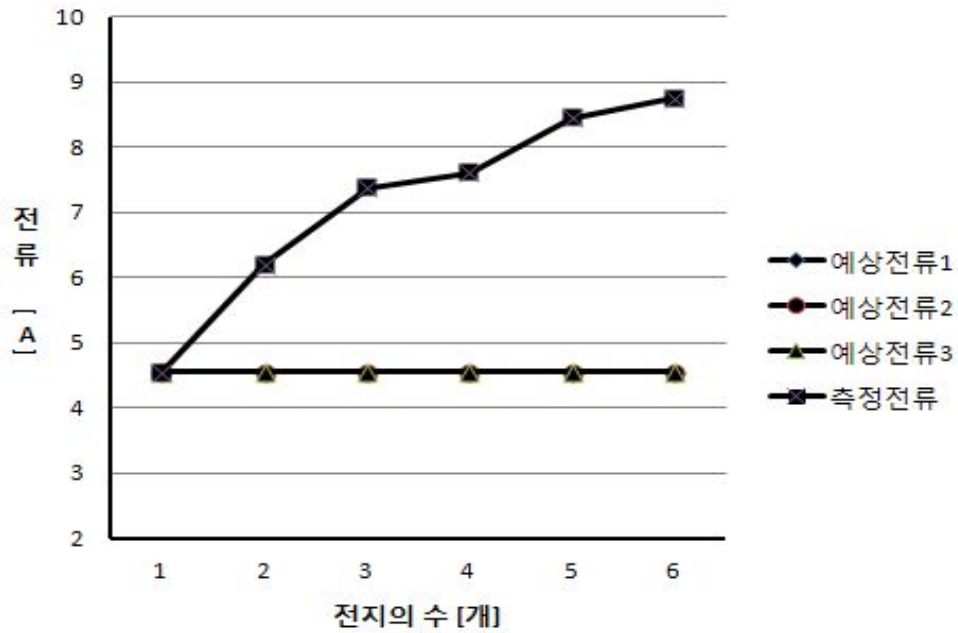


그림 IV-13. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 입력한 전류값을 통해 자동 작성된 전류 변화 그래프

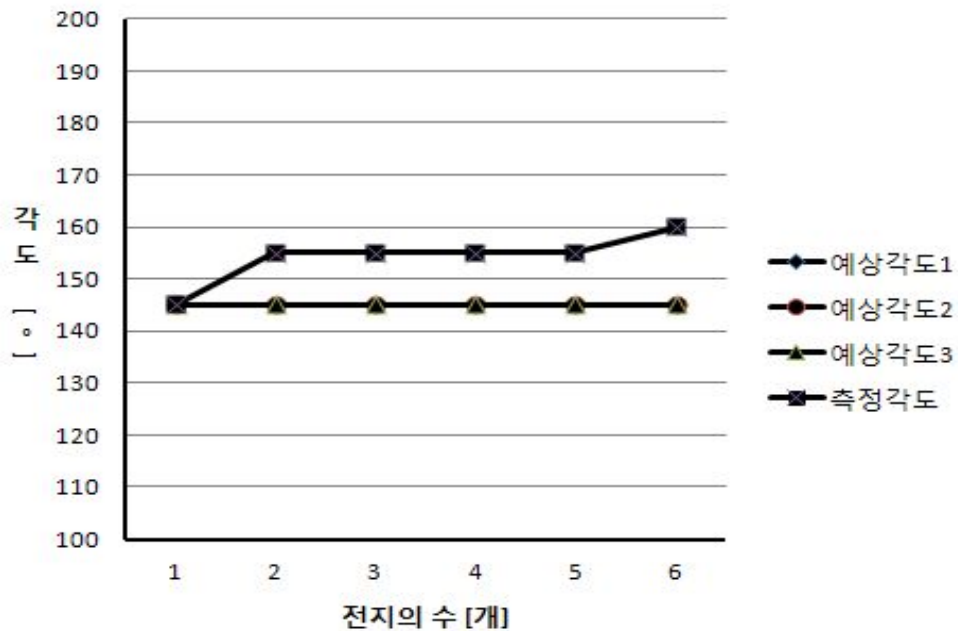


그림 IV-14. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 입력한 나침반 각도를 통해 자동 작성된 각도 변화 그래프

그림 IV-15은 그림 IV-12에서 입력한 자료들을 통해 전지의 내부저항과 부하저항, 전지 1개의 평균 내부저항 그리고 부하저항과 전지의 내부저항의 합인 총저항이 자동으로 계산된 엑셀파일의 모습이다.

	A	B	C	D	E	F	G	H
59								
60	전지수	기전력	단자전압	측정전류	총저항	부하저항	전지 전체 내부저항	전지 1개 평균 내부저항
61	1	1.49	0.52	4.54	0.33	0.11	0.21	0.21
62	2	1.49	0.70	6.20	0.24	0.11	0.13	0.25
63	3	1.48	0.76	7.38	0.20	0.10	0.10	0.29
64	4	1.47	0.83	7.61	0.19	0.11	0.08	0.34
65	5	1.47	0.80	8.45	0.17	0.09	0.08	0.40
66	6	1.47	0.84	8.75	0.17	0.10	0.07	0.43
67								

그림 IV-15. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 부하저항, 전지의 내부저항이 자동 계산된 엑셀파일

그리고 그림 IV-16, 그림 IV-17, 그림 IV-18, 그림 IV-19는 그림 IV-15에서 계산된 자료들을 통해 자동 작성된 전지의 기전력, 전류, 총저항, 부하저항과 전지의 내부저항의 크기 변화 그래프이다. 그림 IV-16, 그림 IV-17, 그림 IV-18, 그림 IV-19의 그래프를 통하여, 전압과 전류와 저항 사이의 관계는 $V=IR$ 이 된다는 옴의 법칙에 따라 교사들이 왜 전류의 크기가 그렇게 변화하게 되는지를 전지의 기전력과 저항의 관점에서 해석하도록 한다. 이와 관련된 워크시트 작성용 엑셀 파일의 활용에 대한 자세한 설명은 V장의 프로그램 실제에서 언급한다.

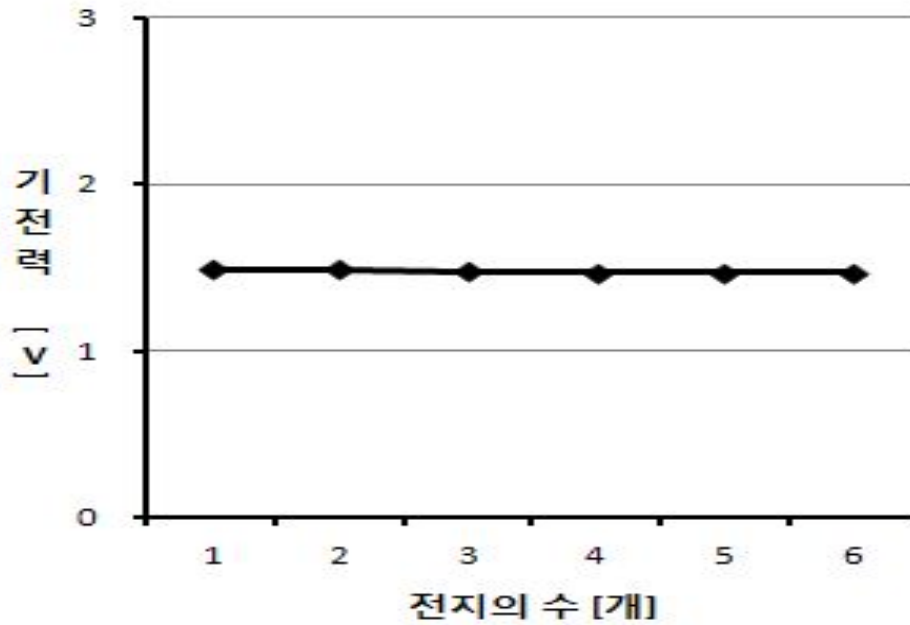


그림 IV-16. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 자동 작성된 전지의 기전력 크기 변화 그래프

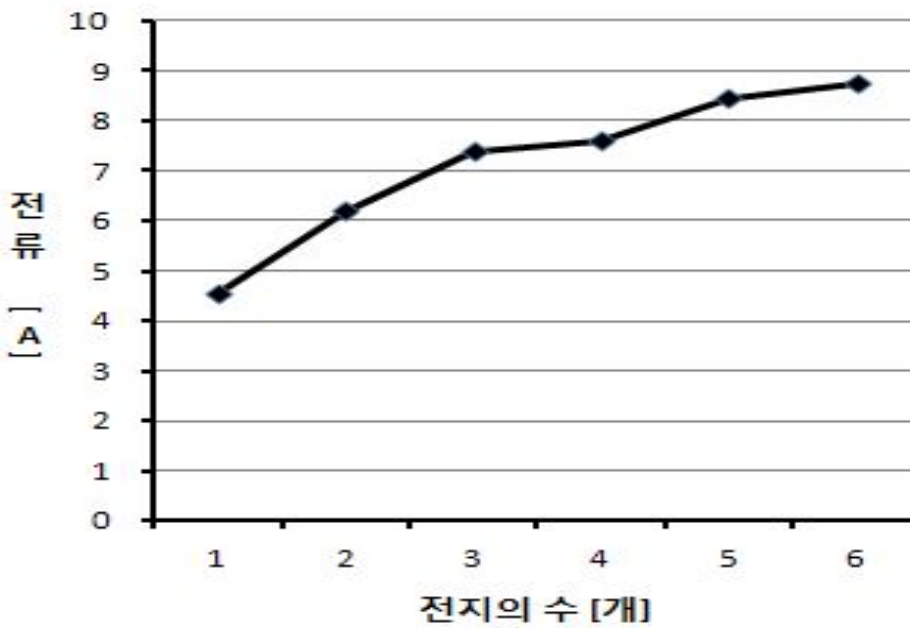


그림 IV-17. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 자동 작성된 전류 크기 변화 그래프

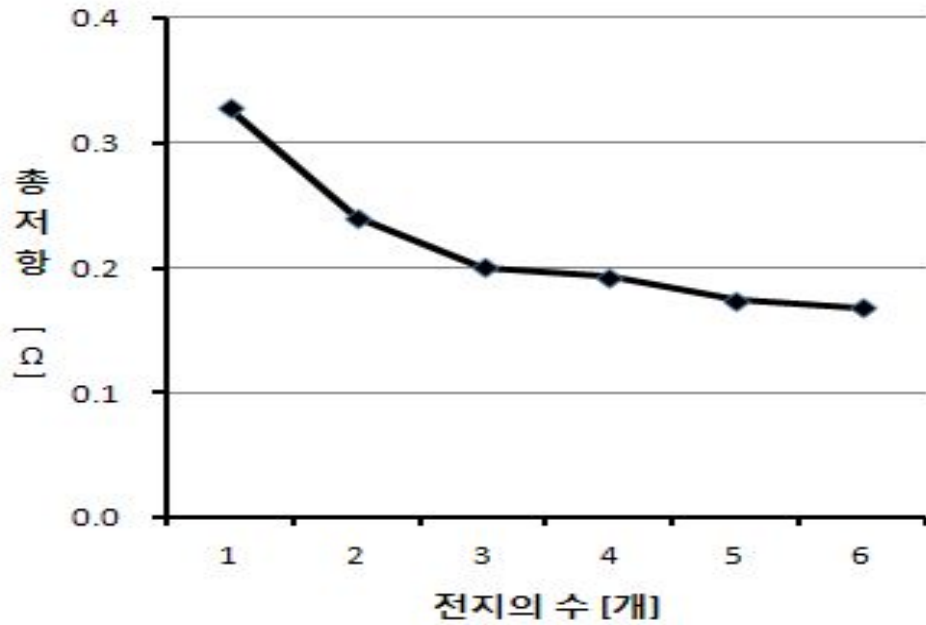


그림 IV-18. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 자동 작성된 총저항 크기 변화 그래프

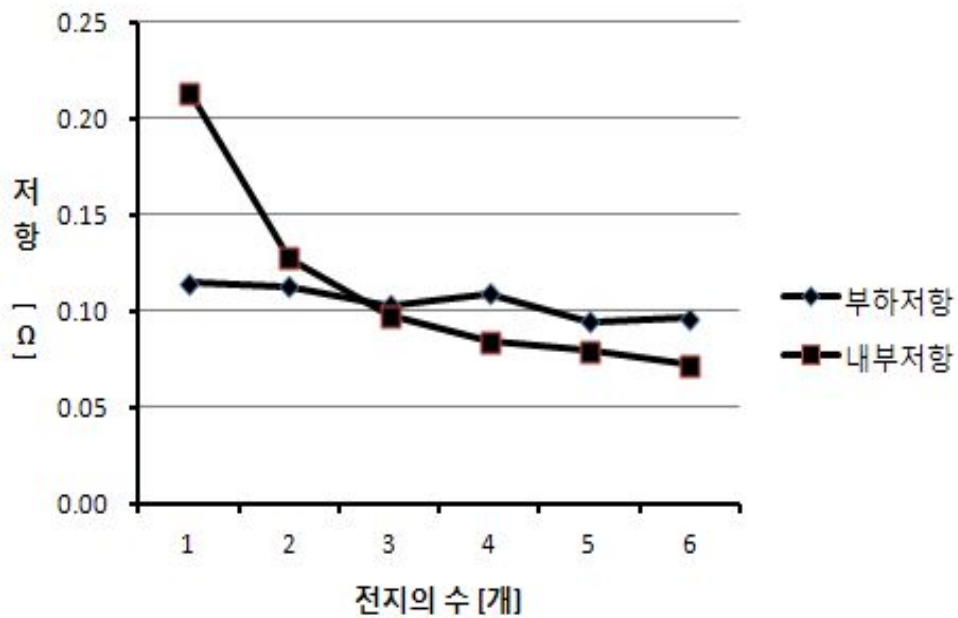


그림 IV-19. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결 실험시 엑셀파일에 자동 작성된 부하저항과 전지의 내부저항 크기 변화 그래프

4. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램

그림 IV-20에서는 안내된 발견 수업의 각 단계에서 POE 방법과 프로그램 내용이 어떻게 관계가 맺어지는지를 보여준다. 즉, 안내된 발견 수업의 각 단계에서 POE 방법이 적용되며, 안내된 발견 수업의 각 단계에서 POE 방법이 적용된 프로그램의 내용이 무엇인지를 보여준다. 안내된 발견 수업의 특징인 관련 지식 및 탐구방법을 안내하는 자료는 점선으로 박스 표시를 하였다. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 변화 프로그램을 안내된 발견 수업의 절차에 따라 살펴보면 그림 IV-20의 내용과 같다.

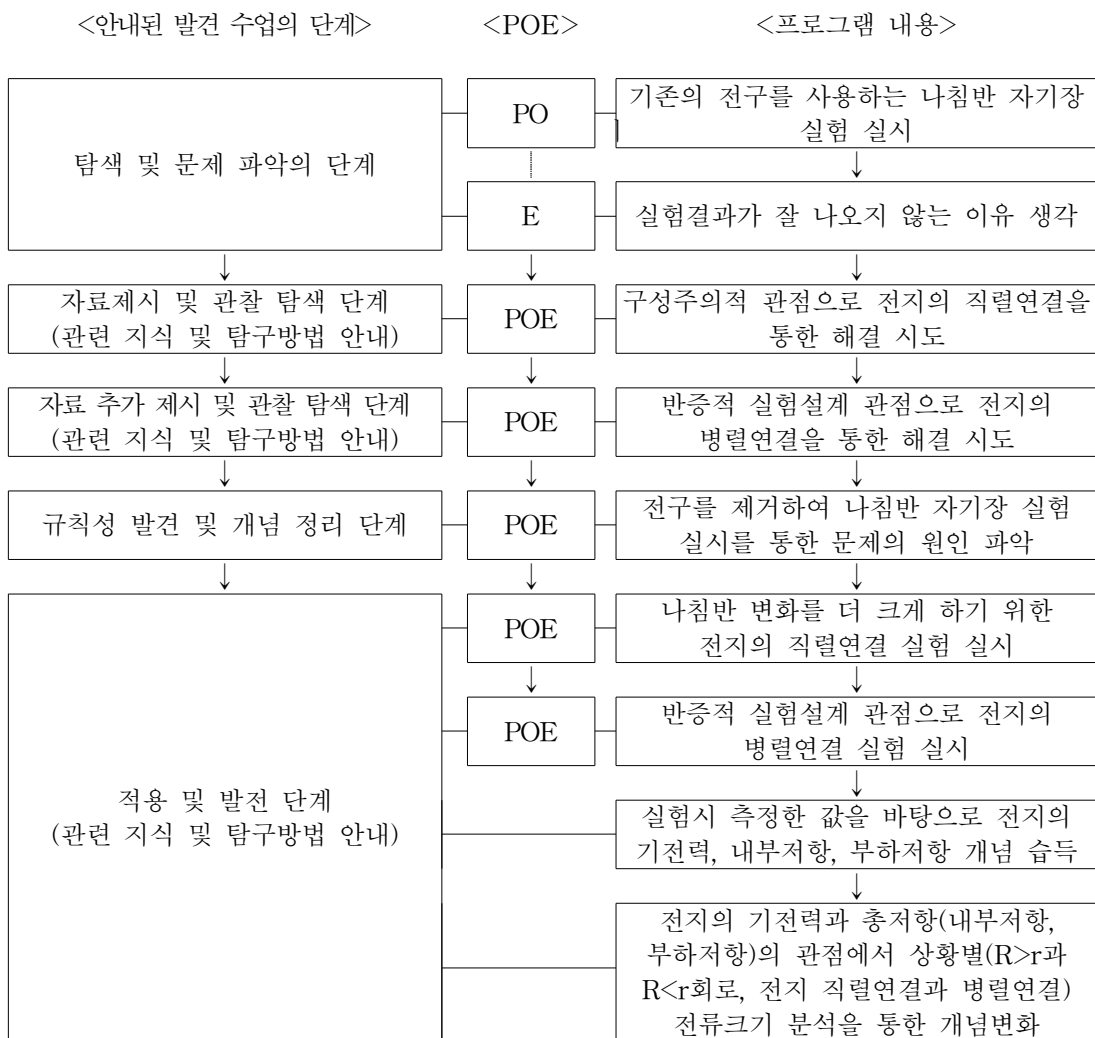


그림 IV-20. 안내된 발견 수업의 단계와 POE, 프로그램 내용과의 관계

1) 관찰 및 문제 파악 단계

관찰 및 문제 파악 단계에서는 지금까지 초등학교 과학과 교과서에 ‘전류와 자기장’ 단원의 ‘전류가 흐르는 전선 부근의 자기장’ 소단원의 내용인 그림 IV-21과 같은 전구가 연결된 전기회로를 제시한다. 그리고 그림 IV-22와 같이 POE 단계 중 예상하기 단계에 해당하는 전선 위나 아래에 나침반의 자침을 전선과 나란히 하고 전류가 흐를 때 나침반의 자침의 변화를 예상하는 활동을 한다.

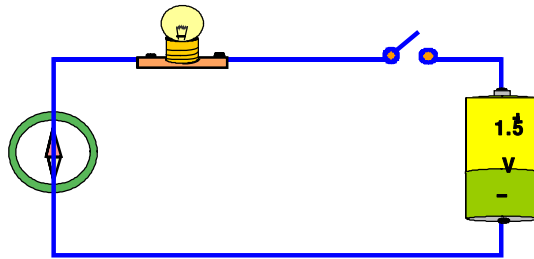


그림 IV-21. 전구가 연결된 나침반 자침 변화 실험 전기회로

위의 전기회로에서, 전선이 나침반의 자침의 방향과 일치하는 방향으로 일직선으로 나침반의 위를 지나도록 하고 스위치를 닫아 전선에 북남방향으로 전류가 흐를 때, 나침반에 자침의 움직임을 예상하여 아래의 자침이 없는 나침반 그림에 자침을 그려 그림으로 나타낸다.

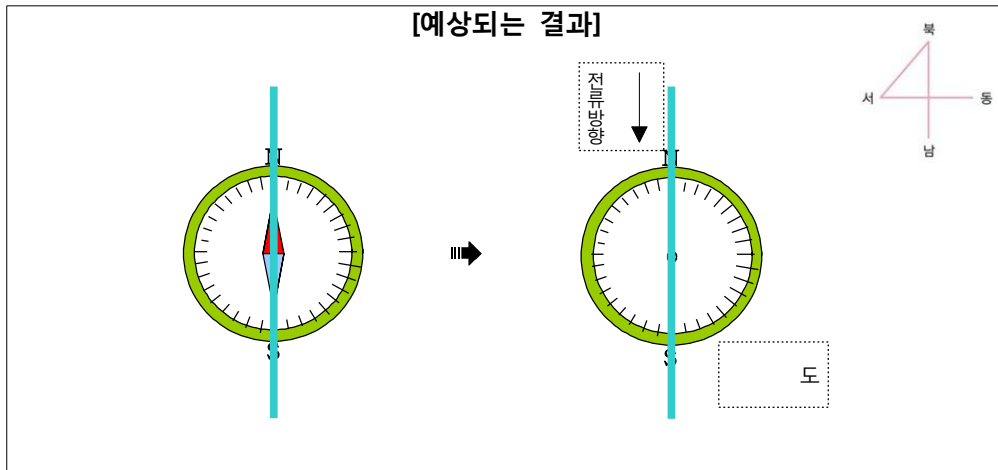


그림 IV-22. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에 전류가 흐를 때 나침반의 자침의 움직임 예상하기 단계

POE 단계 중 예상하기 단계가 끝나면, 관찰하기 단계인 실제 실험을 실시하고 결과를 관찰하고 관찰결과를 워크시트에 기록하는 활동이 진행된다. 그리고 POE 단계 중 설명하기 단계인 결과 및 고찰에서는 그림 IV-23에서와 같이 나침반 자침 각도 변화 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하고 그 이유를 생각하도록 한다. 즉, 예상한 결과보다 실제 실험결과의 각도가 더 적게 측정되는 이유를 생각한다. 이 프로그램의 관찰 및 문제과악 단계에서의 문제는 ‘전류가 흐르는 전선 부근의 나침반에서 자침의 변화가 매우 작다’는 것이다.

- 결과 및 고찰
- 나침반 자침 각도 변화 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명한다.
- 위의 실험의 결과가 예상한 결과와 같은 결과를 얻을 수 없는 이유는 무엇이라고 생각하는가?

그림 IV-23. 나침반 자침 각도 변화 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계

2) 자료제시 및 관찰 탐색 단계

탐색 및 문제 과악 단계에서 예상한 결과와 실제 실험 결과가 차이가 나는 이유에 대해 생각하도록 하였으나 프로그램 참여자 각각이 생각하는 원인이 다양할 것이므로 안내된 발견 수업을 적용한 이 프로그램에서는 자료제시 및 관찰 탐색 단계에서 그림 IV-24와 같이 전지의 직렬연결 관련 지식 및 탐구방법을 안내한다.

- 전선에 흐르는 전류에 의하여 형성되는 자기장의 세기는 전류에 비례한다.
- '전지의 직렬연결에 의하여 보다 큰 전류를 얻을 수 있다'는 것은 이미 '전구와 전지'와 '전기회로' 단원에서 학습되었다.
- 나침반의 자침의 움직임이 작아 이를 관찰하기 어렵다는 문제를 해결하는 것은 나침반의 자침의 움직임을 크게 하여 보다 충분히 관찰하는 것이다. 이는 큰 전류를 전기회로에 흐르게 하는 것이며, 구성주의 학습의 관점에서 큰 전류를 얻기 위하여 전지를 직렬연결하는 방법을 생각할 수 있다.
- 전류를 측정할 때는 전류를 측정하고자 하는 회로의 부분을 분리한 다음, 직렬로 연결한다. 그리고 전류계의 (+)단자는 전지의 (+)극이 나오는 도선에, (-)단자는 전지의 (-)극에서 나오는 단자에 연결한다.

그림 IV-24. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 직렬연결 및 전류계 사용법 관련 지식 및 탐구방법 안내 자료

그리고 그림 IV-25와 같이 단일전지를 연결한 전기회로를 구성하여 나침반 자침의 변화각도와 전선에 흐르는 전류를 측정하고 기록한다.

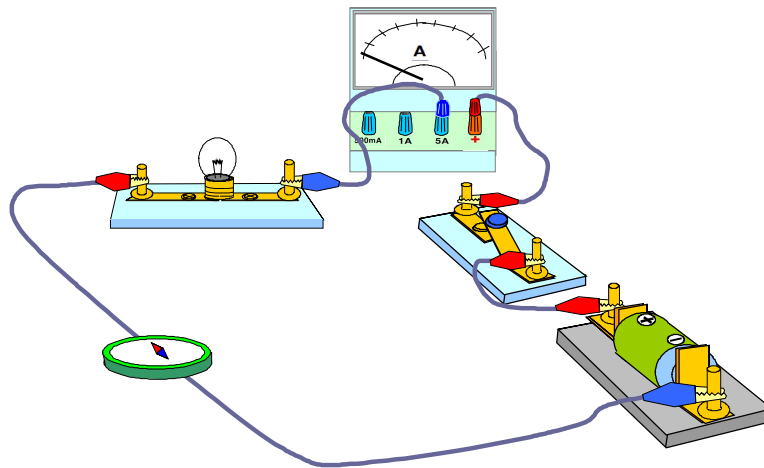


그림 IV-25. 단일전지를 연결한 나침반 자침의 변화각도 실험

그림 IV-25와 같은 단일전지를 연결한 나침반 자침의 변화각도 실험에서의 결과를 근거로 하여, 그림 IV-26과 같이 POE 단계 중 예상하기 단계에 해당하는

전지를 1개에서부터 6개까지 직렬연결하였을 때, 전류의 크기와 나침반의 자침의 변화를 예상하는 활동을 한다.

○ 전류가 나침반 아래에서 흐르게 할 때, 위의 전구가 연결된 전기회로에서 단일전지를 연결하여 얻은 결과를 근거로 하여 전지 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 직렬연결할 경우 나침반 자침의 각도 변화량을 예상하고 기록한다.

그림 IV-26. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 직렬연결시 전류의 크기 및 자침 변화량 예상하기 단계

초등교사들에게 익숙하지 않은 개념인 전지의 기전력과 단자전압을 측정하고 기록하는 활동을 들어가기 전에 전지의 기전력과 단자전압이라는 용어와 실험방법에 대해 안내하는 자료를 그림 IV-27과 같이 제시한다.

○ 전기회로에서 스위치가 열린 상태에서 측정한 전지양단의 전압은 전지 내에 있는 물질들이 화학반응으로 생성되는 화학에너지에 의하여 형성되는 전기적 위치에너지를 나타내는 전위차이다. 전지의 양극에 도체로 연결할 경우 도체에 전위차를 발생시켜 전하를 이동하게 하여 전류가 통하게 하는 원동력이 되므로, 이를 전지의 기전력(electromotive force, $emf(E)$)이라고 한다. 기전력의 단위는 전압차와 마찬가지로 V(volt)로 나타낸다.

○ 전기회로에서 스위치를 닫았을 때, 전기회로의 전압원인 전지의 양단전압은 전기회로에서 전지 외부에 존재하는 모든 외부저항 R에 의하여 강하되는 전압을 의미한다. 이를 단자전압이라고 한다.

○ 전압계는 전압을 측정하고자 하는 전기부품과 병렬로 전기회로에 연결하며, (+)단자는 전지의 (+)극이 나오는 도선에, (-)단자는 전지의 (-)극에서 나오는 단자에 연결한다.

○ 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 자침의 회전각도를 측정할 수 있도록 전기회로에 전지를 1개부터 6개까지 직렬연결하고 스위치, 전구 1개, 다수의 집게 전선, 직류전압계와 직류전류계, 나침반을 사용하여 전기회로를 구성한다. 여기에서 전류계는 직렬로 연결하고, 전압계는 병렬로 연결하여 측정한다.

그림 IV-27. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험시 필요한 전지의 기전력과 단자전압, 전압계에 대한 지식 및 탐구방법 안내 자료

그림 IV-28에서와 같이 POE 단계 중 관찰하기 단계인 실제 전지의 직렬연결 실험을 실시하고 결과를 관찰하고 워크시트 및 엑셀파일에 기록하는 활동이 진행된다. 여기서 이 프로그램에 참여한 초등교사들이 그래프 작성 및 전류증가량과 전류증가비율을 계산하는 시간을 단축하게 하고 자료를 해석하는데 더 시간을 활용할 수 있도록 워크시트 작성 보조용 엑셀파일을 제공한다. 즉, 엑셀파일에는 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 변화 각도 이상 4가지만 입력하면, 전류 증가량과 전류증가비율이 자동으로 계산된다.

- 전구가 연결된 전기회로에서 스위치를 열었을 때 전지의 기전력을 측정하고, 스위치를 닫았을 때 나침반의 자침의 변화각도와 전류, 단자전압 측정하고 기록한다.

그림 IV-28. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험시 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 변화 각도 관찰하기 단계

POE 단계 중 설명하기 단계인 결과 및 고찰에서는 그림 IV-29에서와 같이 자동 작성된 전류와 나침반 각도 그래프를 보면서 전구가 연결된 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하고 그 이유를 생각하도록 한다.

- 결과 및 고찰
 - 위의 전류 변화 그래프를 보고 예상한 결과와 위의 실험에서 얻은 결과를 비교하여 설명한다.
 - 위의 실험의 결과가 예상한 결과와 같은 결과를 얻을 수 없는 이유는 무엇이라고 생각하는가?
 - 결국 전구를 연결한 회로에서 전지를 계속 직렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지 전류변화 그래프와 표의 전류 증가량과 증가비율을 바탕으로 아래에 설명한다.

그림 IV-29. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계

3) 자료 추가 제시 및 관찰 탐색 단계

자료 추가 제시 및 관찰 탐색 단계에서는 그림 IV-30과 같이 정지숙(2005)이 언급한 실험설계 방법 중 반증전략에 해당하는 전지의 병렬연결 관련 지식 및 탐구방법을 안내한다.

○ '전지를 병렬연결 하면 전지 1개의 전류 크기와 비슷하다'는 것은 이미 '전구와 전지'와 '전기회로' 단원에서 학습되었다. 그래서 전지를 병렬연결하여도 전류의 크기는 변하지 않을 것이라고 생각한다.

○ 그러나 요즘 과학교육과정에서 강조하고 있는 자유탐구 등의 과학적 탐구의 단계 중 실험설계 단계에서는 종속변인에 영향을 줄 것이라고 믿는 변인만 조작(예상 확인전략 중 확증전략)할 수도 있으나, 과학적 사고력과 탐구력이 신장되어 가면 종속변인에 영향을 주지 않는 변인까지 모두 실험을 통해 확인(예상확인전략 중 반증 전략)하게 된다. 바로 이 반증주의의 관점에서 전지를 병렬연결하여 전류의 크기가 정말 일정한지를 확인해 보도록 하자.

그림 IV-30. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 병렬연결 관련 지식 및 탐구방법 안내 자료

앞의 그림 IV-25와 같이 단일전지를 연결한 전기회로를 구성하여 나침반 자침의 변화각도와 전선에 흐르는 전류를 측정하고 기록한 내용을 바탕으로, 그림 IV-31과 같이 POE 단계 중 예상하기 단계에 해당하는 전지를 1개에서부터 6개까지 직렬연결하였을 때, 전류의 크기와 나침반의 자침의 변화를 예상하는 활동을 한다.

○ 전류가 나침반 아래에서 흐르게 할 때, 위의 전구가 연결된 전기회로에서 단일전지를 연결하여 얻은 결과를 근거로 하여 전지 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 병렬연결할 경우 나침반 자침의 각도 변화량을 예상하고 기록한다.

그림 IV-31. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 병렬연결시 전류의 크기 및 자침 변화량 예상하기 단계

그림 IV-32에서와 같이 POE 단계 중 관찰하기 단계인 실제 전지의 병렬연결 실험을 실시하고 결과를 관찰하고 워크시트 및 엑셀파일에 기록하는 활동이 진행된다. 여기에서도 전구가 연결된 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험에서와 같이 이 프로그램에 참여한 초등교사들이 그래프 작성 및 전류증가량과 전류증가 비율을 계산하는 시간을 단축하게 하고 자료를 해석하는데 더 시간을 활용할 수 있도록 워크시트 작성 보조용 엑셀파일을 제공한다.

○ 전구가 연결된 전기회로에서 스위치를 열었을 때 전지의 기전력을 측정하고, 스위치를 닫았을 때 나침반의 자침의 움직임과 전류, 단자전압 측정하고 아래의 표에 기록한다.

그림 IV-32. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 병렬연결 실험시 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 변화 각도 관찰하기 단계

POE 단계 중 설명하기 단계인 결과 및 고찰에서는 그림 IV-33에서와 같이 자동 작성된 전류와 나침반 각도 그래프를 보면서 전구가 연결된 전기회로에서 전지의 병렬연결 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하고 그 이유를 생각하도록 한다.

□ 결과 및 고찰

○ 위의 전류 변화 그래프를 보고 예상한 결과와 위의 실험에서 얻은 결과를 비교하여 설명한다.

○ 위의 실험의 결과가 예상한 결과와 같은 결과를 얻을 수 있는 이유는 무엇이라고 생각하는가?

그림 IV-33. 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 병렬연결 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계

4) 규칙성 발견 및 개념 정리 단계

규칙성 발견 및 개념 정리 단계에서는 초등교사들이 익숙하지 않은 실험 구성인 전구를 제거하고 전선만으로 구성된 전기회로를 만든다. 이런 전기회로는 초등교사들에게 생소하므로 안내된 발견 수업을 적용한 이 프로그램에서는 그림 IV-34와 같이 전구 없이 전선만으로 연결한 전기회로 관련 지식 및 탐구방법을 안내한다.

- 지금까지 초등학교 과학과 교과서 및 교사용 지도서에서는 전선에 흐르는 전류에 의하여 나침반의 자침이 움직이는 현상으로 자기장을 설명해왔다. 그런데 전선에 전류가 흐르고 있다는 것을 확인하기 위해서, 그리고 회로의 합선으로 인한 전지 소모를 방지하기 위하여 전구를 사용해왔다.
- 그러나 전구를 연결하지 않고 실험을 할 때에도 각도를 측정할 때에만 회로의 스위치를 닫아주면 전지의 소모가 크지 않으며, 나침반의 자침이 움직이는 것을 통해 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다. 또한 국제전기기술위원회의 기준에 따르면 전압이 약 20V 이하인 경우에는 인체가 감전이 일어나지 않는 안전한 전압이라고 규정하고 있어서 인체의 안전에 영향을 주지 않는다.

그림 IV-34. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 관련 지식 및 탐구방법 안내 자료

규칙성 발견 및 개념 정리 단계에서는 그림 IV-35와 같은 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로에서 그림 IV-36과 같이 POE 단계 중 예상하기 단계에 해당하는 전선 아래에 나침반의 자침을 전선과 나란히 하고 전류가 흐를 때 나침반의 자침의 변화를 예상하는 활동을 한다.

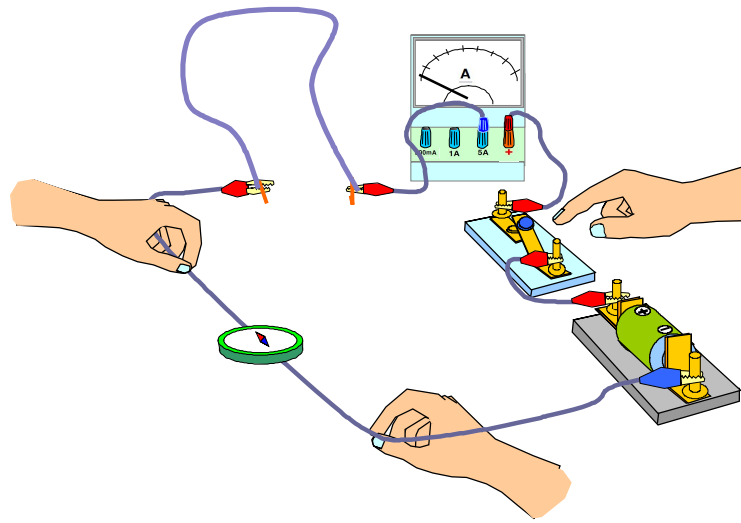


그림 IV-35. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로

위의 전기회로에서, 전선이 나침반의 자침의 방향과 일치하는 방향으로 일직선으로 나침반의 아래를 지나도록 하고 스위치를 닫아 전선에 북남방향으로 전류가 흐를 때, 나침반에 자침의 움직임을 예상하여 아래의 자침이 없는 나침반 그림에 자침을 그려 그림으로 나타낸다.

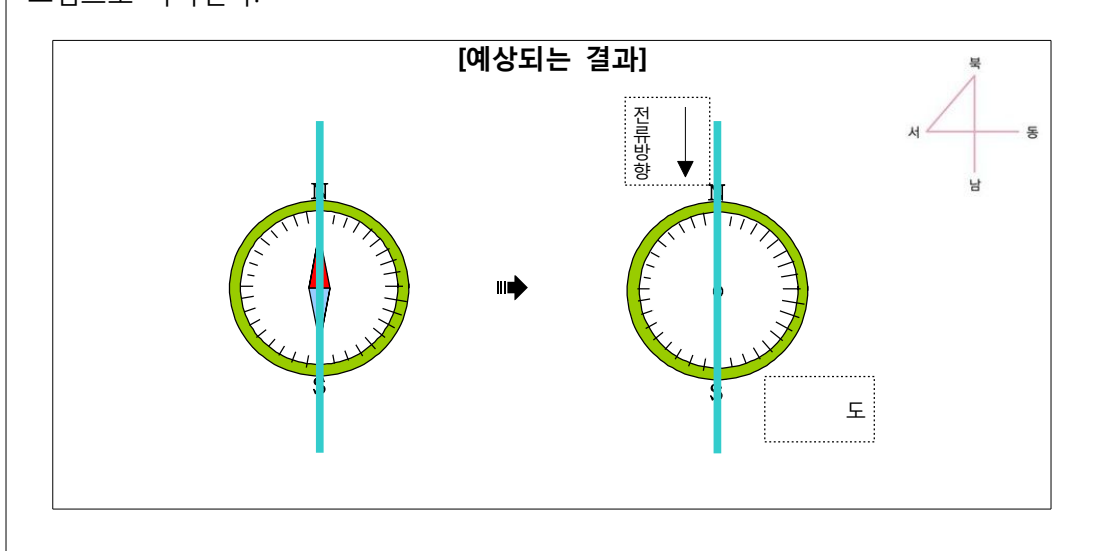


그림 IV-36. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전류가 흐를 때 나침반의 자침의 움직임 예상하기 단계

POE 단계 중 예상하기 단계가 끝나면, 관찰하기 단계인 실제 실험을 실시하고 결과를 관찰하고 워크시트에 기록하는 활동이 진행된다. 그리고 POE 단계 중 설명하기 단계인 결과 및 고찰에서는 그림 IV-37에서 전구없이 전선만으로 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에 전류가 흐를 때 나침반 자침 각도 변화 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하고 그 이유를 생각하도록 한다. 즉, 예상한 결과보다 실제 실험결과의 각도가 더 크게 측정되는 이유를 생각한다. 이 활동을 통해서 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서는 전구라는 큰 부하저항 때문에 전지를 직렬연결하거나 병렬연결하더라도 전류가 매우 적게 나왔으나, 전구 없이 전선만으로 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 회로에서는 부하저항이 작기 때문에 큰 전류가 나와서 나침반 자침의 각도 변화가 크게 일어난다는 규칙성을 발견하고 개념을 정리한다. 즉, 지금까지 전류가 흐르는 전선 부근의 자기장 실험이 잘 되지 않은 이유는 전구의 사용이라는 것이 밝혀진다.

- 결과 및 고찰
- 나침반 자침 각도 변화 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명한다.
- 만약 예상값과 측정값이 차이가 난다면 그 이유는 무엇이라고 생각하는가?

그림 IV-37. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 나침반 자침 각도 변화 실험 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계

5) 적용 및 발전 단계 1

적용 및 발전 단계 1에서는 그림 IV-38과 같이 나침반 자침의 변화각도를 더 크게 하기 위하여 전지의 직렬연결 관련 지식 및 탐구방법을 안내한다.

- 전선에 흐르는 전류에 의하여 형성되는 자기장의 세기는 전류에 비례한다.
- '전지의 직렬연결에 의하여 보다 큰 전류를 얻을 수 있다'는 것은 이미 '전구와 전지'와 '전기회로' 단원에서 학습되었다.
- 나침반 자침의 변화를 더 크게 하기 위해서, 구성주의 학습의 관점에서 큰 전류를 얻기 위하여 전지를 직렬연결하는 방법을 생각할 수 있다.

그림 IV-38. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 직렬연결 관련 지식 및 탐구방법 안내 자료

그림 IV-35에서 측정된 단일전지를 연결한 나침반 자침의 변화각도 실험에서의 결과를 근거로 하여, 그림 IV-39와 같이 POE 단계 중 예상하기 단계에 해당하는 전지를 1개에서부터 6개까지 직렬연결 하였을 때, 전류의 크기와 나침반의 자침의 변화를 예상하는 활동을 한다.

- 전류가 나침반 아래에서 흐르게 할 때, 위의 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로에서 단일전지를 연결하여 얻은 결과를 근거로 하여 전지 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 직렬연결할 경우 전류의 크기와 나침반 자침의 각도 변화량을 예상하고 기록한다.

그림 IV-39. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 직렬연결시 전류의 크기 및 자침 변화량 예상하기 단계

그림 IV-40에서와 같이 POE 단계 중 관찰하기 단계인 실제 전지의 직렬연결 실험을 실시하고 결과를 관찰하고 워크시트 및 엑셀파일에 기록하는 활동이 진행된다. 여기서 이 프로그램에 참여한 초등교사들이 그래프 작성 및 전류증가량과 전류증가비율을 계산하는 시간을 단축하게 하고 자료를 해석하는데 더 시간을 활용할 수 있도록 워크시트 작성 보조용 엑셀파일을 제공한다.

○ 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로에서 스위치를 열었을 때 전지의 기전력을 측정하고, 스위치를 닫았을 때 나침반의 자침의 움직임과 전류, 단자전압 측정하고 기록한다.

그림 IV-40. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험시 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 변화 각도 관찰하기 단계

그림 IV-40과 같이 실험을 실시하면, 나침반 자침의 변화 각도가 90° 이상으로 측정되는 현상이 발생하게 된다. 초등교사들에게 전류에 의한 자기장에 의하여 나침반 자침의 변화 각도가 90° 보다 더 크게 측정되는 현상은 이해하기 쉽지 않다. 따라서 이와 관련된 지식을 그림 IV-41과 같이 프로그램의 마지막 부분에서 안내한다. 그래서 프로그램에서 사용한 일반적인 나침반에서는 자침의 변화 각도가 90° 이상이 측정되는 현상이 생기지만, 전류가 흐르는 전선 주위의 자기장은 90° 이상으로 형성되지 않는다는 것을 프로그램에 참여한 교사들이 정확히 이해하도록 안내하였다.

이에 대해 좀 더 자세하게 살펴보면, 실제 초등학교에서 사용하고 있는 일반적인 나침반은 나침반 고유의 기계적 특성인 나침반 바늘이 회전관성으로 인하여 전선에 흐르는 전류로 형성된 자기장에 의한 회전력과 지구자기장에 의한 회전력이 평형이 되는 각도에서 멈추지 않고 계속 회전하여 나침반의 각도 변화가 90° 이상이 측정되는 현상이 나타나게 된다는 것이다. 그러나 실제 자기장만을 측정하는 디지털 나침반을 사용하면 그림 IV-41과 같이 9 A 정도의 큰 전류가 흐르더라도 나침반 자침의 변화각도는 90° 를 넘지 않게 된다.

■ 나침반 자침 각도 조정 자료

전구를 연결하지 않고, 전지의 기전력이 1.5 V로 비슷한 건전지 6개를 전기회로에 하나씩 추가로 연결하며 자기장 센서가 있는 디지털 나침반으로 측정한 전류와 나침반 변화 각도는 아래의 표와 같다.

표의 내용을 살펴보면, 전지의 직렬연결에서는 전류의 크기는 약 3 A 정도의 크기에서 비슷한 값을 나타내고 있고, 나침반 자침의 변화 각도도 약 40°의 크기에서 비슷한 크기를 보이고 있다. 전지의 병렬연결에서는 전류의 크기가 2.7 A에서부터 9.3 A까지 증가하고 있고, 나침반 자침의 변화 각도도 36°에서 77°까지 증가하고 있다.

전지연결 방법	직렬연결		병렬연결	
	전류(A)	나침반 자침 변화 각도(°)	전류(A)	나침반 자침 변화 각도(°)
1	2.7	36	2.7	36
2	3.2	42	4.5	50
3	3.4	45	6.0	63
4	3.6	45	7.5	71
5	3.7	46	8.7	74
6	3.7	46	9.3	77

이렇게 자기장 센서가 있는 디지털 나침반의 각도 변화는 90°를 넘지 않는다. 그런데 프로그램에서 사용하는 일반적인 나침반에서는 각도가 100°를 넘기도 한다. 그 이유는 실제 초등학교에서 사용하고 있는 일반적인 나침반에서는 나침반 고유의 기계적 특성으로 큰 전류로 인해 나침반 자침에 강한 힘이 작용하기 때문이다. 즉, 나침반 바늘이 회전관성으로 인하여, 전선에 흐르는 전류로 형성된 자기장에 의한 회전력과 지구자기장에 의한 회전력이 평형이 되는 각도에서 멈추지 않고 계속 회전하여 나침반의 각도 변화가 90°이상이 측정되는 현상이 나타나게 되는 것이다. 그러나 실제 자기장만을 측정하는 디지털 나침반을 사용하면 위의 표와 같이 9 A 정도의 큰 전류가 흐르더라도 나침반 자침의 변화각도는 90°를 넘지 않는다.

그림 IV-41. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 나침반의 각도 조정 자료

POE 단계 중 설명하기 단계인 결과 및 고찰에서는 그림 IV-42에서와 같이 자동 작성된 전류와 나침반 각도 그래프를 보면서 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하고 그 이유를 생각하도록 한다.

□ 결과 및 고찰

- 위의 전류 변화 그래프를 보고 예상한 결과와 위의 실험에서 얻은 결과를 비교하여 설명한다.
- 위의 실험의 결과가 예상한 결과와 달랐다면, 예상한 결과를 얻을 수 없는 이유는 무엇이라고 생각하는가?
- 결국 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로에서 전지를 계속 직렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지 전류변화 그래프와 표의 전류 증가량과 증가비율을 바탕으로 아래에 설명한다.

그림 IV-42 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 직렬연결 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계

6) 적용 및 발전 단계 2

적용 및 발전 단계 2에서는 그림 IV-43과 같이 정지숙(2005)이 언급한 실험설계 방법 중 반증전략에 해당하는 전지의 병렬연결 관련 지식 및 탐구방법을 안내한다.

○ '전지를 병렬연결 하면 전지 1개의 전류 크기와 비슷하다'는 것은 이미 '전구와 전지'와 '전기회로' 단원에서 학습되었다. 그래서 전지를 병렬연결하여도 전류의 크기는 변하지 않을 것이라고 생각한다.

○ 그러나 요즘 과학교육과정에서 강조하고 있는 자유탐구 등의 과학적 탐구의 단계 중 실험설계 단계에서는 종속변인에 영향을 줄 것이라고 믿는 변인만 조작(예상 확인전략 중 확증전략)할 수도 있으나, 과학적 사고력과 탐구력이 신장되어 가면 종속변인에 영향을 주지 않는 변인까지 모두 실험을 통해 확인(예상확인전략 중 반증전략)하게 된다. 바로 이 반증주의의 관점에서 전지를 병렬연결하여 전류의 크기가 정말 일정한지를 확인해 보도록 하자.

그림 IV-43. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 병렬연결 관련 지식 및 탐구방법 안내 자료

그림 IV-35에서 측정한 단일전지를 연결한 나침반 자침의 변화각도 실험에서의 결과를 근거로 하여, 그림 IV-44와 같이 POE 단계 중 예상하기 단계에 해당 하는 전지를 1개에서부터 6개까지 병렬연결하였을 때, 전류의 크기와 나침반의 자침의 변화를 예상하는 활동을 한다.

○ 전류가 나침반 아래에서 흐르게 할 때, 위의 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로에서 단일전지를 연결하여 얻은 결과를 근거로 하여 전지 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 병렬연결할 경우 전류의 크기와 나침반 자침의 각도 변화량을 예상하고 기록한다.

그림 IV-44. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 병렬연결시 전류의 크기 및 자침 변화량 예상하기 단계

그림 IV-45에서와 같이 POE 단계 중 관찰하기 단계인 실제 전지의 병렬연결 실험을 실시하고 결과를 관찰하고 워크시트 및 엑셀파일에 기록하는 활동이 진행된다. 여기서 이 프로그램에 참여한 초등교사들이 그래프 작성 및 전류증가량과 전류증가비율을 계산하는 시간을 단축하게 하고 자료를 해석하는데 더 시간을 활용할 수 있도록 워크시트 작성 보조용 엑셀파일을 제공한다.

○ 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로에서 스위치를 열었을 때 전지의 기전력을 측정하고, 스위치를 닫았을 때 나침반의 자침의 움직임과 전류, 단자전압을 측정하고 기록한다.

그림 IV-45 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 병렬연결 실험시 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 변화 각도 관찰하기 단계

POE 단계 중 설명하기 단계인 결과 및 고찰에서는 그림 IV-46에서와 같이 자동 작성된 전류와 나침반 각도 그래프를 보면서 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로에서 전지의 병렬연결 실험 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하고 그 이유를 생각하도록 한다.

□ 결과 및 고찰

- 위의 전류 변화 그래프를 보고 예상한 결과와 위의 실험에서 얻은 결과를 비교하여 설명한다.
- 위의 실험의 결과가 예상한 결과와 달랐다면, 예상한 결과를 얻을 수 없는 이유는 무엇이라고 생각하는가?
- 결국 50cm 길이의 전선을 연결한 전기회로에서 전지를 계속 병렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지 전류변화 그래프와 표의 전류 증가량과 증가비율을 바탕으로 아래에 설명한다.

그림 IV-46. 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 병렬연결 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명하는 단계

7) 적용 및 발전 단계 3

적용 및 발전 단계 3에서는 초등교사들에게 생소한 전지의 내부저항과 부하저항 그리고 옴의 법칙과 키르히호프의 법칙 관련 지식 및 탐구방법을 그림 IV-47과 같이 안내한다.

1. 내부저항과 부하저항의 개념

① 부하저항(R)은 전지에서 나오는 전기에너지가 아닌 다른 형태의 에너지(예: 열에너지, 빛에너지, 운동에너지 등)의 형태로 바꾸어 주는 저항으로, 간단하게 말하면 전기 회로에서 전지를 제외한 나머지 모든 전기소자(전선, 전구, 모터, 발광다이오드 등)들은 모두 부하저항이다.

② 전지는 화학에너지를 전기에너지로 전환시켜 전기회로에 에너지를 공급하는 전기 회로의 에너지원으로서, 화학반응에 의하여 생겨난 물질이 빠르게 확산되지 못하고 전극 주변에 쌓여서 전극 주변의 이온의 움직임이 느려지게 되어 전해질과 양쪽 극 사이의 전위차가 처음보다 작아지게 되고 이로 인해 전류의 크기도 작아지게 된다. 따라서 전지의 내부저항은 전지 재료 물질의 고유의 저항에 화학반응에 의해 생긴 저항이 합쳐져 나타난다.

③ 부하저항 R에 전류 I가 지나갈 때, 전류 I와 부하저항 R의 곱인 IR만큼의 전압강하가 일어나게 된다. 이렇게 전압과 전류 및 저항 사의 관계를 나타내는 옴의 법칙을 식으로 표현하면,

$$V=IR \text{ -----(1)}$$

이 된다.

④ 어떤 폐회로에서도 전압의 합은 0이 된다는 키르히호프의 전압법칙(KVL)에 따라 부하저항에서 걸리는 전압과 전지의 내부저항에서 걸리는 전압의 합은 기전력 E와 같아야 한다. 기전력 E는 전류의 방향이 -극에서 +극으로 되어 있으므로 음수가 되며, 부하저항과 전지의 내부저항의 전류의 방향은 +극에서 -극으로 되어 있으므로 부하저항과 전지의 내부저항에서 걸리는 전압은 양수가 된다. 이 내용을 식으로 정리하면 아래와 같다.

$$-E+V_{부}+V_{내}=0 \text{ -----(2)}$$

$$E=V_{부}+V_{내} \text{ -----(3)}$$

$$E=V_{부}+V_{내}=IR+Ir \text{ -----(4)}$$

그림 IV-47. 전지의 내부저항과 부하저항 그리고 옴의 법칙과 키르히호프의 법칙 관련 지식 및 탐구방법 안내자료

또한 전지의 내부저항과 부하저항을 구하는 식과 저항의 직렬연결 병렬연결시 전체 저항과 부분저항과의 관계와 관련된 지식 및 탐구방법을 그림 IV-48과 같이 안내한다.

2. 부하저항과 내부저항을 구하는 계산식

① 전지에 연결된 전기회로가 열려 있을 경우에는 내부저항 r 에 전류가 흐르지 않아 내부저항에 의한 전압강하가 없으므로 전지의 양단전압은 기전력과 같다. 그러나 전지가 닫힌 전기회로에 연결되어 있을 경우에는 내부저항 r 에 전류가 흐르면서 내부저항에 의한 전압강하

$$V_{내} = Ir \text{ -----(5)}$$

가 생긴다.

② 전지의 양단전압은 내부저항에 의하여 강하된 전압만큼 기전력보다 적은 전압을 전기회로에 공급하게 된다. 전기회로에 전류가 흐르는 상태에서 전지의 양단전압을 단자전압 V 이라고 하며, 이는 다음 식과 같이 표현된다.

$$V_{부} = E - V_{내} \text{ -----(6)}$$

또한 이것은 외부저항에 의하여 강하되는 전압과 같다.

$$V_{부} = IR \text{ -----(7)}$$

이때 부하저항 R 은

$$R = \frac{V_{부}}{I} \text{ -----(8)}$$

로 표현된다.

즉, 부하저항 R 은 단자전압 V 를 전류 I 로 나누면 구할 수 있다.

따라서 내부저항 r 에 의한 전압강하 $V_{내}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{내} = E - V_{부} \text{ -----(9)}$$

$$Ir = E - V_{부} \text{ -----(10)}$$

이때 내부저항 r 은

$$r = \frac{E - V}{I} \text{ -----(11)}$$

로 표현된다.

즉 내부저항 r 은 기전력에서 단자전압을 뺀 양인 $(E - V_{\text{부}})$ 을 전류 I 로 나누면 구할 수 있다.

③ 또한 저항은 직렬연결하면 증가하게 되고 병렬연결하면 감소하게 된다.

저항의 직렬연결을 살펴보면, 전체저항을 R 이라고 하고 부분저항을 R_1, R_2, R_3 이라고 할 때 저항을 직렬연결하면 아래의 식과 같이 전체저항은 부분저항의 합과 같게 된다.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \text{ -----(12)}$$

저항의 병렬연결을 살펴보면, 전체저항을 R 이라고 하고 부분저항을 R_1, R_2, R_3 이라고 할 때 저항을 병렬연결하면 아래의 식과 같이 전체저항 R 의 역수는 부분저항들의 역수의 합과 같게 된다.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \text{ -----(13)}$$

그림 IV-48. 전지의 내부저항과 부하저항을 구하는 식과 저항의 직렬연결 병렬연결시 전체 저항과 부분저항과의 관계와 관련된 지식 및 탐구방법

그림 IV-48의 전지의 내부저항과 부하저항을 구하는 식에 따라 엑셀파일에서 자동 계산된 자료를 통해 그림 IV-50과 같이 전구가 연결된 회로에서 전지의 내부저항과 부하저항의 크기를 비교하게 한다. 그리고 전구가 연결된 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지를 직렬로 연결할 때와 병렬로 연결할 때 전류의 크기는 어떻게 변화하는지를 예상하게 하고, 엑셀파일에서 자동 작성된 전지의 기전력과 전류, 총저항, 부하저항, 전지 전체 내부저항의 그래프와 직렬연결된 전지의 개수가 증가할수록 전류증가량이 감소하는 이유를 파악할 수 있는 보충자료를 보면서 그 이유도 기록하도록 한다.

전구가 연결된 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 개수가 증가할수록 전류의 증가량이 감소하는 이유를 파악할 수 있는 보충자료는 그림 IV-49와 같이 제시한다.

○ 전지의 개수가 증가할수록 전류의 증가량이 감소하는 이유를 파악할 수 있는 보충자료

※ 내부저항이 없는 전지를 직렬연결한 전기회로의 전류계산값

기전력(V)	총저항(Ω)	부하저항(Ω)	전류(A)	전류증가량(A)	전류증가비율(%)
1.5	40	40	0.038		
3.0	40	40	0.075	0.038	100.0
4.5	40	40	0.113	0.038	100.0
6.0	40	40	0.150	0.038	100.0
7.5	40	40	0.188	0.038	100.0
9.0	40	40	0.225	0.038	100.0

※ 내부저항이 있는 전지를 직렬연결한 전기회로의 전류계산값

기전력(V)	부하저항(Ω)	내부저항(Ω)	총저항(Ω)	전류(A)	전류증가량(A)	전류증가비율(%)
1.5	40	0.5	40.5	0.037		
3.0	40	1.0	41.0	0.073	0.036	97.6
4.5	40	1.5	41.5	0.108	0.035	95.2
6.0	40	2.0	42.0	0.143	0.034	92.9
7.5	40	2.5	42.5	0.176	0.034	90.8
9.0	40	3.0	43.0	0.209	0.033	88.6

그림 IV-49. 전지의 개수가 증가할수록 전류의 증가량이 감소하는 이유를 파악할 수 있는 보충자료

3. 자료변환과 자료해석

○ 전구가 연결된 전지의 직렬회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 비교해 보세요.

○ 전구가 연결된 전지의 병렬회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 비교해 보세요.

○ 전구가 연결된 모든 회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 아래에 부등호로 나타내보세요.

○ 전구가 연결된 회로는 항상 ()이 ()보다 큼니다. 이런 회로에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기는 어떻게 될까요?

- 전지를 계속 직렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지를 아래에 기록한다. 그리고 엑셀파일에서 자동 작성된 전지의 기전력과 전류, 총저항, 부하저항, 전지 전체 내부저항의 그래프를 보면서 그 이유도 기록한다.

- 전지를 계속 병렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지 아래에 기록한다. 그리고 엑셀파일에서 자동 작성된 전지의 기전력과 전류, 총저항, 부하저항, 전지 전체 내부저항의 그래프를 보면서 그 이유도 기록한다.

그림 IV-50. 전구가 연결된 회로에서 전지의 내부저항과 부하저항의 크기 비교 및 전지를 직렬로 연결할 때와 병렬로 연결할 때 전류의 크기 변화 예상하기

그림 IV-49의 전지의 내부저항과 부하저항을 구하는 식에 따라 엑셀파일에서 자동 계산된 자료를 통해 그림 IV-51과 같이 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 내부저항과 부하저항의 크기를 비교하게 한다. 그리고 전지를 직렬로 연결할 때와 병렬로 연결할 때 전류의 크기는 어떻게 변화하는지를 예상하게 하고, 엑셀파일에서 자동 작성된 전지의 기전력과 전류, 총저항, 부하저항, 전지 전체 내부저항의 그래프를 보면서 그 이유도 기록하도록 한다.

3. 자료변환과 자료해석

- 전구대신 50cm 길이의 전선이 연결된 전지의 직렬회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 비교해 보세요.
- 전구대신 50cm 길이의 전선이 연결된 전지의 병렬회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 비교해 보세요.
- 전구대신 50cm 길이의 전선이 연결된 모든 회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 아래에 부등호로 나타내보세요.
- 전구대신 50cm 길이의 전선이 연결된 회로는 항상 ()이 ()보다 큽니다. 이런 회로에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기는 어떨까요?
 - 전지를 계속 직렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지를 아래에 기록한다. 그리고 엑셀파일에서 자동 작성된 전지의 기전력과 전류, 총저항, 부하저항, 전지 전체 내부저항의 그래프를 보면서 그 이유도 기록한다.
 - 전지를 계속 병렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지 아래에 기록한다. 그리고 엑셀파일에서 자동 작성된 전지의 기전력과 전류, 총저항, 부하저항, 전지 전체 내부저항의 그래프를 보면서 그 이유도 기록한다.

그림 IV-51. 전구대신 50cm 길이의 전선이 연결된 회로에서 전지의 내부저항과 부하저항의 크기 비교 및 전지를 직렬로 연결할 때와 병렬로 연결할 때 전류의 크기 변화 예상하기

관찰 및 문제 파악 단계에서 이 프로그램에서의 문제는 ‘전류가 흐르는 전선 부근의 나침반에서 자침의 변화가 매우 작다’는 것이다. 이 문제를 해결하기 위해서 그림 IV-52와 같이 전구가 연결된 회로와 전구 대신 50cm 길이의 전선이 연결된 회로의 전류의 크기와 나침반 자침의 회전 각도를 비교하게 하고, 또한 두 회로에서의 부하저항의 크기를 비교하게 함으로써 문제의 원인을 파악하도록 하여 프로그램의 문제를 해결하게 하면서 프로그램을 마무리 하게 한다.

- 전구가 연결된 회로와 전구 대신 50cm 길이의 전선이 연결된 회로의 전류의 크기와 나침반 자침의 회전각도를 비교해보세요.
- 전구가 연결된 회로와 전선이 연결된 회로의 전류의 크기가 차이가 난다면 그 이유는 무엇일지 앞에서 계산된 부하저항을 보면서 아래에 기록해주세요.
- 지금까지 전류가 흐르는 전선 주위의 자기장을 확인하는 나침반 실험이 잘 되지 않는 이유는 무엇이었을까요?

그림 IV-52. 전류가 흐르는 전선 주위의 자기장 실험이 잘 되지 않는 원인 파악하기

V. 프로그램의 실제

이 장에서는 전지의 연결방법과 전류의 특성 이해도 항상 프로그램의 핵심 활동인 4가지 실험에서의 워크시트 작성 결과를 살펴본다. 4가지 실험 중 2가지 실험은 전구가 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역인 학습개념에 해당하는 전기회로에서 전지의 직렬연결 전기회로와 전지의 병렬연결 전기회로에서 전류의 크기와 나침반의 크기를 측정하는 실험이다. 그리고 나머지 2가지 실험은 전구대신 50cm 길이의 전선이 연결되어 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역인 분화개념에 해당하는 전기회로에서 전지의 직렬연결 전기회로와 전지의 병렬연결 전기회로에서 전류의 크기와 나침반의 크기를 측정하는 실험이다. 이상의 가장 대표적인 프로그램의 활동인 4가지 실험에서 어떤 결과가 나오고 또 각각의 단계에서 어떻게 이해도와 이해수준이 달라지는지 확인해 본다.

이 연구에서 이해수준은 3가지 수준으로 구분하였다. 첫째, 현상을 통한 일반화는 전기회로에 전지를 직접 직렬연결과 병렬연결을 하여 전류의 크기를 측정하는 실험결과를 통해 일반화가 이루어지는 것으로 가장 하위 수준의 일반화이다. 둘째, 현상의 원인 파악을 통한 일반화는 실험시 전류의 크기 변화를 전지의 기전력과 저항의 관계로 해석하여 원인이 무엇인지를 파악하는 과정을 통해 일반화가 이루어지는 것으로 중위 수준의 일반화이다. 현상의 세부원인 파악을 통한 일반화는 현상의 원인을 파악하는 일반화에서 더 나아가 ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지를 계속 직렬연결하는 상황’과 ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지를 계속 병렬연결하는 상황’에서 전류가 증가하다가 한계전류에 수렴하는 세부 원인을 파악하는 과정을 통해 일반화가 이루어지는 것으로 가장 상위 수준의 일반화이다. 이 장에서 논의하는 4가지 실험에서 각각 다루어지는 3가지 수준의 일반화는 VI장인 프로그램의 효과에서 각 문항별로 이해수준 분석틀을 통해 이해수준을 구분하는 분석의 기초자료가 된다.

1. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역의 실험

부하저항이 전지 1개의 평균 내부저항보다 큰 전기회로에서 전지의 연결과 전류의 특성을 알아보기 위하여 부하저항으로 9V-0.15A 전구를 사용하였고, 전지의 연결방법을 기준으로 하여 전지의 직렬연결 전기회로와 전지의 병렬연결 전기회로 이상 2가지로 나누어서 워크시트를 작성하도록 하였다. 그리고 워크시트 속의 나침반 각도는 초등교육과정에서 현상적으로 전류의 크기를 측정하기 위해 도입한 내용이므로 전체적인 변화정도를 파악하는 수준으로 활용하였다. 그리고 이 영역에서의 실험에서 측정된 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기 그래프는 그림 V-1과 같다. 이 그래프에서는 같은 수의 전지를 사용할 경우, 전지의 직렬연결 전기회로에서의 전류의 크기가 전지의 병렬연결 전기회로에서의 전류의 크기보다 크다. 이는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에서 학습개념과 일치한다.

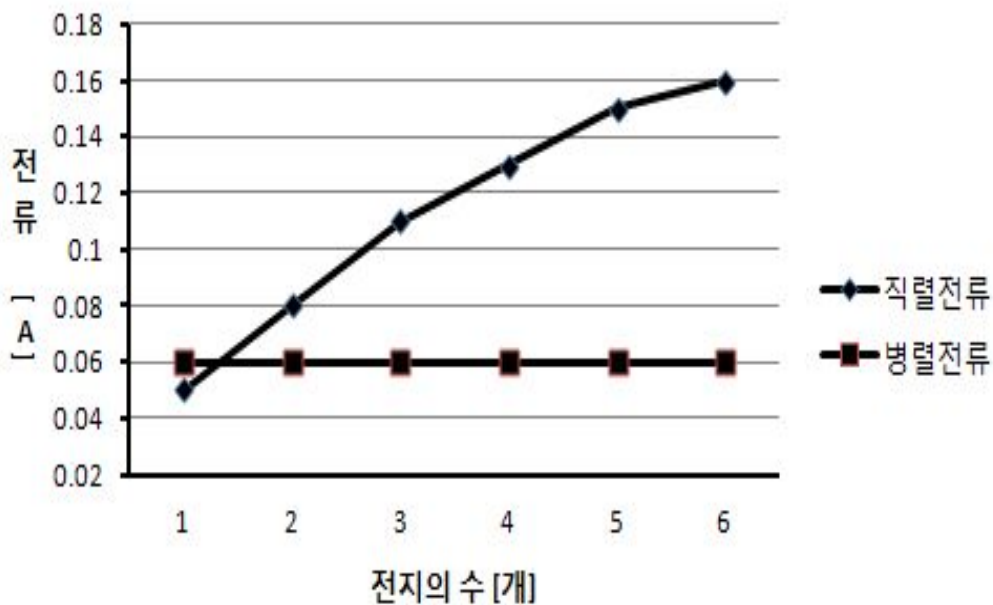


그림 V-1. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기 변화 그래프

1) 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지를 직렬연결한 전기 회로에서 전류의 크기 변화 실험

전지 1개를 회로에 연결하고 전류를 측정 후 대부분의 교사들은 그림 V-2에 서와 같이 전지를 직렬연결할수록 전류가 전지수에 비례하여 커질 것이라고 예상하였다.

현상적 수준의 일반화는 다음과 같이 이루어졌다. 표 V-1의 실제 전류를 측정한 결과를 살펴보면, 전지 1개, 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 직렬연결한 전기회로에서 전류의 크기는 0.05 A, 0.08 A, 0.11 A, 0.13 A, 0.15 A, 0.16 A로 측정되어 전지의 개수와 전류의 크기는 정비례하지 않는다. 표 V-1의 전류 증가비율은 초 등교사들이 전류증가량을 더 효과적으로 인식하도록 하기 위해, 전지 1개를 연결한 회로에서 측정된 전류량을 기준으로 한 전류증가량을 비율로 나타낸 것이다. 전류증가비율을 살펴보면 전지 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 직렬연결 했을 경우 전류의 증가비율은 각각 60.0%, 60.0%, 40.0%, 40.0%, 20.0%로 점점 감소하고 있다. 이런 실험결과의 현상을 통해, 교사들은 ‘전구가 연결된 전기회로와 같은 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 상황에서는, 전류는 직렬연결된 전지수에 비례하지는 않지만 증가한다’고 생각하거나, ‘전지를 직렬연결할수록 전류는 계속 증가량이 줄어들어 언젠가는 증가하지 않는다’라는 현상적 수준의 일반화가 이루어진다.

표 V-1. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결시 전류와 나침반 자침 변화 각도 측정 워크시트

전지수	기전력 (V)	단자전압 (V)	전류 (A)	나침반 측정각도(°)	전류 증가량(A)	전류증가비율(%)
1	1.52	1.46	0.05	10		
2	3.04	2.90	0.08	12	0.03	60.0
3	4.56	4.33	0.11	15	0.03	60.0
4	6.08	5.73	0.13	17	0.02	40.0
5	7.60	7.15	0.15	18	0.02	40.0
6	9.12	8.54	0.16	20	0.01	20.0

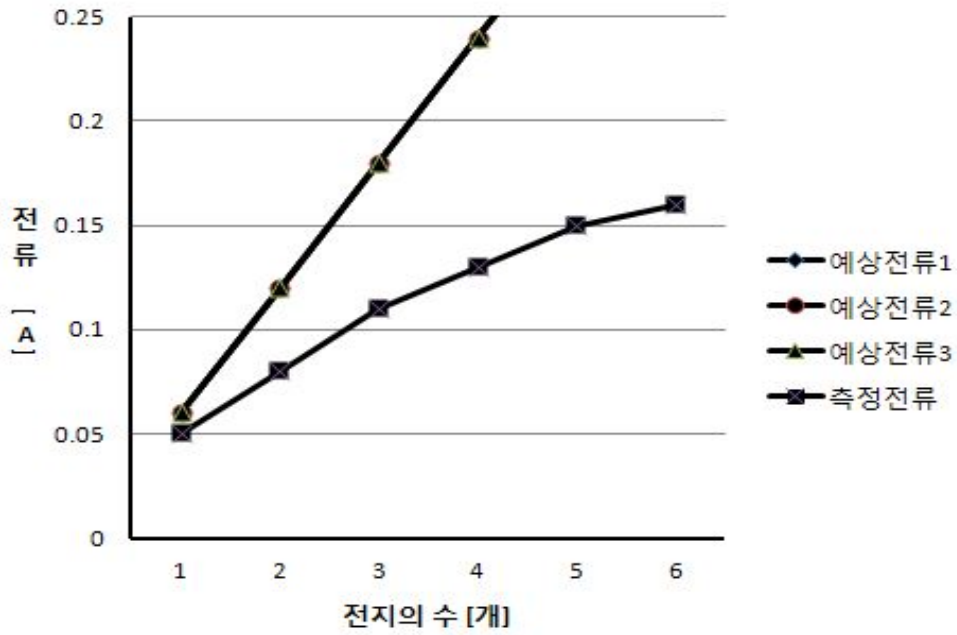


그림 V-2. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 전류변화 그래프

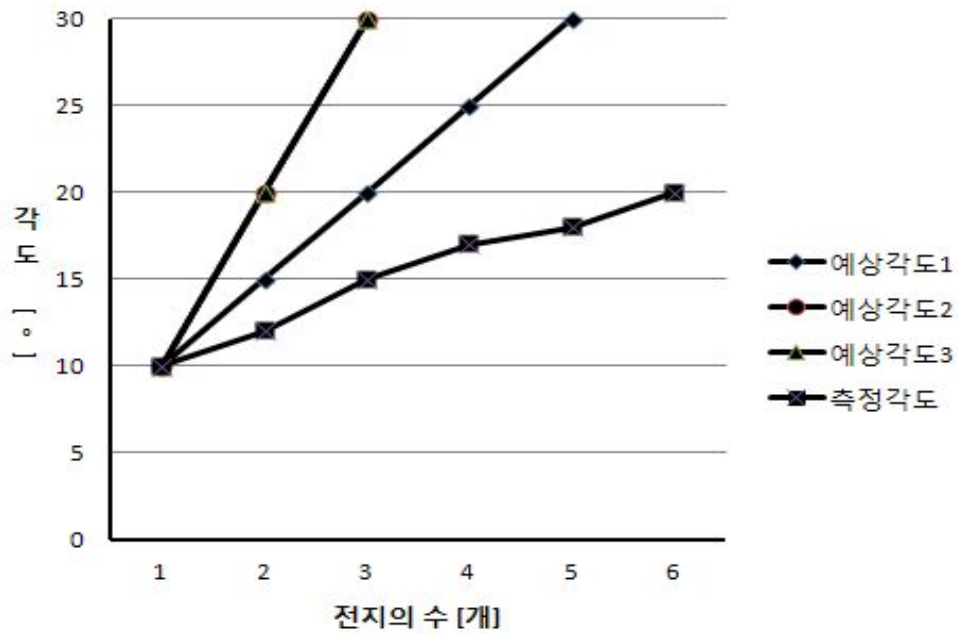


그림 V-3. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 나침반 각도변화 그래프

현상의 원인을 파악하는 일반화를 위하여 표 V-2와 그림 V-4, 그림 V-5, 그림 V-6, 그림 V-7과 같이, 실험시 측정값을 입력한 엑셀파일에서 현상의 원인을 파악하는데 필요한 자료들이 자동 작성 및 계산되었다. 표 V-2에서 부하저항은 약 30 Ω에서 약 60 Ω 정도이고 전지 1개의 평균 내부저항은 약 1 Ω 내외이다. 즉, 부하저항이 전지의 내부저항보다 크다. 표 V-2과 그림 V-4, 그림 V-5, 그림 V-6, 그림 V-7의 내용을 살펴보면, 전지의 기전력은 직렬연결된 전지의 개수가 증가할수록 약 100%씩 증가하고 있다. 그리고 부하저항과 전지의 내부저항의 합인 총저항은 직렬연결된 전지의 개수가 증가할수록 약 20%씩 증가하고 있다. 따라서 전지의 기전력 증가비율이 총저항의 증가비율보다 크다.

이러한 결과를 통해, ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서는 전지의 기전력 증가비율이 총저항의 증가비율보다는 더 크기 때문에, $V=IR$ 이라는 옴의 법칙에 따라 직렬연결된 전지의 개수가 증가할수록 전류는 비례하지는 않지만 증가할 수 있다’는 현상의 원인 파악을 통한 일반화가 이루어진다.

그런데 여기서 총저항의 크기에 영향을 주는 변인은 부하저항과 전지의 내부저항이다. 변인인 부하저항과 전지의 내부저항이 모두 증가하기 때문에 직렬연결된 전지의 개수가 증가할수록 전류의 증가량이 점점 떨어지는지 파악하기가 어렵다. 따라서 전구와 같이 필라멘트의 온도가 올라갈수록 저항이 커지는 가변저항(김익균, 1997; 현동걸과 박상우, 2012)이 아닌 고정저항을 전기회로에서 부하저항으로 사용한다면, 전류증가량이 점점 감소하는 원인이 무엇인지 파악하기가 쉬울 것이다. 그럼에도 불구하고 실제 과학교과서에서는 전구를 사용하는 전기 관련 실험이 많이 등장하므로 초등교사들의 현장 수업시 전구의 저항에 대한 이해를 돕기 위해 이 프로그램에서는 전구를 부하저항으로 사용하였다.

표 V-2. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항 워크시트

전지수 (개)	기전력 (V)	단자 전압(V)	측정 전류(A)	총저항 (Ω)	부하저항 (Ω)	전지의 내부저항(Ω)	전지 1개 평균 내부저항(Ω)
1	1.52	1.46	0.05	30.40	29.20	1.20	1.20
2	3.04	2.90	0.08	38.00	36.25	1.75	0.88
3	4.56	4.33	0.11	41.45	39.36	2.09	0.70
4	6.08	5.73	0.13	46.77	44.08	2.69	0.67
5	7.60	7.15	0.15	50.67	47.67	3.00	0.60
6	9.12	8.54	0.16	57.00	53.38	3.63	0.60

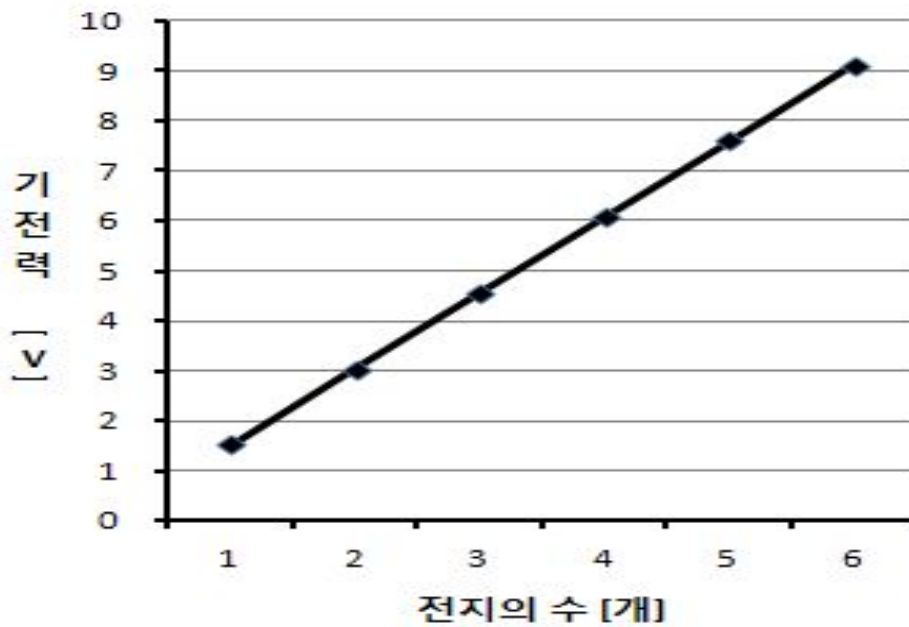


그림 V-4. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 기전력의 크기 변화 그래프

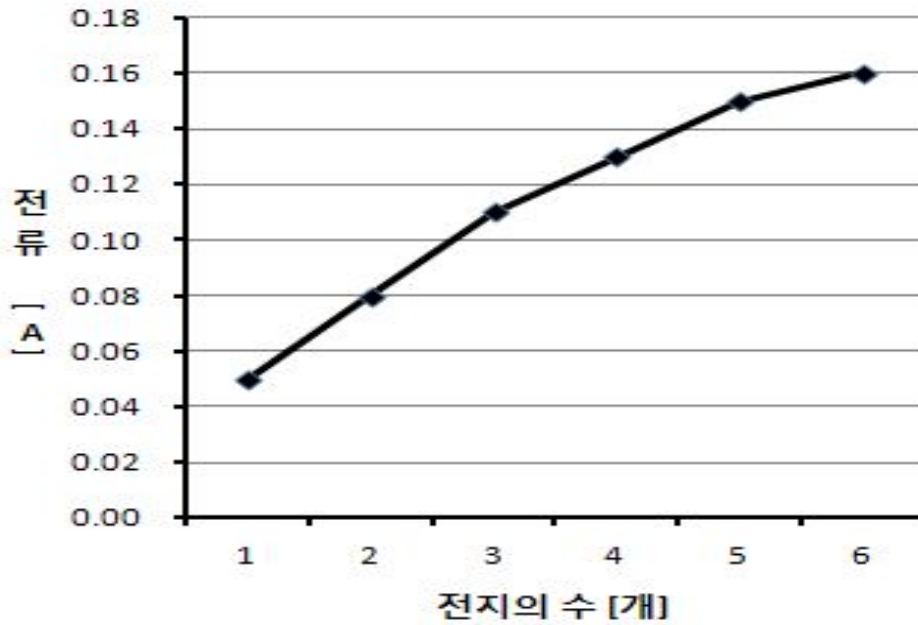


그림 V-5. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 전류의 크기 변화 그래프

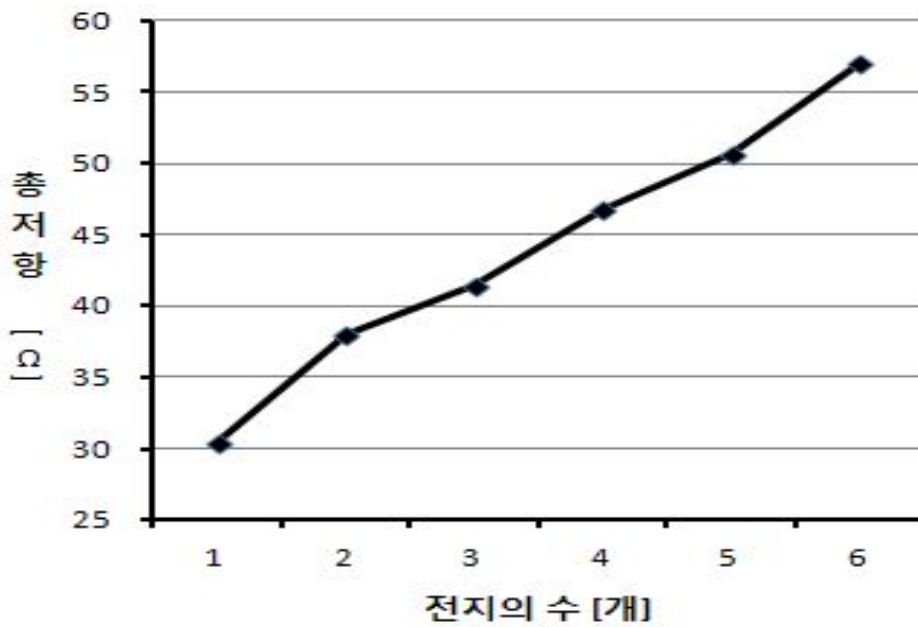


그림 V-6. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 총저항의 크기 변화 그래프

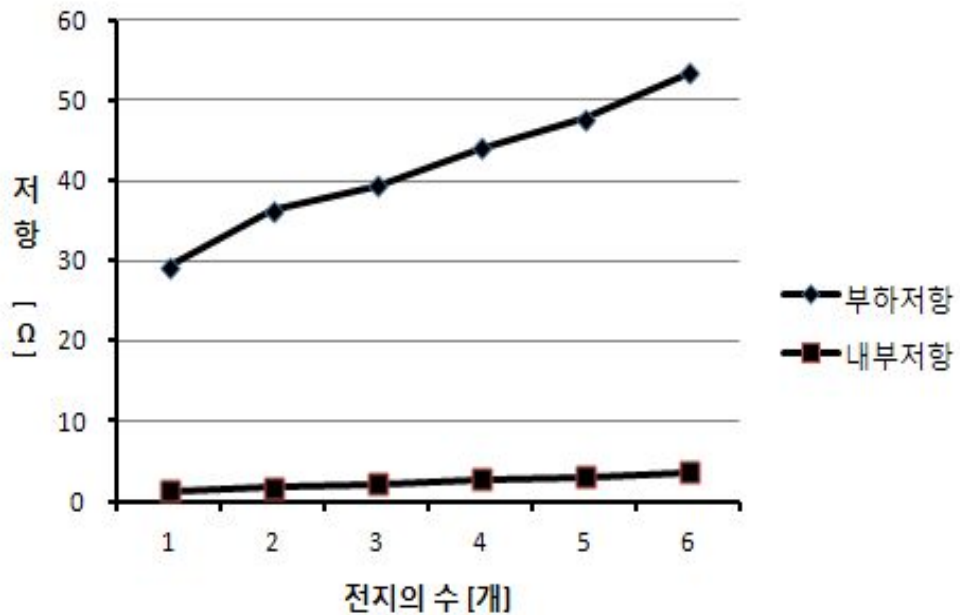


그림 V-7. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 직렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항의 크기 변화 그래프

현상의 세부원인 파악을 통한 일반화를 위하여 표 V-3과 표 V-4와 같이 초등학교사들이 직렬연결된 전지의 개수가 증가할수록 전류증가량이 감소하는 이유를 파악할 수 있는 보충자료를 제작하였다. 표 V-3에서는 부하저항인 전구의 저항이 약 30 Ω에서 약 50 Ω 정도이므로, 중간값인 40 Ω으로 고정된 부하저항을 사용하는 것을 가정하였다. 표 V-3은 40 Ω으로 고정된 부하저항이 연결된 전기회로에 내부저항이 없는 전지를 1개에서부터 6개까지 직렬연결할 경우 전류의 크기와 전류증가량을 이론적으로 계산한 결과를 보여주며, 전류증가비율은 모두 100.0%가 됨을 알 수 있다.

표 V-4는 저항이 40 Ω으로 고정된 부하저항을 연결한 전기회로에 내부저항이 0.5 Ω인 전지를 1개에서부터 6개까지 직렬연결할 경우 전류의 크기와 전류증가량을 이론적으로 계산한 결과이다. 전류증가비율은 97.6%, 95.2%, 92.9%, 90.8%, 88.6%로 직렬연결한 전지의 개수가 증가할수록 점점 감소한다.

이러한 결과를 통해, ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서는, 전

지의 내부저항이 없으면 전류증가량은 교사들이 처음 예상한 것과 같이 100.0% 씩 증가하지만, 전지의 내부저항이 있으면 직렬연결하는 전지의 개수가 증가할수록 전지의 내부저항도 증가하기 때문에 전류증가량은 점점 감소하게 되고 결국 전류는 더 이상 증가하지 못하고 한계전류에 수렴하게 된다'는 현상의 세부원인 파악을 통한 일반화가 이루어진다. 그런데 부하저항의 크기가 내부저항에 비해 상대적으로 매우 크기 때문에 전지를 계속 직렬로 연결하게 되면 전류가 결국 한계에 수렴한다는 것을 표 V-4의 자료만으로 파악하기는 쉽지 않다. 따라서 데이터 해석이 까다로워 현상의 세부원인까지 파악하지 못하여, 직렬연결하는 전지의 수에 비례하지는 않지만 증가한다고 내용을 파악하는 교사들에 대해서도 정답에 근접한 유사정답으로 인정할 수 있다. 하지만 이 두 개념의 수준은 동등하지 않다.

표 V-3. 내부저항이 없는 전지를 직렬연결한 전기회로의 전류계산값

기전력(V)	총저항(Ω)	부하저항(Ω)	전류(A)	전류증가량(A)	전류증가비율(%)
1.5	40	40	0.038		
3.0	40	40	0.075	0.038	100.0
4.5	40	40	0.113	0.038	100.0
6.0	40	40	0.150	0.038	100.0
7.5	40	40	0.188	0.038	100.0
9.0	40	40	0.225	0.038	100.0

표 V-4. 내부저항이 있는 전지를 직렬연결한 전기회로의 전류계산값

기전력 (V)	부하저항 (Ω)	내부저항 (Ω)	총저항 (Ω)	전류 (A)	전류증가량 (A)	전류증가 비율(%)
1.5	40	0.5	40.5	0.037		
3.0	40	1.0	41.0	0.073	0.036	97.6
4.5	40	1.5	41.5	0.108	0.035	95.2
6.0	40	2.0	42.0	0.143	0.034	92.9
7.5	40	2.5	42.5	0.176	0.034	90.8
9.0	40	3.0	43.0	0.209	0.033	88.6

2) 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지를 병렬연결한 전기 회로에서 전류의 크기 변화 실험

전지 1개를 회로에 연결하고 전류를 측정 한 후 대부분의 교사들은 그림 V-8에서와 같이 전지를 병렬연결 하더라도 전류의 크기는 전지 1개를 연결한 회로에서의 전류의 크기와 비슷할 것이라고 예상했다.

현상적 수준의 일반화는 다음과 같이 이루어졌다. 표 V-5의 실제 전류를 측정 한 결과를 살펴보면, 전지 1개, 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 병렬연결한 전기회로에서의 전류의 크기는 0.06 A, 0.06 A, 0.06 A, 0.06 A, 0.06 A, 0.06 A로 측정되고, 전류 증가비율도 모두 0.0%이다. 교사들의 예상과 일치하는 실험결과라는 현상을 통해, 교사들은 ‘전구가 연결된 전기회로와 같은 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 상황에서는, 병렬연결된 전지의 개수가 증가하더라도 전류의 크기는 일정하다’라는 현상적 수준의 일반화가 이루어진다.

표 V-5. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 병렬연결시 전류와 나침반 자침 변화 각도 측정 워크시트

전지수	기전력 (V)	단자전압 (V)	전류 (A)	나침반 측정각도(°)	전류증가량 (A)	전류증가비율 (%)
1	1.49	1.45	0.06	10		
2	1.49	1.47	0.06	10	0	0.0
3	1.48	1.47	0.06	10	0	0.0
4	1.48	1.47	0.06	10	0	0.0
5	1.49	1.48	0.06	10	0	0.0
6	1.49	1.48	0.06	10	0	0.0

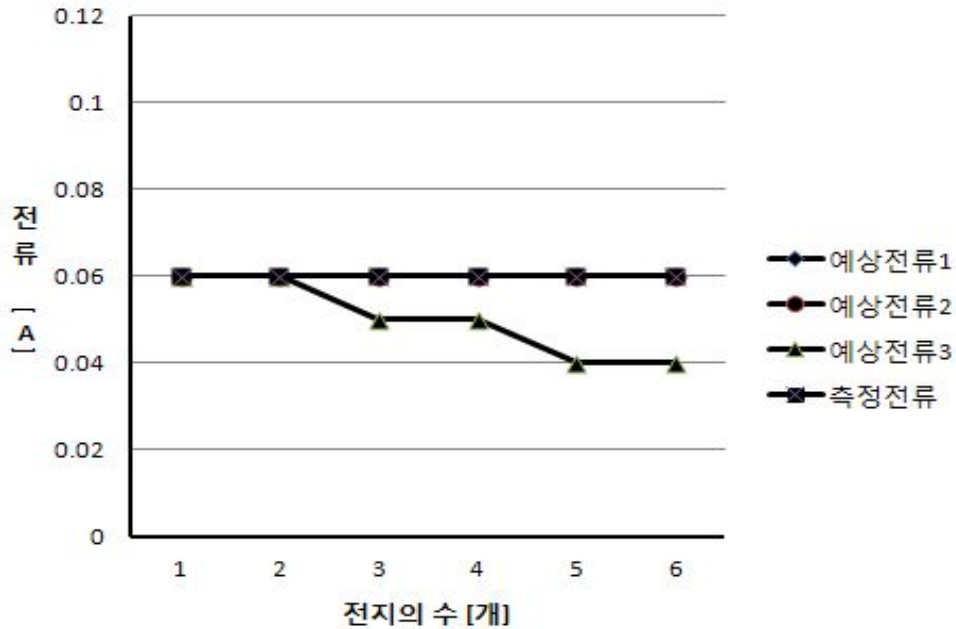


그림 V-8. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 전류변화 그래프

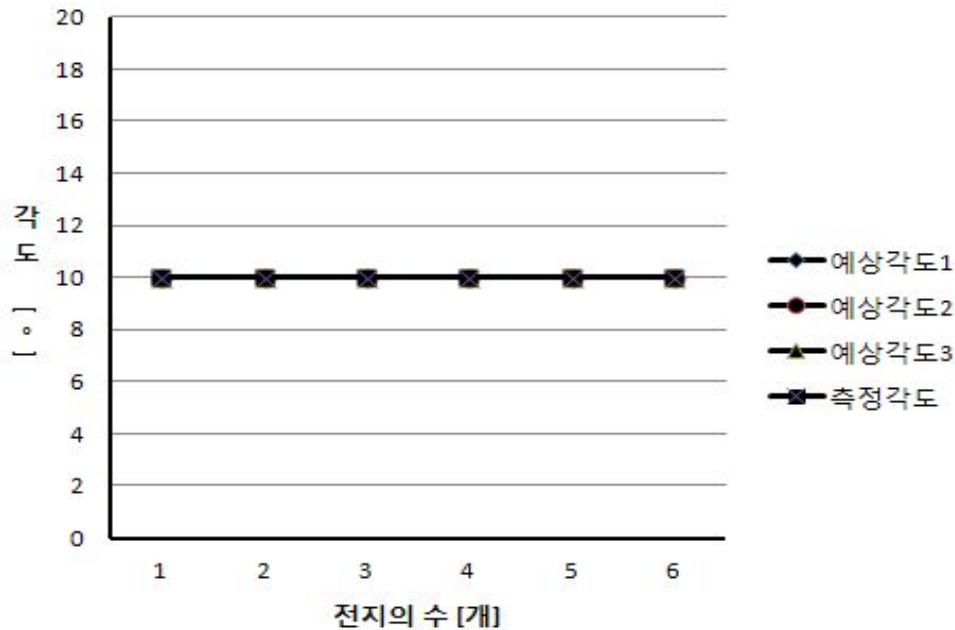


그림 V-9. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 나침반 각도변화 그래프

현상의 원인을 파악하는 일반화를 위하여 표 V-6와 그림 V-10, 그림 V-11, 그림 V-12, 그림 V-13과 같이, 실험시 측정값을 입력한 엑셀파일에서 현상의 원인을 파악하는데 필요한 자료들이 자동 작성 및 계산되었다. 표 V-6에서 부하저항은 약 24 Ω 정도이고 전지 1개의 평균 내부저항은 약 1 Ω 정도이다. 즉, 부하저항이 전지의 내부저항보다 크다. 표 V-6와 그림 V-10, 그림 V-11, 그림 V-12, 그림 V-13의 내용을 살펴보면, 기전력은 병렬연결된 전지의 개수가 증가하여도 전지 1개의 기전력인 약 1.5 V로 일정하다. 그리고 부하저항과 전지의 내부저항의 합인 총저항은 병렬연결된 전지의 개수가 증가하더라도 전지 1개를 연결한 전기회로에서의 총저항값인 약 25 Ω으로 일정하다.

따라서 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서는 전지의 기전력과 총저항이 일정하기 때문에, $V=IR$ 이라는 옴의 법칙에 따라 병렬연결된 전지의 개수가 증가하여도 전류의 크기는 일정하게 된다. 여기서 총저항의 크기에 영향을 주는 변인은 부하저항과 전지의 내부저항이다. 부하저항은 약 24 Ω으로 일정하다. 전지의 내부저항은 전지를 병렬연결할수록 감소하지만 부하저항인 전구의 저

항에 비해 워낙 작은 값의 범위에서 감소하여 총저항에 영향을 주지 못하고 있다.

이러한 결과를 통해, ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서는 병렬연결한 전지의 개수가 증가하더라도 내부저항이 총저항의 크기에 영향을 주지 못하므로, 전지의 기전력과 총저항이 일정하게 되어 결국 전류의 크기도 일정하게 된다’는 현상의 원인 파악을 통한 일반화가 이루어진다.

표 V-6. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 병렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항 워크시트

전지수 (개)	기전력 (V)	단자 전압(V)	측정 전류(A)	총저항 (Ω)	부하저항 (Ω)	전지의 내부저항(Ω)	전지 1개 평균 내부저항(Ω)
1	1.49	1.45	0.06	24.83	24.17	0.67	0.67
2	1.49	1.47	0.06	24.83	24.50	0.33	0.67
3	1.48	1.47	0.06	24.67	24.50	0.17	0.50
4	1.48	1.47	0.06	24.67	24.50	0.17	0.67
5	1.49	1.48	0.06	24.83	24.67	0.17	0.83
6	1.49	1.48	0.06	24.83	24.67	0.17	1.00

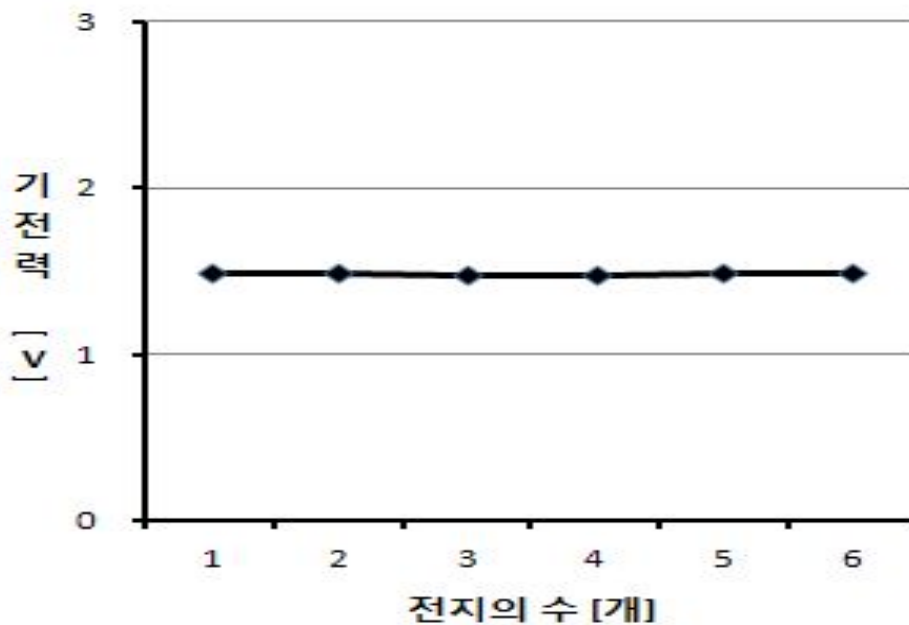


그림 V-10. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 기전력의 크기 변화 그래프

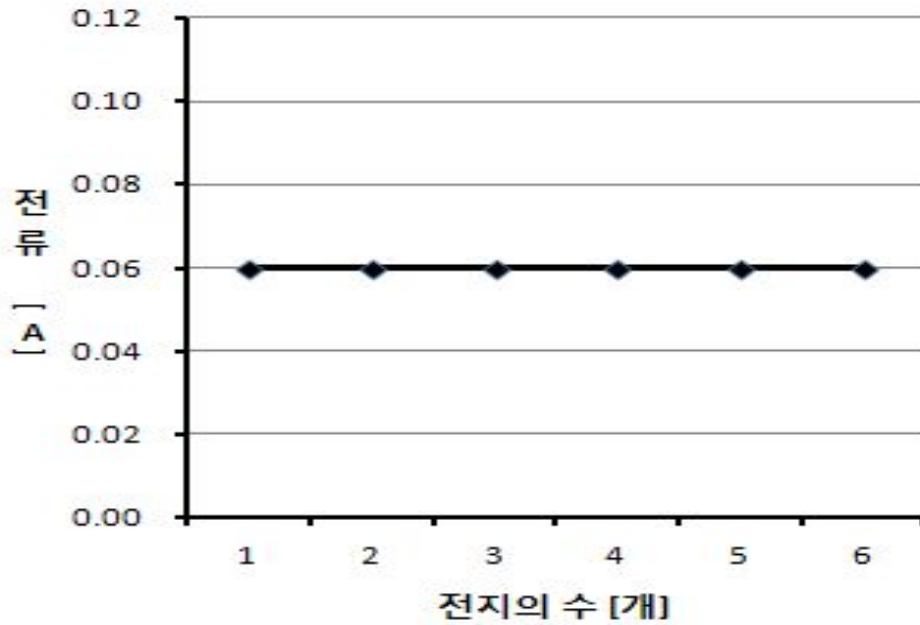


그림 V-11. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 전류의 크기 변화 그래프

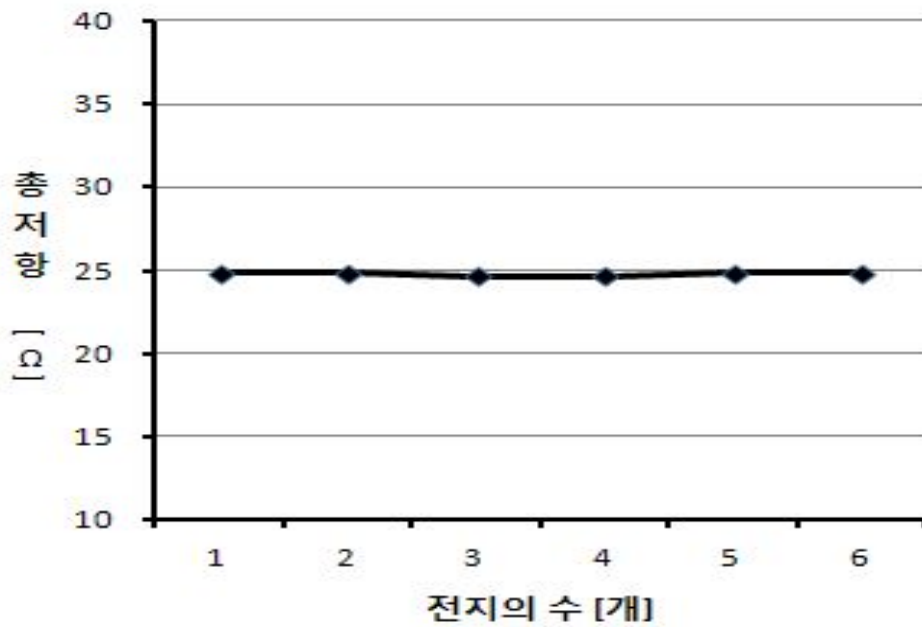


그림 V-12. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 총저항의 크기 변화 그래프

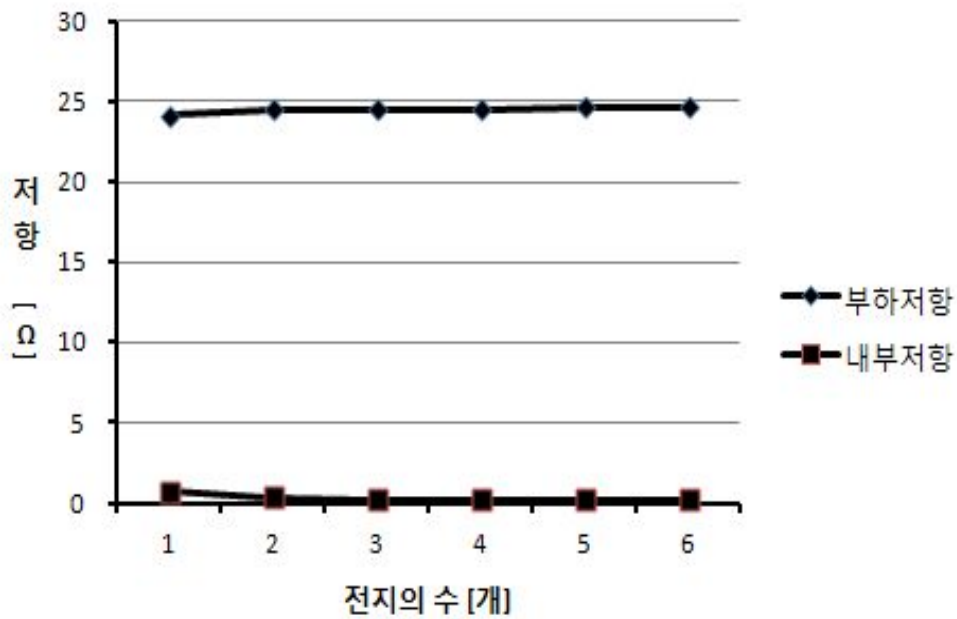


그림 V-13. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지 병렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항의 크기 변화 그래프

2. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역의 실험

부하저항이 전지 1개의 평균 내부저항보다 작은 전기회로에서 전지의 연결과 전류의 특성을 알아보기 위하여 부하저항으로 50cm 길이의 전선을 사용하였고, 전지의 연결방법을 기준으로 하여 전지의 직렬연결 전기회로와 전지의 병렬연결 전기회로 이상 2가지로 나누어서 워크시트를 작성하도록 하였다. 이 영역에서의 실험에서 측정된 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기 그래프는 그림 V-14와 같다. 이 그래프에서는 같은 수의 전지를 사용할 경우, 전지의 병렬연결 전기회로에서의 전류의 크기가 전지의 직렬연결 전기회로에서의 전류의 크기보다 크다. 이는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에서 분화개념과 일치한다.

그리고 워크시트 속의 나침반 각도는 초등교육과정에서 현상적으로 전류의 크기를 측정하기 위해 도입한 내용이므로 전체적인 변화정도를 파악하는 수준으로 활용하였다. 그리고 이 프로그램에서는 초등학교 교육과정에서 실제 사용하고 있

는 일반적인 나침반을 사용하는 것을 원칙으로 하였다.

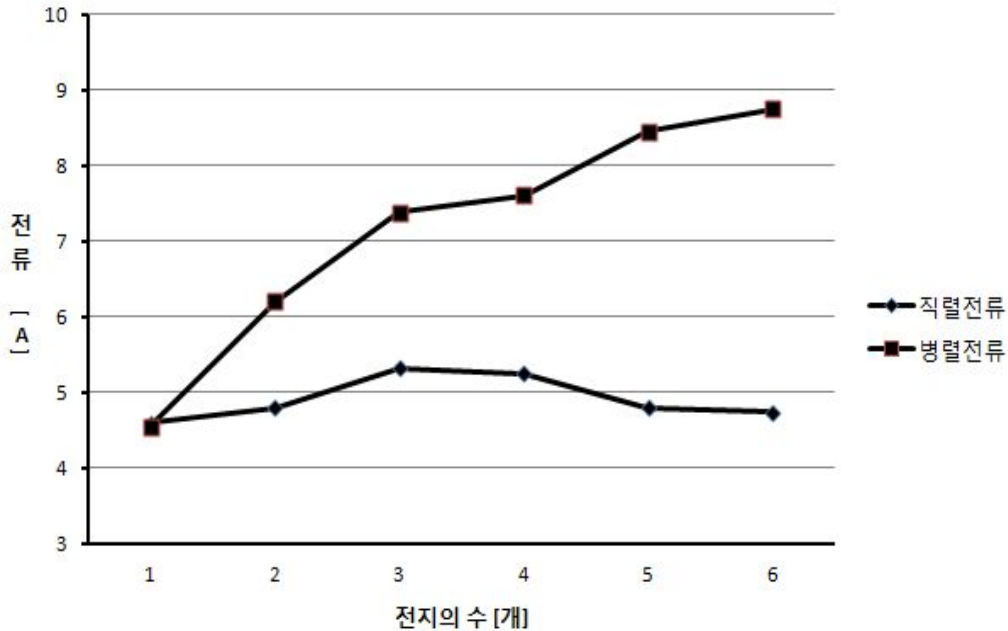


그림 V-14. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기 변화 그래프

1) 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지를 직렬연결한 전기회로에서 전류의 크기 변화 실험

전지 1개를 회로에 연결하고 전류를 측정 후 대부분의 교사들은 그림 V-15에서와 같이 ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전지의 직렬연결회로’에서의 전류 측정의 영향으로 전지를 직렬연결할수록 전류는 전지수에 비례하지 않지만 증가한다고 예상하거나 또는 전류가 증가하다가 한계전류에 수렴할 것이라고 예상했다.

현상적 수준의 일반화는 다음과 같이 이루어졌다. 표 V-7의 실제 전류를 측정 한 결과를 살펴보면, 전지 1개, 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 직렬연결한 전기회로에서의 전류의 크기는 4.59 A, 4.80 A, 5.32 A, 5.25 A, 4.79 A, 4.73 A로 측정되어 전지의 개수가 증가하여도 전류의 크기는 비슷함을 알 수 있다. 표 V-7에서 전류증

가비율을 살펴보면, 전지 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 직렬연결 했을 경우 전류의 증가비율은 각각 4.6%, 11.3%, -1.5%, -10.0%, -1.3%로 전류의 크기가 비슷함을 알 수 있다. 이런 실험결과와 현상을 통해, 초등교사들은 ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서는 직렬연결하는 전지의 수가 증가하더라도 전류의 크기는 비슷하다’는 현상적 수준의 일반화가 이루어졌다.

이 실험에서 초등교사들은 전류가 거의 증가하지 않는 것을 보고 매우 놀라워 했다. 또한 전류가 오히려 약간 감소하는 현상이 나타났을 때에는 무언가 실험이 잘못 되었다고 생각하기도 하였다. 아래의 내용은 교사들이 이 활동을 수행할 때 나누었던 대화내용이다.

E 교사: 어! 전류가 증가하지 않네.

F 교사: 정말이네! 이거 실험이 뭔가 잘못된 것 같아요!

D 교사: 이 실험 다시 한 번 해봐야 할 것 같아요.

E 교사: 어! 전류가 오히려 감소하네. 이거 정말 이상하다.

표 V-7. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결시 전류와 나침반 자침 변화 각도 측정 워크시트

전지수	기전력 (V)	단자전압 (V)	측정전류 (A)	나침반 측정각도(°)	전류증가량 (A)	전류증가비율 (%)
1	1.53	0.41	4.59	145		
2	3.04	0.45	4.80	145	0.21	4.6
3	4.52	0.47	5.32	150	0.52	11.3
4	5.91	0.48	5.25	150	-0.07	-1.5
5	7.41	0.49	4.79	145	-0.46	-10.0
6	8.85	0.40	4.73	145	-0.06	-1.3

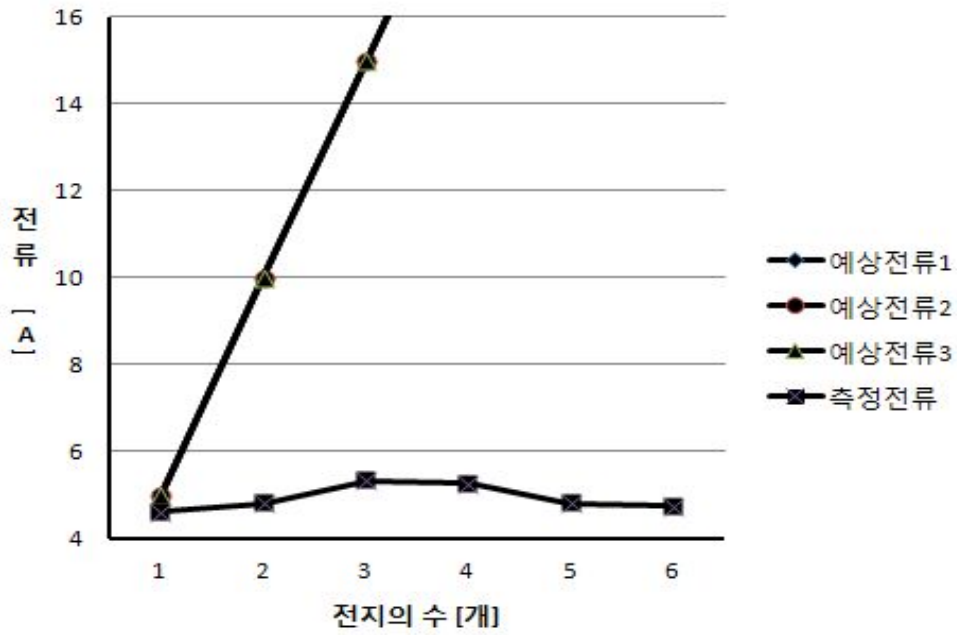


그림 V-15. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 전류변화 그래프

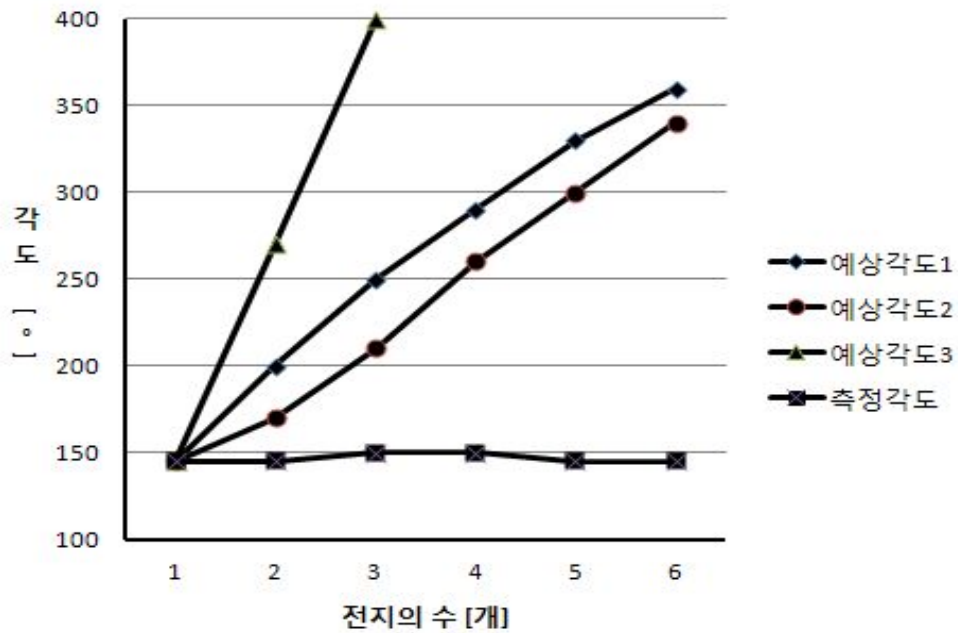


그림 V-16. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 나침반 각도변화 그래프

현상의 원인을 파악하는 일반화를 위하여 표 V-8과 그림 V-17, 그림 V-18, 그림 V-19, 그림 V-20과 같이, 실험시 측정값을 입력한 엑셀파일에서 현상의 원인을 파악하는데 필요한 자료가 자동 작성 및 계산되었다. 표 V-8에서 전지 1개의 평균 내부저항은 약 0.3 Ω이고, 부하저항은 약 0.1 Ω이다. 즉, 전지의 내부저항이 부하저항보다 크다. 표 V-8과 그림 V-17, 그림 V-18, 그림 V-19, 그림 V-20의 내용을 살펴보면, 전지의 기전력은 직렬연결된 전지의 개수가 증가할수록 약 100%씩 증가하고 있다. 그리고 부하저항과 전지의 내부저항의 합인 총저항은 직렬연결된 전지의 개수가 증가할수록 약 100%씩 증가하고 있다.

따라서 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서는 전지의 기전력의 증가비율과 총저항의 증가비율이 비슷하기 때문에, $V=IR$ 이라는 옴의 법칙에 따라 직렬연결된 전지의 개수가 증가하더라도 전류의 크기는 일정하게 된다. 여기서 총저항의 크기에 영향을 주는 변인은 부하저항과 전지의 내부저항이다. 변인인 부하저항은 약 0.1 Ω으로 일정한 크기이나 전지의 내부저항은 0.24 Ω부터 1.79 Ω까지 증가하여 총저항에 영향을 크게 미치고 있다.

이러한 결과를 통해, ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서는 직렬연결한 전지의 개수가 증가하더라도 전지의 내부저항이 같이 증가하여 전지의 기전력의 증가량과 총저항의 증가량이 비슷하게 되고, 결국 전류의 크기는 일정해진다’는 현상의 원인 파악을 통한 일반화가 이루어진다.

표 V-8. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항 워크시트

전지수 (개)	기전력 (V)	단자 전압(V)	측정 전류(A)	총저항 (Ω)	부하저항 (Ω)	전지의 내부저항(Ω)	전지 1개 평균 내부저항(Ω)
1	1.53	0.41	4.59	0.33	0.09	0.24	0.24
2	3.04	0.45	4.80	0.63	0.09	0.54	0.27
3	4.52	0.47	5.32	0.85	0.09	0.76	0.25
4	5.91	0.48	5.25	1.13	0.09	1.03	0.26
5	7.41	0.49	4.79	1.55	0.10	1.44	0.29
6	8.85	0.40	4.73	1.87	0.08	1.79	0.30

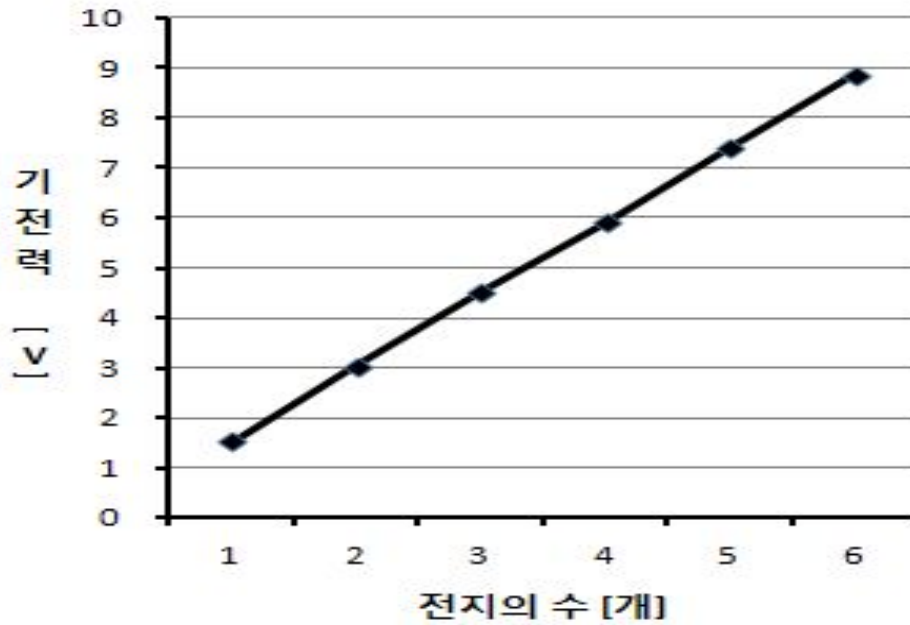


그림 V-17. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 기전력의 크기 변화 그래프

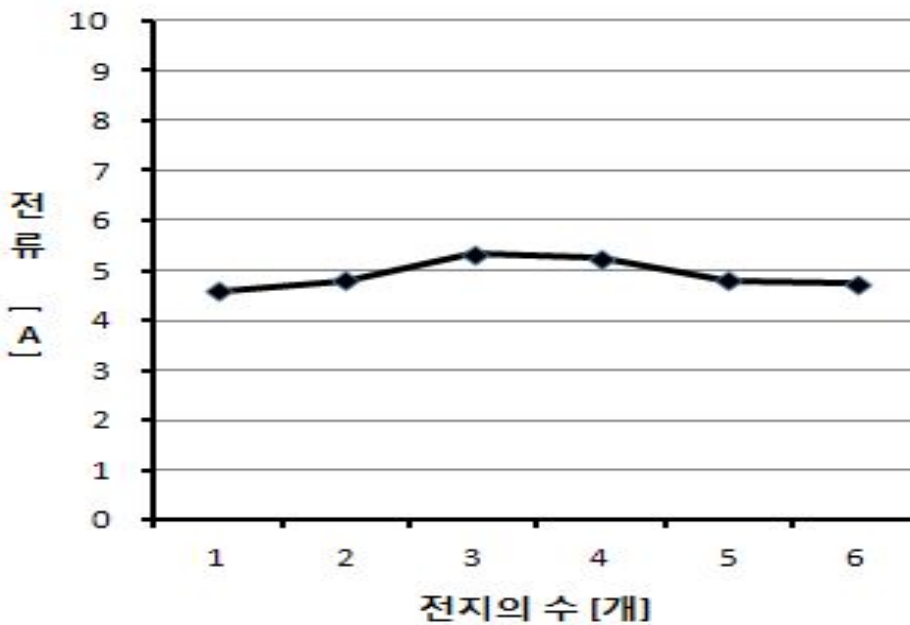


그림 V-18. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 전류의 크기 변화 그래프

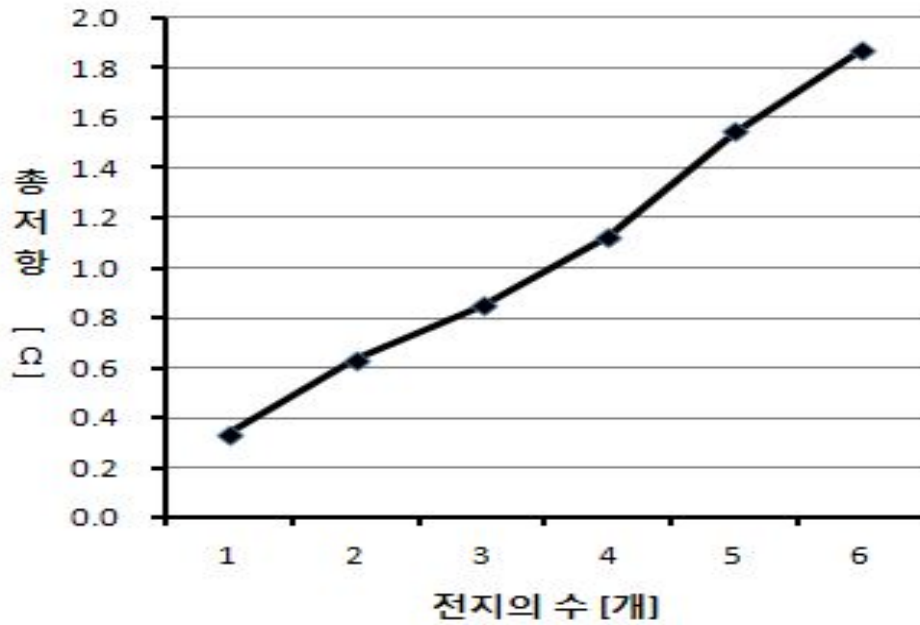


그림 V-19. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 총저항의 크기 변화 그래프

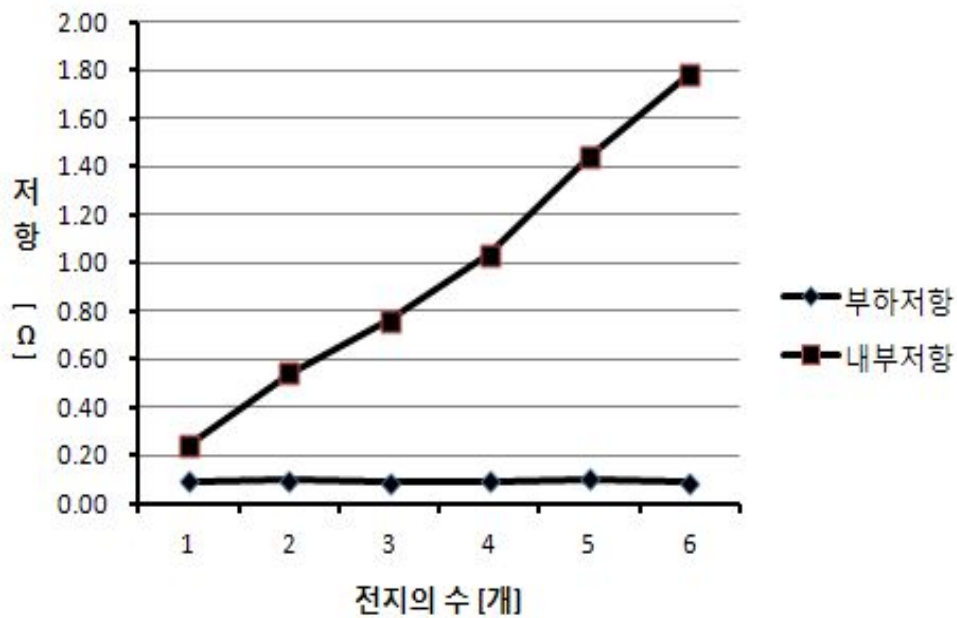


그림 V-20. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 직렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항의 크기 변화 그래프

2) 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지를 병렬연결한 전기회로에서 전류의 크기 변화 실험

전지 1개를 회로에 연결하고 전류를 측정 후 대부분의 교사들은 그림 V-21에서와 같이 전지를 병렬연결 하더라도 전류의 크기는 전지 1개를 연결한 회로에서의 전류의 크기와 같을 것이라고 예상했다.

현상적 수준의 일반화는 다음과 같이 이루어졌다. 표 V-9의 실제 전류를 측정한 결과를 살펴보면, 전지 1개, 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 병렬연결한 전기회로에서의 전류의 크기는 4.54 A, 6.20 A, 7.38 A, 7.61 A, 8.45 A, 8.75 A로 측정된다. 표 V-9에서 전류증가비율을 살펴보면 전지 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 병렬연결했을 경우 전류의 증가비율은 각각 36.6%, 26.0%, 5.1%, 18.5%, 6.6%로 점점 감소하고 있다. 이런 실험결과의 현상을 통해, 초등교사들은 ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서는 병렬연결한 전지의 수가 증가할수록 전류의 크기는 증가하다가 전류증가비율이 점점 줄어든다’는 현상적 수준의 일반화가 이루어졌다. 또한 표 V-9와 그림 V-22에서와 같이 전류가 4 A 이상일 경우에는 나침반 자침의 변화각도가 145°에서 160°로 증가하기는 하지만 나침반 고유의 기계적 특성으로 인하여 그 이상의 각도로 자침이 움직이지는 않았다. 그리고 나침반 자침의 변화 각도가 90° 이상으로 측정되는 현상에 관하여 안내하는 자료는 프로그램의 내용에서 보충학습 자료로 제시하였다.

교사들은 전류가 일정하지 않고 오히려 증가하지 않는 것을 보고 매우 놀라워했다. 아래의 내용은 교사들이 이 활동을 수행할 때 나누었던 대화내용이다.

E 교사: 어! 전류가 증가해요.

F 교사: 이거 정말 실험이 잘못된 것 같아요.

D 교사: 전류가 증가하는 게 맞아요? 일정해야 하는거 아닌가요?

F 교사: 이 실험기구들이 문제 있는 거 아닌가요?

표 V-9. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 병렬연결시 전류와 나침반 자침 변화 각도 측정 워크시트

전지수	기전력 (V)	단자전압 (V)	측정전류 (A)	나침반 측정각도(°)	전류증가량 (A)	전류증가비율 (%)
1	1.49	0.52	4.54	145		
2	1.49	0.70	6.20	155	1.66	36.6
3	1.48	0.76	7.38	155	1.18	26.0
4	1.47	0.83	7.61	155	0.23	5.1
5	1.47	0.80	8.45	155	0.84	18.5
6	1.47	0.84	8.75	160	0.30	6.6

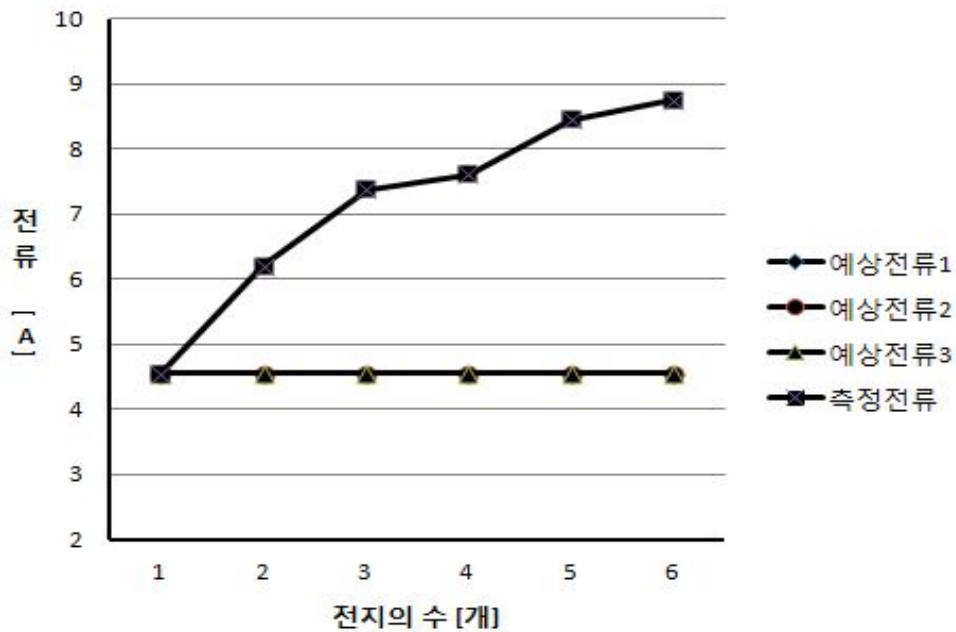


그림 V-21. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 전류변화 그래프

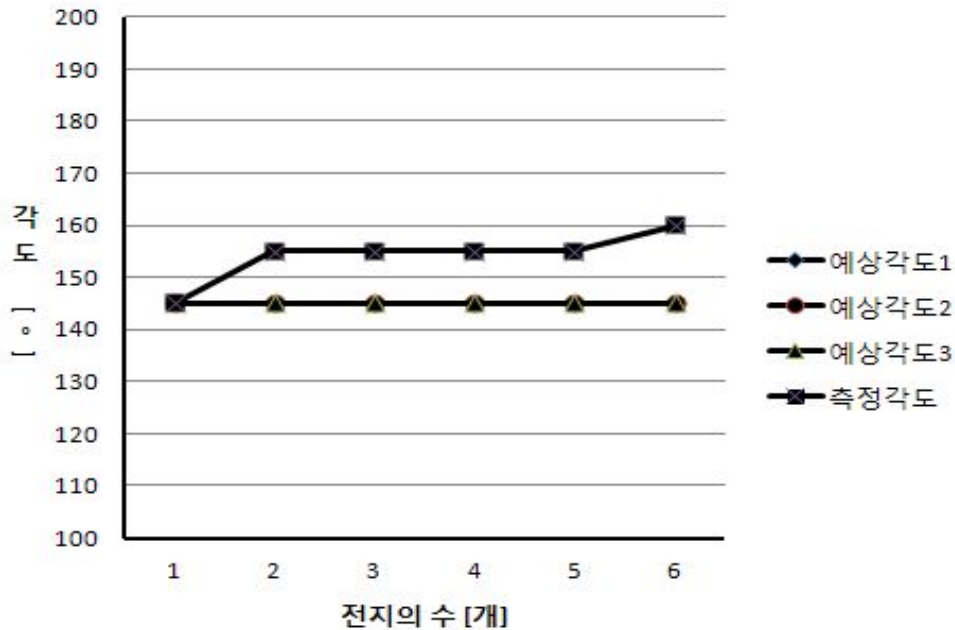


그림 V-22. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 나침반 각도변화 그래프

현상의 원인을 파악하는 일반화를 위하여 표 V-10와 그림 V-23, 그림 V-24, 그림 V-25, 그림 V-26과 같이, 실험시 측정값을 입력한 엑셀파일에서 현상의 원인을 파악하는데 필요한 자료가 자동 작성 및 계산되었다. 표 V-10에서 전지 1개의 평균 내부저항은 약 0.3 Ω 이고, 부하저항은 약 0.1 Ω 이다. 즉, 전지의 내부저항이 부하저항보다 크다. 표 V-10와 그림 V-23, 그림 V-24, 그림 V-25, 그림 V-26의 내용을 살펴보면, 전지의 기전력은 병렬연결된 전지의 개수가 증가하여도 전지 1개의 기전력인 약 1.5 V로 일정하다. 그리고 부하저항과 전지의 내부저항의 합인 총저항은 병렬연결된 전지의 개수가 증가할수록 0.33 Ω 에서 0.17 Ω 까지 감소한다.

따라서 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서는 전지의 기전력은 일정한데 총저항이 감소하기 때문에, $V=IR$ 이라는 옴의 법칙에 따라 병렬연결된 전지의 개수가 증가할수록 전류의 크기는 증가하게 된다. 여기서 총저항의 크기에 영향을 주는 변인은 부하저항과 전지의 내부저항이다. 부하저항은 약 0.1 Ω 으로 일정하다. 전지의 내부저항은 전지를 병렬연결할수록 0.21 Ω 에서 0.07

오므로 감소하여 총저항이 감소하는데 많은 영향을 주고 있다.

이러한 결과를 통해, ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서는 병렬연결한 전지의 개수가 증가할수록 내부저항이 총저항의 크기에 영향을 크게 주기 때문에, 전지의 기전력은 일정한데 총저항이 감소하게 되어 결국 전류의 크기는 전지수에는 비례하지 않지만 증가하게 된다’는 현상의 원인 파악을 통한 일반화가 이루어진다.

그리고 현상의 세부원인 파악을 통한 일반화는 다음과 같이 이루어졌다. 표 V-10에서 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서, 병렬연결된 전지의 수가 증가할수록 전지의 내부저항 크기가 0.21 Ω, 0.13 Ω, 0.10 Ω, 0.08 Ω, 0.08 Ω, 0.07 Ω으로 감소량이 줄어든다. 따라서 전지의 내부저항이 감소율이 줄어드는 것은 표 V-9에서 전지 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 병렬연결 했을 경우 전류의 증가비율이 각각 36.6%, 26.0%, 5.1%, 18.5%, 6.6%로 점점 감소하는데 영향을 준다. 그리고 전지의 내부저항은 결국 0이라는 한계까지 줄어들게 되고, 이때 병렬연결된 전지가 연결된 전기회로에 흐를 수 있는 한계전류가 결정되고 그 한계전류까지만 전류의 크기가 커진다.

이러한 결과를 통해, ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 전기회로에서는, 전지의 내부저항이 총저항에 미치는 영향이 크고, 전지의 기전력은 일정한데 총저항은 점점 감소하다가 일정해지므로 결국 전기회로에 흐르는 전류의 크기는 증가하다가 한계전류에 수렴한다’는 현상의 세부원인 파악을 통한 일반화가 이루어진다. 그런데 내부저항의 감소율이 줄어들어 결국 일정해진다는 것을 표 V-10의 자료만으로 파악하기가 쉽지 않다. 따라서 데이터 해석이 까다로워 현상의 세부원인까지는 파악하지 못하여, 병렬연결하는 전지의 수에 비례하지는 않지만 증가한다고 내용을 파악하는 교사들에 대해서도 정답에 근접한 유사정답으로 인정할 수 있다. 하지만 이 두 개념의 수준은 동등하지 않다.

표 V-10. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 병렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항 워크시트

전지수 (개)	기전력 (V)	단자 전압(V)	측정 전류(A)	총저항 (Ω)	부하저항 (Ω)	전지의 내부저항(Ω)	전지 1개 평균 내부저항(Ω)
1	1.49	0.52	4.54	0.33	0.11	0.21	0.21
2	1.49	0.70	6.20	0.24	0.11	0.13	0.25
3	1.48	0.76	7.38	0.20	0.10	0.10	0.29
4	1.47	0.83	7.61	0.19	0.11	0.08	0.34
5	1.47	0.80	8.45	0.17	0.09	0.08	0.40
6	1.47	0.84	8.75	0.17	0.10	0.07	0.43

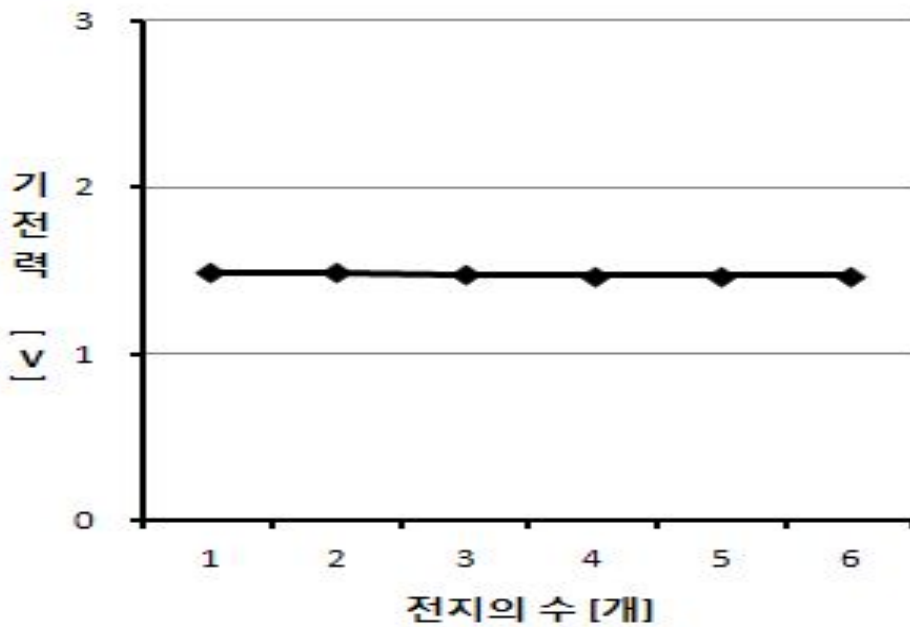


그림 V-23. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 기전력의 크기 변화 그래프

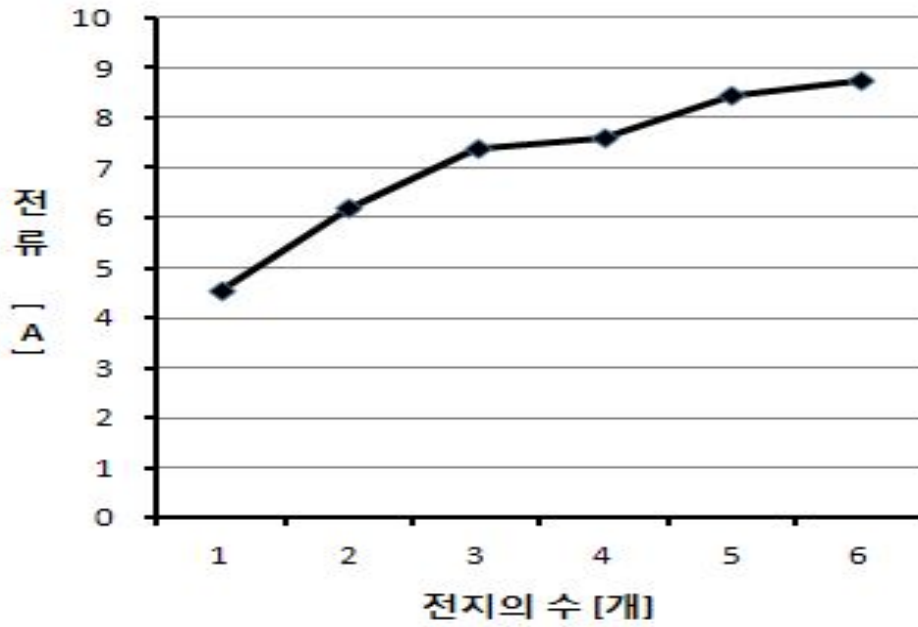


그림 V-24. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 전류의 크기 변화 그래프

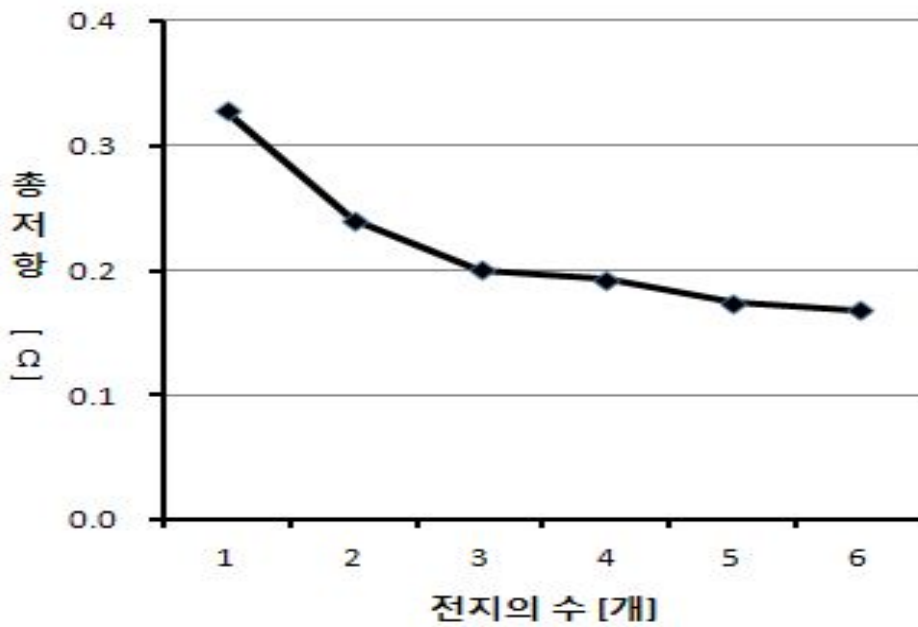


그림 V-25. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 총저항의 크기 변화 그래프

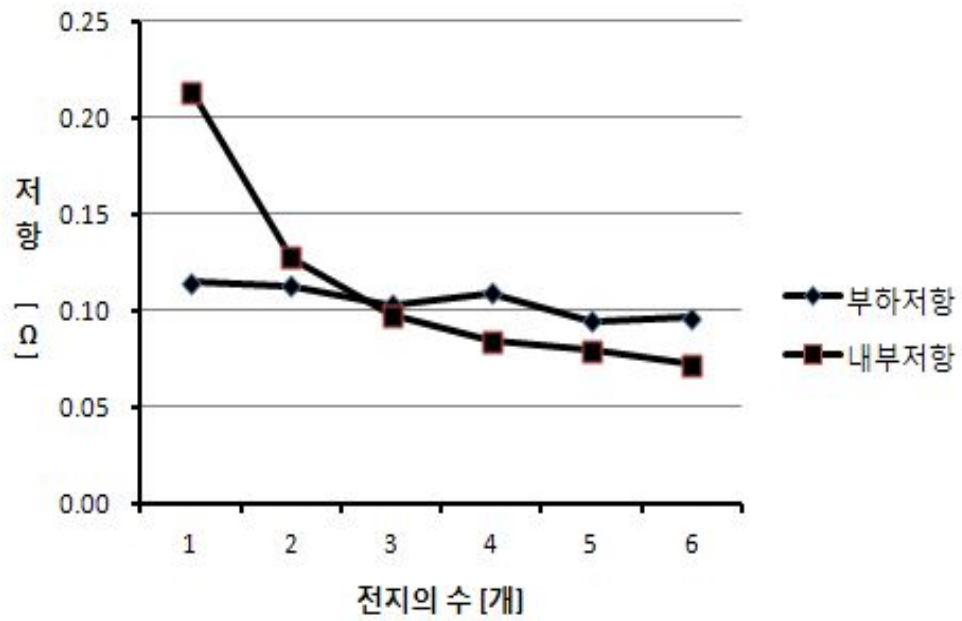


그림 V-26. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지 병렬연결시 부하저항과 전지의 내부저항의 크기 변화 그래프

VI. 프로그램의 효과

프로그램의 효과는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도를 살펴보고, 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 하위영역별 이해도를 각 문항별, 교사별로 살펴본다.

1. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도 변화

전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 통한 초등교사들의 이해도는 다음과 같이 2가지 관점으로 살펴보았다. 먼저 첫 번째 관점은 사전사후 검사도구의 점수 변화를 통하여 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해상태의 향상, 즉 이해도의 양적변화 정도를 조사하는 것이다. 그리고 두 번째 관점은 이해수준 분석틀을 사용하여 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 사전사후의 이해수준의 향상, 즉 이해도의 질적변화 정도를 조사하는 것이다.

1) 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해상태 분석

표 VI-1은 프로그램에 참여했던 15명 초등교사들의 사전검사와 사후검사의 점수와 증가량을 나타낸 표이다. 앞의 ‘연구의 절차 및 방법’에서 언급한 것처럼 12 문항 중에서 1번 문항은 ‘전구 밝기 차이의 원인을 전지의 내부저항으로 인식하는지 여부’를 파악하기 위한 서술형 문항이었으므로, 점수계산에서 제외하였기 때문에 이해도의 만점은 11점이다.

사전검사로 활용했던 동형검사지의 평균점수는 11점 만점에서 4.67점이었다. 프로그램을 수행하고 프로그램에 참여했던 15명의 초등교사들에게 다시 사후검사로 실시한 개념검사지의 평균점수는 11점 만점에서 8.20점이었다. 사전검사와 사후검사의 점수증가량은 3.53점이었다.

이 결과를 통해서, 프로그램에 참여한 초등교사들은 평균적으로 약 3문제에서 4문제 정도를 더 이해할 수 있었고, ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 개념 향상 프로그램’은 초등교사들의 양적인 이해도 향상에 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

표 VI-1. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해상태

	사전검사*	사후검사*	점수 증가량
평균(점)	4.67	8.20	3.53

* : 11점 만점

2) 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해수준 분석

표 VI-2는 프로그램에 참여했던 15명 초등교사들의 사전과 사후의 이해수준과 증가량을 나타낸 표이다. 앞에서 설명한 것처럼 1번 문항은 점수계산에서는 제외하였기 때문에 이해수준의 만점은 11점이다.

사전 이해수준은 S(P), PS2(P), M(F) 수준의 평균이 각각 0.73점, 3.80점, 6.47점으로 나타났다. 사후 이해수준은 S(P), PS2(P), M(F) 수준의 평균이 각각 6.80점, 0.93점, 0.47점으로 사전 이해수준보다 향상되었고, 다른 개념 수준들도 모두 사전보다 향상되었다. 이해수준의 증가량을 S(P), PS2(P), M(F) 수준 이상 3개의 수준을 기준으로 살펴보면 각각 6.07점, -2.87점, -6.00점으로 나타났다.

이 결과를 통해서, 프로그램에 참여한 초등교사들은 평균적으로 현상의 원인과 세부원인까지 이해한 가장 정확한 개념인 S(P) 수준의 개념이 사전에는 약 1문항 정도였으나 사후에는 약 7문항 정도로 늘어나 질적으로 이해도가 향상되었음을 확인할 수 있다. 또한 현상적 일반화 수준인 PS2(P)개념은 사전에는 약 4문항 정도였으나 사후에는 약 1문항 정도로 줄어들었고, 줄어든 개념들은 가장 정확한 개념인 S(P) 수준으로 향상되었음을 확인할 수 있다. 또한 가장 비과학적인 M(F) 수준의 개념은 사전에는 약 7문항 정도였으나 사후에는 약 1문항 정도로

줄어들어 이 프로그램에 참여한 15명의 교사들이 가장 비과학적인 개념에서는 거의 모두 벗어났음을 확인할 수 있다. 즉, ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들의 질적인 이해도 향상에 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

표 VI-2. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해수준

	S(P)	PS1(P)	PS2(P)	PS3(P)	PS4(F)	PS5(F)	PS6(F)	M(F)	총점
사전 평균	0.73	0.00	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	6.47	11.00
사후 평균	6.80	0.40	0.93	0.07	0.40	0.67	1.27	0.47	11.00
증가량	6.07	0.40	-2.87	0.07	0.40	0.67	1.27	-6.00	0.00

2. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 하위영역별 이해도 변화

아래의 하위영역별 각 문항의 개념 이해도 변화에서는 검사도구를 통한 이해상태 변화와 각 문항별로 개발한 분석틀을 통한 이해수준의 변화를 같이 살펴본다. 각 문항별 분석틀의 이해수준은 표 III-7의 이해수준 분석틀 위계도에서의 위계를 따른다.

1) 저항에 대한 인식 영역의 이해도 분석

(1) 전지의 내부저항에 대한 1번 문항의 인식 분석

1번 문항은 규격이 같은 전지와 전구 그리고 규격과 길이가 같은 전선을 사용하여 전구에 불을 켜 전기회로에서 한 전기회로의 불빛이 다른 전기회로의 불빛보다 밝은 이유를 물어보는 문항이다. 1번 문항은 두 전기회로의 불빛의 밝기 차

이의 원인을 전지의 내부저항으로 인식하는지를 확인하는 것을 목적으로 하는 문항이므로, 이해상태와 이해수준의 점수계산에서 제외하였다.

두 전기회로의 불빛이 다른 이유는 전압의 관점에서는 전지의 기전력의 차이, 사용량에 따라서는 전지의 수명의 차이를 그 원인으로 고려할 수 있다. 그러나 전지의 기전력인 경우 개방회로인 상태에서 전지의 전압을 측정하는 것으로 전지의 사용시간에 관계없이 거의 일정하게 측정되기 때문에, 사용할 수 있는 전지의 용량이나 전지에서 전기회로로 흐를 수 있는 전류의 크기 등을 결정하지는 못한다(Hyperphysics). 또한 전지의 수명은 전지의 용량, 즉 전지가 방전시킬 수 있는 전하량에 관계되는 것으로 부하저항에 따라 그 수명이 달라지며, 전지의 수명이 다할수록 전지의 내부저항이 커진다. 그러나 전지의 내부저항이 전기회로에 흐를 수 있는 전류의 크기를 결정하는 요소로서, 전구의 밝기에 직접적인 영향을 준다는 관점에서 ‘전지의 내부저항’의 의미를 ‘전지의 수명’의 의미와는 다르게 해석해야 한다(Electropaedia).

1번 문항에서는 전지의 내부저항을 불빛의 밝기가 다른 이유로 인식하는지를 알아보는 것이 목적이었으므로, 복수 응답중에서 전지의 내부저항과 관련이 없는 응답들은 제외하고 전지의 내부저항과 관련이 있는 응답들을 대상으로 분석하였다. 분석방법은 교사들이 응답한 내용들을 전지의 내부저항과 관련하여 응답하는 유형, 전지의 수명에 관련하여 응답하는 유형, 전압의 차이에 관련하여 응답하는 유형, 전구 등 부하저항과 관련하여 응답하는 유형으로 분류하고 범주화 하였다.

사전검사와 사후검사에서 나타난 초등교사들의 응답 유형은 표 VI-3과 같다. 표 VI-3의 내용을 살펴보면, 전지의 내부저항과 관련하여 응답한 유형의 초등교사가 사전검사에서는 없었으나 사후검사에서는 9명으로 늘어났다. 그리고 전지의 수명과 관련하여 응답한 유형의 초등교사는 9명에서 1명으로 줄어들었다. 그리고 전압의 차이, 전구 등 부하저항과 관련하여 응답하는 유형의 초등교사도 일부 있었다.

이런 결과는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 통하여 초등교사들의 전지에 대한 부정확한 개념이 전지의 내부저항이 전기회로에서 전류의 크기를 결정한다는 정확한 개념으로 향상되었음을 보여준다. 이것은 프로그램의 내용 중 내부저항과 부하저항의 개념 설명자료가 초등교사들의 전지

에 대한 인식의 향상에 도움이 된 것으로 보인다. 그리고 프로그램에서 전지의 내부저항을 계산하고 부하저항과 크기를 비교하는 과정이 전지의 내부저항에 대한 이해에 도움이 된 것으로 보인다.

표 VI-3. 전지의 내부저항에 대한 1번 문항의 인식 분석

응답유형	빈도(명)	
	사전검사	사후검사
전지의 내부저항과 관련하여 응답하는 유형	0	9
전지의 수명에 관련하여 응답하는 유형	9	1
전압의 차이에 관련하여 응답하는 유형	3	2
전구 등 부하저항과 관련하여 응답하는 유형	3	3

(2) 전선의 저항에 대한 2번 문항 이해도 분석

표 VI-4는 부하저항인 전구와 전선의 저항의 크기에 대한 2번 문항의 이해수준 분석틀이다. 2번 문항은 같은 규격의 전기소자를 사용하는 두 전기회로에서 한 전기회로에는 전구를, 다른 전기회로에는 전선을 연결했을 때 어느 회로에서 큰 전류가 흐르는지 물어보는 내용이므로 2번 문항에서 사용하는 이해수준 분석틀에서는 하위개념요소는 필요하지 않아, 상위개념요소로만 이해수준 분석틀이 구성되었다. 2번 문항에서 현상의 원인파악은 ‘전선의 저항이 전구의 저항보다 작다’는 것을 인식하는 것이었다.

2번 문항의 이해수준 분석틀은 S(P), M(F) 이상 2가지 이해수준으로 구성되었다. 답안 선택 이유를 이해수준별로 살펴보면, S(P) 수준은 현상의 원인인 ‘전선의 저항이 전구의 저항보다 작다’는 것을 인식하여 ‘전구의 저항이 전선의 저항보다 커서 전류가 작아지므로’, ‘전구를 제거하여 부하저항이 크게 감소하여 전류가 커지므로’와 같이 작성한 경우에 해당한다. 그리고 M(F) 수준은 현상의 원인을 파악하지 못하여, ‘어떤 부하저항을 연결해도 전지에서 나오는 전류는 일정하므로’, ‘전구가 연결되지 않은 전기회로에서는 전류가 흐르지 않으므로’와 같이 작성한 경우에 해당한다.

표 VI-4. 전구와 전선의 저항의 크기에 대한 2번 문항의 이해수준 분석틀

답안 선택 이유 작성 내용	분류기호	상위개념요소
		중위개념 현상의 원인과약을 통한 일반화 전구와 전선의 저항 크기와 옴의 법칙 인식
1. 전구의 저항이 전선의 저항보다 커서 전류가 작아지므로	S(P)	O
2. 전구를 제거하여 부하저항이 크게 감소하여 전류가 커지므로		
1. 어떤 부하저항을 연결해도 전지에서 나오는 전류는 일정하므로	M(F)	X
2. 전구가 연결되지 않은 전기회로에서는 전류가 흐르지 않으므로		

그림 VI-1은 전구와 전선의 저항의 크기에 대한 2번 문항의 사전사후 이해상태를 나타내는 그래프이다. 그림 VI-1의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 정답인 2번 문항을 선택한 초등교사가 73.3%이었으나 프로그램을 실시하고 나서는 정답인 2번 문항을 선택한 초등교사가 100.0%이었다. 즉, 이 프로그램에 참여한 전교사가 이 문항에 대해 이해하였다.

그림 VI-2는 문항 2의 사전사후 이해수준을 나타낸 그래프이다. 그림 VI-2의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 어떤 부하저항을 연결해도 전지에서 나오는 전류는 일정하다고 생각하거나 전구가 연결되지 않은 전기회로에서는 전류가 흐르지 않는다고 생각하는 M(F) 수준의 개념을 가진 교사가 26.7%이었으나, 프로그램을 실시하고 나서는 프로그램에 참여한 모든 초등교사가 ‘전선이 전구보다 부하저항이 작기 때문에, 전선을 연결한 전기회로에서 전류가 더 크게 나온다’는 S(P) 수준으로 변화하였다.

이 결과를 통해 ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’

은 초등교사들에게 ‘부하저항의 크기 차이’가 같은 전자소자들로 구성된 회로들에서 전류의 차이의 원인이 된다는 2번 문항의 양적·질적 개념 이해도 향상에 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 프로그램의 활동 중 전구를 연결한 단일전지 전기회로에서는 측정된 전류값도 매우 적고 나침반의 각도변화가 매우 적게 일어나는데 비해, 전구를 연결하지 않은 단일전지 전기회로에서는 측정된 전류값도 약 3 A 정도로 크고 나침반의 각도가 매우 크게 나타나는 현상을 경험한 것이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다. 또한 프로그램 활동에서 전구가 연결된 전기회로에서 계산된 부하저항의 크기와 전선만으로 구성된 전기회로에서 계산된 부하저항의 크기의 차이를 확인하는 과정이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다.

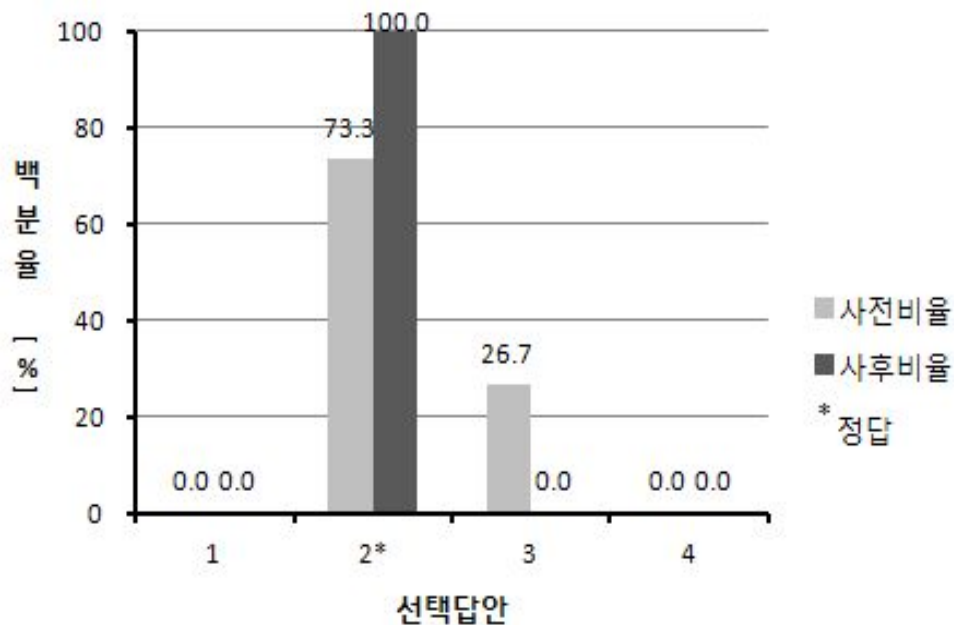


그림 VI-1. 전구와 전선의 저항의 크기에 대한 2번 문항의 사전사후 이해상태

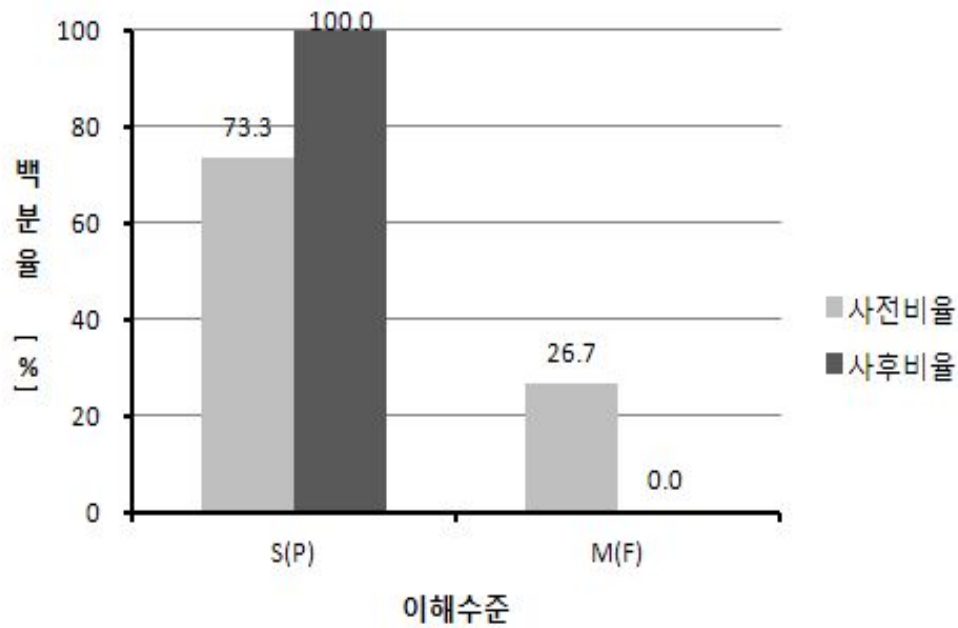


그림 VI-2. 전구와 전선의 저항의 크기에 대한 2번 문항의 사전사후 이해수준

2) 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역의 이해도 분석

이 영역에서는 전구와 같이 전지의 내부저항보다 큰 부하저항을 연결한 전기 회로에서 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 각 문항별 이해도 변화를 살펴본다. 이 영역의 문항들은 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 중 ‘학습개념’에 해당한다.

(1) 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 3번 문항의 이해도 분석

표 VI-5는 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개의 직렬연결에서 전류의 크기를 비교하는 3번 문항의 이해수준 분석틀이다. 3번 문항에서 현상의 원인파악은 ‘전지를 직렬연결하면 커지는 내부저항이 총저항에 주는 영향이 너무 작아서 총저항이 일정해짐을 인식하는 것’과 ‘전지의 기전력 증가량이 총저항 증가량보다 크다는 것을 인식하는 것’ 이상 2가지이다. 현상의

원인파악을 좀 더 자세하게 설명하면, ‘전지의 내부저항이 총저항에 영향을 주지 못하고 있는 상황이므로 총저항은 일정한데 전지의 기전력이 2배 상승하므로 전류도 커진다’는 현상의 원인에 대한 이해와 ‘전지의 기전력 증가량이 총저항의 증가량보다 크기 때문에 전류는 증가할 수 있다’는 현상의 원인에 대한 이해이다. 실제 프로그램 실험활동을 수행했을 때, 전구가 연결된 회로에서는 전지의 기전력이 증가할수록 전구의 저항이 같이 증가하는 현상이 발생한다. 그러나 그런 현상으로 인해 전류 증가량 감소의 원인 파악이 어렵기 때문에, 위의 프로그램 워크시트 내용에서 언급한 ‘직렬연결된 전지의 개수가 증가할수록 전류증가량이 감소하는 이유를 파악할 수 있는 보충자료’인 표 V-3, 표 V-4에서 부하저항을 고정저항으로 사용하였으므로, 이 문항의 이해수준 분석들에서는 두 가지 현상의 원인 파악을 모두 인정하였다.

3번 문항의 이해수준 분석들은 S(P), PS2(P), PS6(F), M(F) 이상 4가지 이해수준으로 구성되었다. 답안 선택 이유를 이해수준별로 살펴보면, S(P) 수준은 현상의 원인을 인식하여 ‘내부저항이 부하저항에 비해 매우 작아서 영향을 주지 못하고, 총저항이 거의 일정한 상태에서 전지의 기전력이 커지므로 전류는 증가하므로’, ‘전지의 기전력 증가량이 총저항 증가량보다 커서 전류는 증가하므로’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS2(P) 수준은 현상을 통하여 일반화한 ‘부하저항이 전지 1개의 평균내부저항보다 큰 상황에서는 실험결과가 그렇게 나오므로’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS6(F) 수준은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 혼동하여 ‘전지의 기전력 증가량과 내부저항 증가량의 크기가 비슷하므로, 내부저항이 늘어나서 전류의 크기가 비슷해진다’, ‘전지의 기전력 증가량보다 내부저항 증가량의 크기가 크기 때문에, 내부저항이 늘어나서 전류의 크기가 작아진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. 그리고 M(F) 수준은 전지의 직렬연결시 전압이 커지는 것에 대한 인식 부족한 경우에 해당한다.

표 VI-5. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 3번 문항의 이해수준 분석틀

답안 선택 이유 작성 내용	분류 기호	하위개념요소			상위개념요소	
		전지연 결방법 에 따른 전압의 크기	전지연 결방법 에 따른 내부저 항의 크기	부하저 항과 내부저 항의 크기	하위 개념	중위개념
					현상을 통한 일반화	현상의 원인파악을 통한 일반화
1. 내부저항이 부하저항에 비해 매우 작아서 영향을 주지 못하고, 총저항이 거의 일정한 상태에서 전지의 기전력이 커지므로 전류는 증가함	S(P)	O	O	O	실험결과를 통한 일반화	1. 전지를 직렬연결하면 커지는 내부저항이 총저항에 주는 영향이 너무 작아서 총저항이 일정한 짐을 인식
2. 전지의 기전력 증가량이 총저항 증가량보다 커서 전류는 증가함						2. 전지의 기전력 증가량이 총저항 증가량보다 크다는 것을 인식
부하저항이 전지 1개의 평균내부저항보다 큰 상황에서는 실험결과가 그렇게 나옴	PS2 (P)	O	O	O	O	X
1. 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력 증가량과 내부저항 증가량의 크기가 비슷하므로, 내부저항이 늘어나서 전류의 크기가 비슷해짐	PS6 (F)	O	O	X	X	.
2. 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력 증가량보다 내부저항 증가량의 크기가 크기 때문에, 내부저항이 늘어나서 전류의 크기가 작아짐						
전지의 직렬연결시 전압이 커지는 것에 대한 인식 부족	M (F)	X	.	.	X	.

그림 VI-3은 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개의 직렬연결에서 전류의 특성 비교에 대한 3번 문항의 사전사후 이해상태를 나타내는 그래프이다. 그림 VI-3의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 정답인 3번 문항을 선택한 초등교사가 93.3%이었으나 프로그램을 실시하고 나서는 정답인 3번 문항을 선택한 초등교사가 73.3%로 약간 감소하였다. 그런데 이 문항의 정답을 선택하지 못한 교사들이 프로그램에 참여했을 때, 이 문항과 관련된 내용을 워크시트에 작성하기 위하여 동료교사들과 나누었던 대화내용에서는 모두 올바른 내용을 이야기하고 있거나 또는 올바른 개념을 이야기하는 동료의 얘기를 성실하게 듣고 있었다. 대화내용의 일부를 살펴보면 아래의 내용과 같다.

C교사: 근데 전압도 계속 늘어나잖아요.

A교사: 전압은 2, 3, 4배 커지는데, 저항은 그 정도는 아니고 거의 비슷하게 증가해... 비슷하게 가는데 아니고 애도 일정하게 가는데... 이만큼 커지는 거는 아니니까요. 그러니까 전류도 조금씩 커지고 있는데...

C교사: 전류도 조금씩 커지는데 증가하는 비율이 줄어드는 거잖아.

C교사: 전류가 늘어나는 비율이 조금씩 줄어드는데, 그 이유가 저항이 조금씩 계속 늘어나기 때문에... 조금씩 증가비율이 낮아지는 거지...

A교사: 응! 맞아.

이 대화 내용을 살펴보면 이 문항에서 정답을 선택하지 못한 C교사가 다른 동료교사들과 정확한 개념을 바르게 이해하여 이야기 하고 있음을 알 수 있다. 그런데 개념검사에서 이 문항에 대해 정답을 선택하지 못한 것은 워낙 강한 학습개념과 새로운 분화개념이 서로 인지갈등을 일으키면서 학습개념에 혼동이 일어났음을 보여주는 결과이다. 이는 개념 변화과정에서 거쳐야 하는 과정으로 학습개념과 분화개념이 정착되어 가는 과정에서 일부 교사들이 학습개념과 분화개념의 갈등상태에 머물러 있다는 것을 의미한다(권재술, 1989; 김연수, 2002; 이경호, 2000; 이영직, 1998; 차영, 2001). 또한 이렇게 정답률이 높았던 3번, 5번, 9번, 11번 문항에서도 확장개념이 정착되는 과정에서 일부 교사들에게서 학습개념이

불안정해지는 현상이 발생하여 정답률이 약간 감소하는 현상이 발생했다.

그림 VI-4는 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개의 직렬연결에서 전류의 특성 비교에 대한 3번 문항의 사전사후 이해수준을 나타내는 그래프이다. 그림 VI-4의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 현상적 수준의 일반화인 ‘전구가 연결된 회로에서는 전지를 직렬연결하면 전류가 증가한다’는 PS2(P) 수준의 개념을 가진 교사가 93.3%로 많았고 정확한 개념인 S 수준은 없었다. 프로그램을 실시하고 나서는 53.3%의 교사들이 정확한 개념인 S 수준으로 향상되었다. 그리고 20.0%의 교사들은 PS6(F) 수준으로 개념의 수준이 하락하였다.

프로그램 실시 전에 현상적 수준의 일반화에 해당하는 초등교사들이 많았던 것은 이와 관련된 내용을 과학과 정규교육과정에서 반복학습하고 또한 초등학생들에게 이와 관련된 실험을 지도했던 경험이 있었기 때문으로 보인다. 그리고 PS6(F) 수준으로 이해수준이 하락한 교사들은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 반대로 인식하여 나타난 현상이었다. 또한 그림 VI-4를 살펴보면 이해수준은 전반적으로 사전보다 사후에서 그래프의 왼쪽인 상위 이해 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

이 결과를 통해 ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들에게 학습개념인 2번 문항의 양적 개념 이해도 향상에는 효과적이지 못하였으나, 질적 개념 이해도 향상에는 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 프로그램에서 직접 전지를 직렬로 연결하면서 전류를 측정하고, 부하저항과 전지의 내부저항, 전지의 기전력 자료를 해석하는 과정을 통해 현상의 원인을 파악하는 활동이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다. 질적인 이해도 향상은 초등교사들이 지금까지 잘 알고 있었던 ‘전지를 직렬연결하면 전류의 크기는 커진다’라는 학습개념에 대하여 현상의 원인을 파악하는 수준으로 개념이 향상되었음을 의미한다.

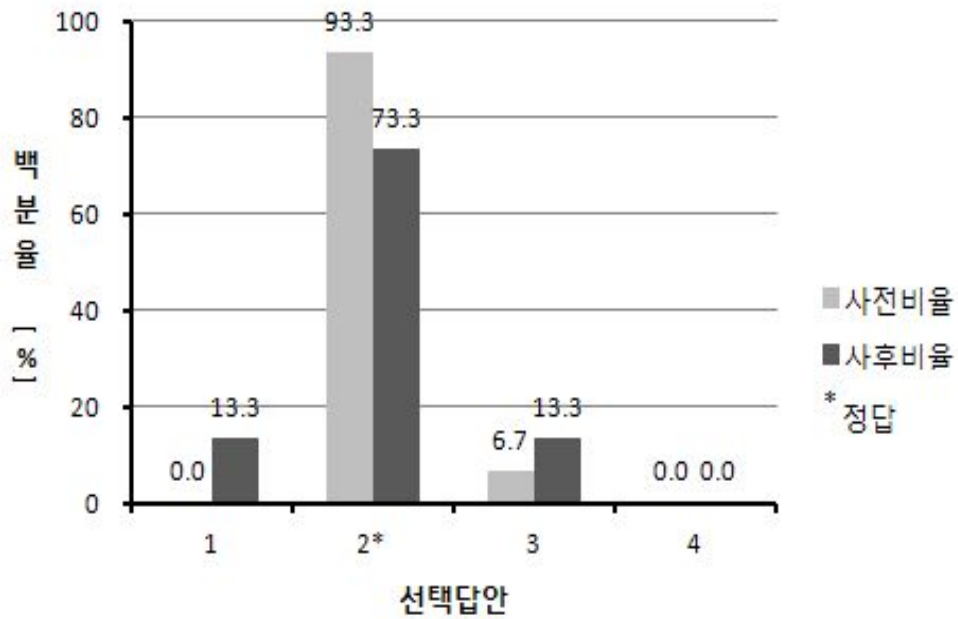


그림 VI-3. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 3번 문항의 사전사후 이해상태

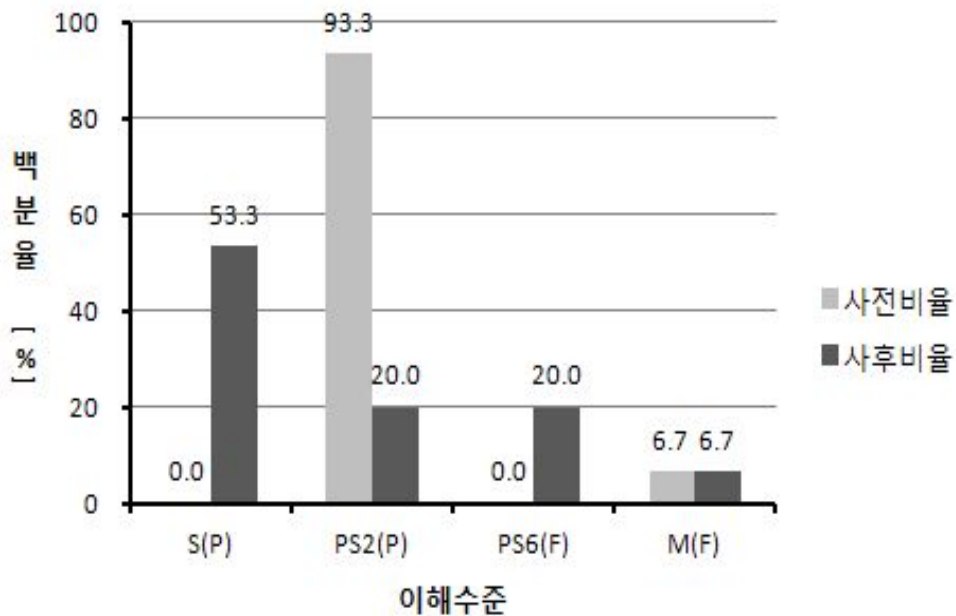


그림 VI-4. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 3번 문항의 사전사후 이해수준

(2) 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 5번 문항의 이해도 분석

표 VI-6은 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개의 병렬연결에서 전류의 크기를 비교하는 5번 문항의 이해수준 분석틀이다. 5번 문항에서 현상의 원인파악은 ‘전지를 병렬연결하면 작아지는 내부저항이 총저항에 주는 영향이 너무 작아서 총저항이 일정해진다’는 것을 인식하는 것이다. 현상의 원인파악을 좀 더 자세하게 설명하면, ‘전지의 내부저항이 총저항에 영향을 주지 못하고 있는 상황이므로 총저항은 일정한데 전지의 기전력도 일정하므로 전류도 일정하다’는 것이다.

5번 문항의 이해수준 분석틀은 S(P), PS2(P), PS3(F), PS6(F) 이상 4가지 이해수준으로 구성되었다. 답안 선택 이유를 이해수준별로 살펴보면, S(P) 수준은 현상의 원인을 인식하여 ‘전지의 내부저항이 부하저항에 비해 매우 작아서 영향을 주지 못하고, 전지의 기전력이 일정하고 총저항이 일정하므로 전류의 크기가 비슷해진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS2(P) 수준은 현상을 통하여 일반화한 ‘부하저항이 전지 1개의 평균 내부저항보다 큰 상황에서는 실험결과가 그렇게 나오므로’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS3(P) 수준은 전지의 연결방법에 따른 저항의 크기에 대하여 잘못 이해하고 있으나 전지의 내부저항의 크기가 작용하지 못하므로 인해 정답을 선택한 수준으로 ‘부하저항이 훨씬 큰 상황에서 전압은 같고 내부저항의 증가가 미미하여 총저항은 일정하여 전류의 세기가 비슷하다’라고 작성한 경우에 해당한다. PS6(F) 수준은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 혼동하여 ‘전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력이 일정하고 내부저항의 감소로 인하여 총저항이 감소하므로, 전류의 크기가 커진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다.

표 VI-6. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 5번 문항의 이해수준 분석틀

답안 선택 이유 작성 내용	분류 기호	하위개념요소			상위개념요소	
		하위 개념	중위 개념	상위 개념	하위 개념	중위개념
		전지연 결방법 에 따른 전압의 크기	전지연 결방법 에 따른 내부저 항의 크기	부하저 항과 내부저 항의 크기	현상을 통한 일반화 실험결 과를 통한 일반화	현상의 원인과약을 통한 일반화 전지를 병렬연결하면 작아지는 전지의 내부저항이 총저항에 주는 영향이 너무 작아서 총저항이 일정해짐을 인식
전지의 내부저항이 부하 저항에 비해 매우 작아 서 영향을 주지 못하고, 전지의 기전력이 일정하 고 총저항이 일정하므로 전류의 크기가 비슷해짐	S(P)	O	O	O	O	O
부하저항이 전지 1개의 평균 내부저항보다 큰 상황에서는 실험결과가 그렇게 나옴	PS2 (P)	O	O	O	O	X
부하저항이 훨씬 큰 상 황에서 전압은 같고 내 부저항의 증가가 미미 하여 총저항은 일정하여 전류의 세기가 비슷함	PS3 (P)	O	X	O	O	O
전지의 내부저항의 크기 가 총저항에 영향을 미 칠 정도로 크고, 전지의 기전력이 일정하고 내부 저항의 감소로 인하여 총저항이 감소하므로, 전류의 크기가 커짐	PS6 (F)	O	O	X	X	.

그림 VI-5는 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개의 병렬연결에서 전류의 특성 비교에 대한 5번 문항의 사전사후 이해상태를 나타내는 그래프이다. 그림 VI-5의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 5번

문항의 정답을 선택한 초등교사가 100.0%이었으나 프로그램을 실시하고 나서는 5번 문항의 정답을 선택한 초등교사가 80.0%로 약간 감소하였다.

이는 3번 문항에서와 같이 개념 변화과정에서 거쳐야 하는 과정으로 학습개념과 분화개념이 정착되어 가는 과정에서 일부 교사들이 학습개념과 분화개념의 갈등상태에 머물러 있다는 것을 의미한다(권재술, 1989; 김연수, 2002; 이경호, 2000; 이영직, 1998; 차영, 2001).

그림 VI-6은 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개의 병렬연결에서 전류의 특성 비교에 대한 5번 문항의 사전사후 이해수준을 나타낸 그래프이다. 그림 VI-6의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 현상적 수준의 일반화인 ‘전구가 연결된 회로에서는 전지를 병렬연결하면 전류의 크기는 일정하다’는 PS2(P) 수준의 개념을 가진 교사가 100.0%였고 정확한 개념인 S 수준은 없었으나, 프로그램을 실시하고 나서는 60.0%의 교사들이 정확한 개념인 S 수준으로 향상되었다. 그리고 20.0%의 교사들은 PS6(F) 수준으로 개념의 수준이 하락하였는데, 이는 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 반대로 인식하여 나타난 현상이었다. 또한 그림 VI-6을 살펴보면 이해수준은 전반적으로 사전보다 사후에서 그래프의 왼쪽인 상위 이해 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

이 결과를 통해 ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들에게 학습개념인 5번 문항의 양적 개념 이해도 향상에는 효과적이지 못하였으나, 질적 개념 이해도 향상에는 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 프로그램에서 직접 전지를 병렬로 연결하면서 전류를 측정하고, 부하저항과 전지의 내부저항, 전지의 기전력 자료를 해석하는 과정을 통해 현상의 원인을 파악하는 활동이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다. 질적인 이해도 향상은 초등교사들이 지금까지 잘 알고 있었던 ‘전지를 병렬연결하면 전류의 크기는 일정해진다’라는 학습개념에 대하여 현상의 원인을 파악하는 수준으로 개념이 향상되었음을 의미한다.

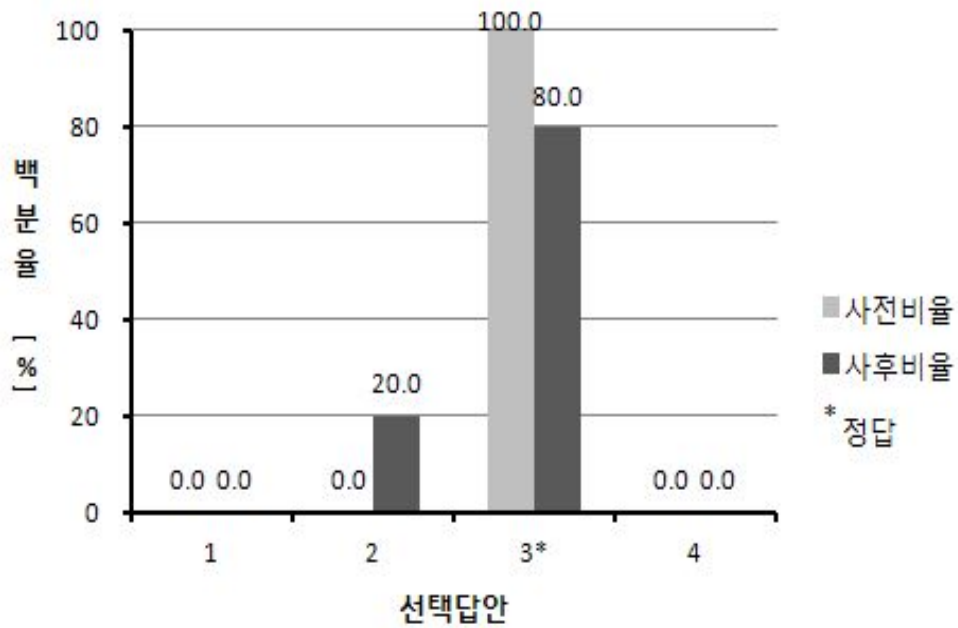


그림 VI5 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전지회로의 전류의 크기를 비교하는 5번 문항의 사전사후 이해상태

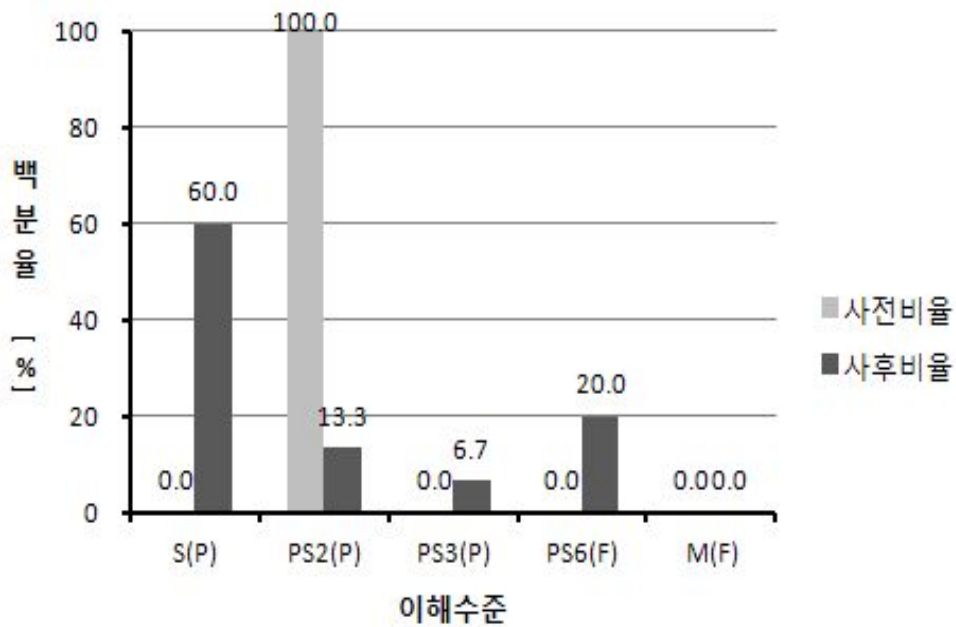


그림 VI6 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전지회로의 전류의 크기를 비교하는 5번 문항의 사전사후 이해수준

(3) 전지의 다중직렬 연결시 전류 특성에 대한 7번 문항의 이해도 분석

표 VI-7은 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 7번 문항의 이해수준 분석틀이다. 7번 문항에서 현상의 원인파악은 ‘전지의 기전력 증가량이 총저항 증가량보다 커서 전류가 비례하지는 않지만 증가하게 된다’는 것을 인식하는 것이다. 그리고 이 문항에서 현상의 세부 원인파악은 ‘내부저항의 지속적인 증가로 전류가 어느 시점에서 더 이상 커지지 못한다’는 것을 인식하는 것이다. 따라서 7번 문항의 이해수준 분석틀에서는 상위개념요소에서 상위요소가 존재하게 된다.

7번 문항의 이해수준 분석틀은 S(P), PS1(P), PS4(F), M(F) 이상 4가지 이해수준으로 구성되었다. 답안 선택 이유를 이해수준별로 살펴보면, S(P) 수준은 현상의 원인과 세부 원인을 인식하여 ‘전지의 내부저항이 부하저항에 비해 매우 작지만 전지를 직렬연결할수록 점점 커져서, 기전력 증가량만큼 총저항의 증가량도 커지므로 전류는 증가하다가 어느 시점에서 더 이상 증가하지 않는다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS1(P) 수준은 내부저항의 증가가 총저항이 증가의 원인이라는 것에 대한 이해부족한 수준으로 ‘기전력 증가량만큼 총저항의 증가량도 계속 커지므로, 기전력이 커지면 전류는 증가하다가 어느 시점에서 더 이상 증가하지 않는다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS4(F) 수준은 현상의 원인은 파악하지만 세부원인을 파악하지 못하는 수준으로 ‘기전력 증가량보다 총저항의 증가량이 작으므로, 기전력이 커지면 전류는 비례하지는 않지만 계속 증가한다’라고 작성한 경우에 해당한다. M(F) 수준은 저항은 직렬연결하면 증가한다는 것에 대한 인식의 부족한 경우와 전압은 직렬연결하면 증가한다는 것에 대한 인식의 부족한 경우에 해당한다.

표 VI-7. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류 특성에 대한 7번 문항의 이해수준 분석틀

답안 선택 이유 작성 내용	분류 기호	하위개념요소			상위개념요소		
		하 위 개 념	중 위 개 념	상 위 개 념	하 위 개 념	중 위 개 념	상 위 개 념
		전지 연결 방법 에 따른 전압 의 크기	전지 연결 방법 에 따른 내부 저항 의 크기	부 하 저 항 과 내 부 저 항 의 크 기	현상 을 통 한 일 반 화	현상의 원인 과 약 을 통 한 일 반 화	현상의 세 부 원 인 과 약 을 통 한 일 반 화
전지의 내부저항이 부하저항에 비해 매우 작지만 전지를 직렬연결할수록 점점 커져서, 기전력 증가량만큼 총저항의 증가량도 커지므로 전류는 증가하다가 어느 시점에서 더 이상 증가하지 않음	S (P)	O	O	O	O	O	O
기전력 증가량만큼 총저항의 증가량도 계속 커지므로, 기전력이 커지면 전류는 증가하다가 어느 시점에서 더 이상 증가하지 않음(내부저항의 증가가 총저항이 증가의 원인이라는 것에 대한 이해부족)	PS1 (P)	O	O	O	O	O	X
기전력 증가량보다 총저항의 증가량이 작으므로, 기전력이 커지면 전류는 비례하지는 않지만 계속 증가함	PS4 (F)	O	O	O	X	O	X
저항은 직렬연결하면 증가한다는 것에 대한 인식의 부족	M	O	X	.	.	.	.
전압은 직렬연결하면 증가한다는 것에 대한 인식의 부족	(F)	X	O	.	.	.	.

그림 VI-7은 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 7번 문항의 사전사후 이해상태를 나타내는 그래프이다. 그림 VI-7의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 7번 문항을 이해한 초등교사가 0.0%로 한 명도 없었으나 프로그램을 실시하고 나서는 7번 문항을 이해한 초등교사가 73.3%로 증가하였다.

이 결과를 통해, 7번 문항은 학습개념에 해당하는 문항이지만 오개념이 많은 문항이었기 때문에 정답률이 낮았으나 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 통하여 이해도가 향상되었음을 보여준다.

그림 VI-8은 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 7번 문항의 사전사후 이해수준을 나타낸 그래프이다. 그림 VI-8의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 모든 초등교사가 M 수준이었으나, 프로그램을 실시하고 나서는 53.3%의 초등교사들이 정확한 개념인 S 수준으로 향상되었다. 그리고 20.0%의 초등교사들은 PS1(P) 수준으로 향상하였다. 그리고 13.3%의 초등교사들은 유사정답 수준인 PS4(F) 수준으로 향상하였다. 또한 그림 VI-8을 살펴보면 이해수준은 전반적으로 사전보다 사후에서 그래프의 왼쪽인 상위 이해 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

이 결과를 통해 ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들에게 학습개념인 7번 문항의 양적 개념 이해도 향상과 질적 개념 이해도 향상에 효과적이었음을 확인할 수 있었다. 이것은 프로그램에서 직접 전지를 1개에서부터 6개까지 직렬연결하고 전류를 측정하면서 전류 증가량이 전지수에 비례하지 않는다는 현상을 경험하는 활동과 부하저항과 전지의 내부저항, 전지의 기전력 자료를 해석하는 과정을 통해 현상의 원인을 파악하는 활동이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다. 또한 표 V-3, 표 V-4에서 전지의 내부저항이 있을 때와 없을 때라는 상황을 제시하는 활동이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다.

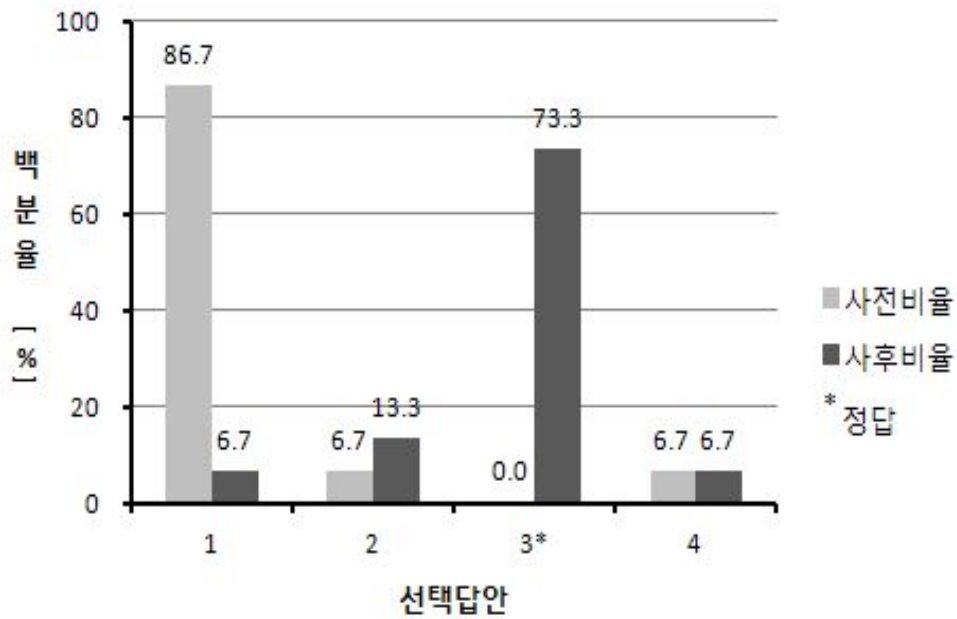


그림 VI-7. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 7번 문항의 사전사후 이해상태

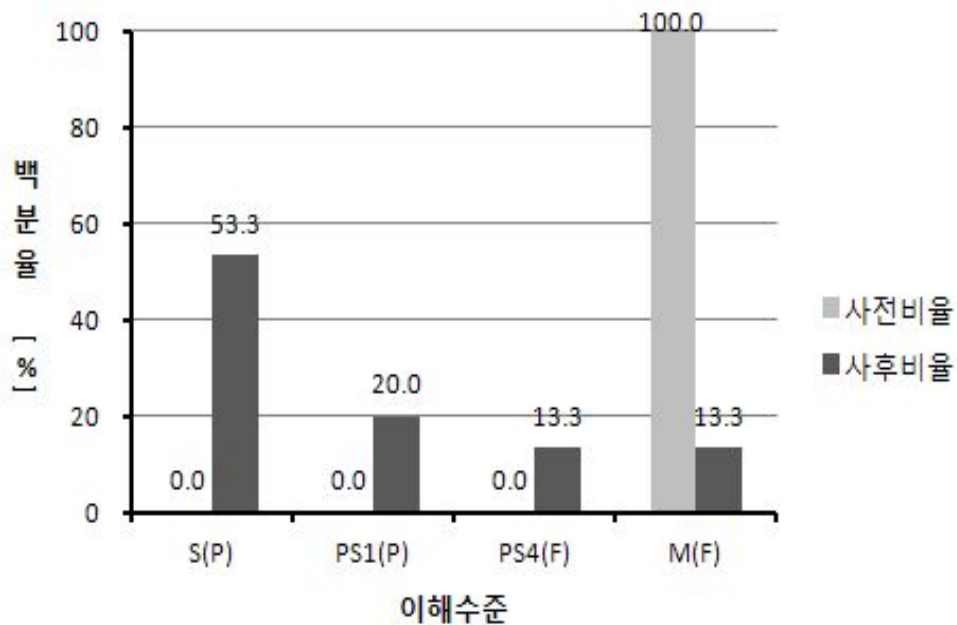


그림 VI-8. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 7번 문항의 사전사후 이해수준

(4) 전지의 다중병렬 연결시 전류 특성에 대한 9번 문항의 이해도 분석

표 VI-8은 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 9번 문항의 이해수준 분석틀이다. 9번 문항에서 현상의 원인파악은 ‘전지를 병렬연결할수록 작아지는 전지의 내부저항이 총저항에 주는 영향이 너무 작아서 총저항이 일정해진다’는 것을 인식하는 것이다. 현상의 원인파악을 좀 더 자세하게 설명하면, ‘전지의 내부저항이 총저항에 영향을 주지 못하고 있는 상황이므로 총저항은 일정한데 전지를 계속 병렬연결하여도 전지의 기전력이 일정하므로 전류도 일정하다’는 것이다.

9번 문항의 이해수준 분석틀은 S(P), PS2(P), PS6(F) 이상 3가지 이해수준으로 구성되었다. 답안 선택 이유를 이해수준별로 살펴보면, S(P) 수준은 현상의 원인을 인식하여 ‘전지의 내부저항이 부하저항에 비해 매우 작아서 총저항에 영향을 주지 못하고, 전지의 기전력과 총저항이 거의 일정하므로 전류의 크기가 일정하다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS2(P) 수준은 현상을 통하여 일반화한 ‘부하저항이 전지 1개의 평균내부저항보다 큰 상황에서는 실험결과가 그렇게 나오므로’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS6(F) 수준은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 혼동하여 ‘전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력이 일정하고 내부저항의 감소로 인하여 총저항이 감소하다가 일정해지므로, 전류의 크기가 커지다가 일정해진다’, ‘전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력이 일정하고 전지의 내부저항의 감소로 인하여 총저항이 감소하므로, 전류의 크기가 비례하여 커진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다.

표 VI-8. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류 특성에 대한 9번 문항의 이해수준 분석틀

답안 선택 이유 작성 내용	분류 기호	하위개념요소			상위개념요소	
		전지연 결방법 에 따른 전압의 크기	전지연 결방법 에 따른 내부저 항의 크기	부하저 항과 내부저 항의 크기	하위 개념	중위개념
					현상을 통한 일반화	현상의 원인과약을 통한 일반화
					실험결 과를 통한 일반화	전지를 병렬연결할수록 작아지는 전지의 내부저항이 총저항에 주는 영향이 너무 작아서 총저항이 일정해짐을 인식
전지의 내부저항이 부하 저항에 비해 매우 작아 서 총저항에 영향을 주 지 못하고, 전지의 기전 력과 총저항이 거의 일 정하므로 전류의 크기가 일정함	S(P)	O	O	O	O	O
부하저항이 전지 1개의 평균 내부저항보다 큰 상황에서는 실험결과가 그렇게 나옴	PS2 (P)	O	O	O	O	X
1. 전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지 의 기전력이 일정하고 내부저항의 감소로 인하 여 총저항이 감소하다가 일정해지므로, 전류의 크기가 커지다가 일정해 짐	PS6 (F)	O	O	X	X	.
2. 전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지 의 기전력이 일정하고 전지의 내부저항의 감소 로 인하여 총저항이 감 소하므로, 전류의 크기 가 비례하여 커짐						

그림 VI-9는 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서, 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 9번 문항의 사전사후 이해상태를 나타내는 그래프이다. 그림 VI-9의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 9번 문항을 이해한 초등교사가 93.3%이었으나 프로그램을 실시하고 나서는 9번 문항을 이해한 초등교사가 80.0%로 약간 감소하였다.

이는 3번 문항에서와 같이 개념 변화과정에서 거쳐야 하는 과정으로 학습개념과 분화개념이 정착되어 가는 과정에서 일부 교사들이 학습개념과 분화개념의 갈등상태에 머물러 있다는 것을 의미한다(권재술, 1989; 김연수, 2002; 이경호, 2000; 이영직, 1998; 차영, 2001).

그림 VI-10은 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서, 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 9번 문항의 사전사후 이해수준을 나타낸 그래프이다. 그림 VI-10의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 현상적 수준의 일반화인 ‘전구가 연결된 회로에서는 전지를 계속 병렬연결하여도 전류의 크기는 일정하다’는 PS2(P) 수준의 개념을 가진 교사가 93.3%였고 정확한 개념인 S 수준은 없었으나, 프로그램을 실시하고 나서는 60.0%의 교사들이 정확한 개념인 S 수준으로 향상되었다. 그리고 20.0%의 교사들은 PS6(F) 수준으로 개념의 수준이 하락하였는데, 이는 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 반대로 인식하여 나타난 현상이었다. 또한 그림 VI-10을 살펴보면 이해수준은 전반적으로 사전보다 사후에서 그래프의 왼쪽인 상위 이해 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

이 결과를 통해 ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들에게 학습개념인 9번 문항의 양적 개념 이해도 향상에는 효과적이지 못하였으나, 질적 개념 이해도 향상에는 효과적이었음을 확인할 수 있었다. 이것은 프로그램에서 직접 전지를 1개에서부터 6개까지 병렬연결하면서 전류를 측정하면서 전지수에 상관없이 전류는 일정하다는 현상을 경험하는 활동과 부하저항과 전지의 내부저항, 전지의 기전력 자료를 해석하는 과정을 통해 현상의 원인을 파악하는 활동이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다. 질적인 이해도 향상은 초등교사들이 지금까지 잘 알고 있었던 ‘전지를 계속 병렬연결하여도 전류의 크기는 일정해진다’라는 학습개념에 대하여 현상의 원인을 파악하는 수준으로 개념이 향상되었음을 의미한다.

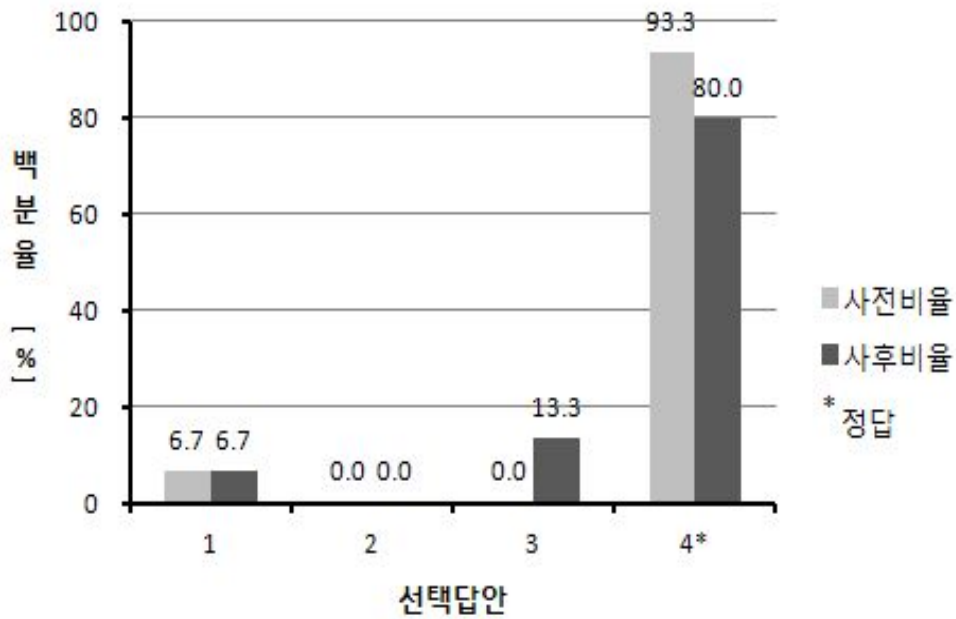


그림 VI-9. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 9번 문항의 사전사후 이해상태

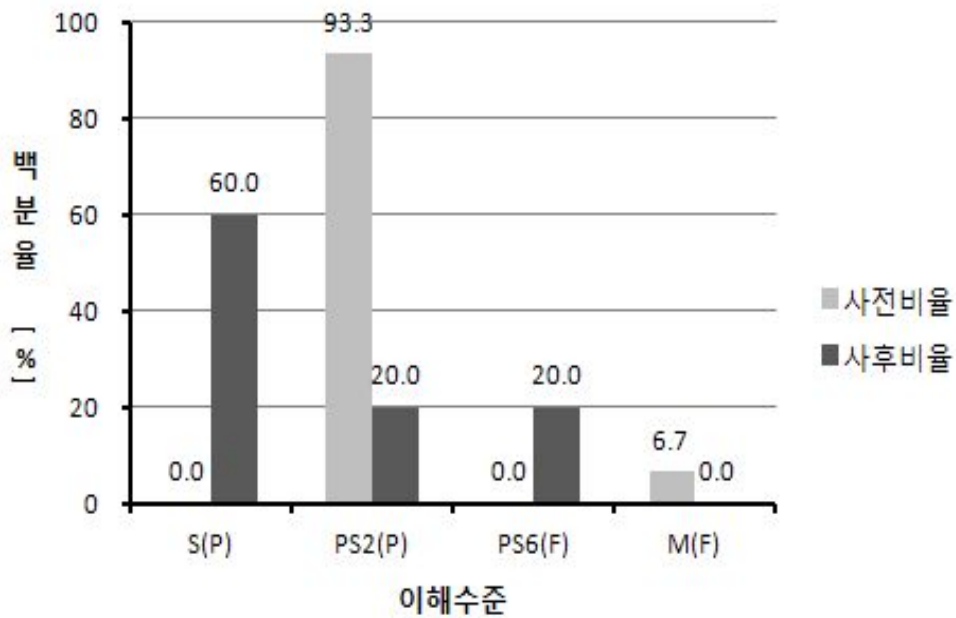


그림 VI-10. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 9번 문항의 사전사후 이해수준

(5) 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성 비교에 대한 11번 문항의 이해도 분석

표 VI-9는 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 11번 문항의 이해수준 분석틀이다. 11번 문항에서 현상의 원인과약은 ‘전지의 직렬연결과 병렬연결시 내부저항 증가율과 감소율이 총저항에 거의 영향을 주지 못하여 총저항이 일정해진다’는 것을 인식하는 것이다. 현상의 원인과약을 좀 더 자세하게 설명하면, ‘전지의 내부저항이 총저항에 영향을 주지 못하고 있는 상황이므로 총저항은 일정한데 전지를 직렬연결하면 기전력이 2배로 증가하므로 전지를 연결하여도 기전력이 일정한 병렬연결보다 더 큰 전류가 흐른다’는 것이다.

11번 문항의 이해수준 분석틀은 S(P), PS2(P), PS6(F), M(F) 이상 4가지 이해수준으로 구성되었다. 답안 선택 이유를 이해수준별로 살펴보면, S(P) 수준은 현상의 원인을 인식하여 ‘내부저항이 부하저항에 비해 매우 작아서 영향을 주지 못하므로 총저항이 비슷한 상황에서 전지의 기전력이 2배로 커지는 전지의 직렬연결회로가 기전력이 일정한 전지의 병렬연결회로보다 더 큰 전류가 흐른다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS2(P) 수준은 현상을 통하여 일반화한 ‘부하저항이 전지 1개의 평균내부저항보다 큰 상황에서는 실험결과가 그렇게 나오므로’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS6(F) 수준은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 혼동하여 ‘전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지를 직렬로 연결하면 전지의 기전력은 커지나 내부저항도 증가하게 되고, 전지를 병렬로 연결하면 기전력은 그대로이나 내부저항은 작아지므로 전류의 크기는 비슷하거나 비교할 수 없다’, ‘전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 부하저항이 동일한 상태에서 전지를 직렬연결하면 내부저항이 증가하여 전류의 크기가 작아진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. 그리고 M(F) 수준은 전지 연결방법에 따른 전압의 크기를 인식하지 못하는 경우에 해당한다.

표 VI-9. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬 연결시 전류의 특성에 대한 11번 문항의 이해수준 분석틀

답안 선택 이유 작성 내용	분류 기호	하위개념요소			상위개념요소	
		하위 개념	중위 개념	상위 개념	하위 개념	중위개념
		전지 연결 방법 에 따른 전압 의 크기	전지 연결 방법 에 따른 내부 저항 의 크기	부하 저항 과 내부 저항 의 크기	현상을 통한 일반화	현상의 원인파악을 통한 일반화
내부저항이 부하저항에 비해 매우 작아서 영향을 주지 못하므로 총저항이 비슷한 상황에서 전지의 기전력이 2배로 커지는 전지의 직렬연결회로가 기전력이 일정한 전지의 병렬 연결회로보다 더 큰 전류가 흐름	S (P)	O	O	O	O	O
부하저항이 전지 1개의 평균 내부저항보다 큰 상황에서는 실험결과가 그렇게 나옴	PS2 (P)	O	O	O	O	X
1. 전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지를 직렬로 연결하면 전지의 기전력은 커지나 내부저항도 증가하게 되고, 전지를 병렬로 연결하면 기전력은 그대로이나 내부저항은 작아지므로 전류의 크기는 비슷하거나 비교할 수 없음 2. 전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 부하저항이 동일한 상태에서 전지를 직렬연결하면 내부저항이 증가하여 전류의 크기가 작아짐	PS6 (F)	O	O	X	X	.
전지 연결방법에 따른 전압의 크기를 인식하지 못함	M (F)	X	O	.	X	.

그림 VI-11은 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서, 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 11번 문항의 사전사후 이해상태를 나타내는 그래프이다. 그림 VI-11의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 11번 문항을 이해한 초등교사가 93.3%이었으나 프로그램을 실시하고 나서는 9번 문항을 이해한 초등교사가 73.3%로 약간 감소하였다.

이는 3번 문항에서와 같이 개념 변화과정에서 거쳐야 하는 과정으로 학습개념과 분화개념이 정착되어 가는 과정에서 일부 교사들이 학습개념과 분화개념의 갈등상태에 머물러 있다는 것을 의미한다(권재술, 1989; 김연수, 2002; 이경호, 2000; 이영직, 1998; 차영, 2001).

그림 VI-12는 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서, 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 11번 문항의 사전사후 이해수준을 나타낸 그래프이다. 그림 VI-12의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 현상적 수준의 일반화인 ‘전구가 연결된 회로에서는 전지를 계속 병렬연결하여도 전류의 크기는 일정하다’는 PS2(P) 수준의 개념을 가진 교사가 93.3%였고 정확한 개념인 S 수준은 없었으나, 프로그램을 실시하고 나서는 53.3%의 교사들이 정확한 개념인 S 수준으로 향상되었다. 그리고 20.0%의 교사들은 PS6(F) 수준으로 개념의 수준이 하락하였는데, 이는 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 반대로 인식하여 나타난 현상이었다. 또한 그림 VI-12를 살펴보면 이해수준은 전반적으로 사전보다 사후에서 그래프의 왼쪽인 상위 이해 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

이 결과를 통해 ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들에게 학습개념인 11번 문항의 양적 개념 이해도 향상에는 효과적이지 못하였으나, 질적 개념 이해도 향상에는 효과적이었음을 확인할 수 있었다. 이것은 프로그램에서 직접 전지를 직렬과 병렬로 연결하면서 전류를 측정하고, 부하저항과 전지의 내부저항, 전지의 기전력 자료를 해석하는 과정을 통해 현상의 원인을 파악하는 활동이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다. 질적인 이해도 향상은 초등교사들이 지금까지 잘 알고 있었던 ‘전지의 직렬연결 전기회로가 전지의 병렬연결 전기회로보다 더 큰 전류가 흐른다’는 학습개념에 대하여 현상의 원인을 파악하는 수준으로 개념이 향상되었음을 의미한다.

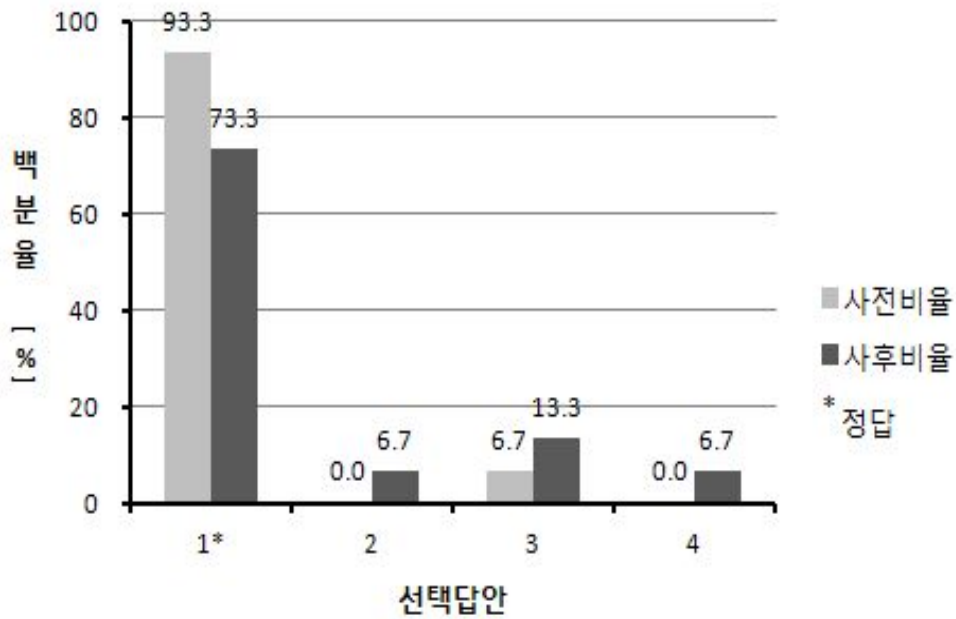


그림 VI-11. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 11번 문항의 사전사후 이해상태

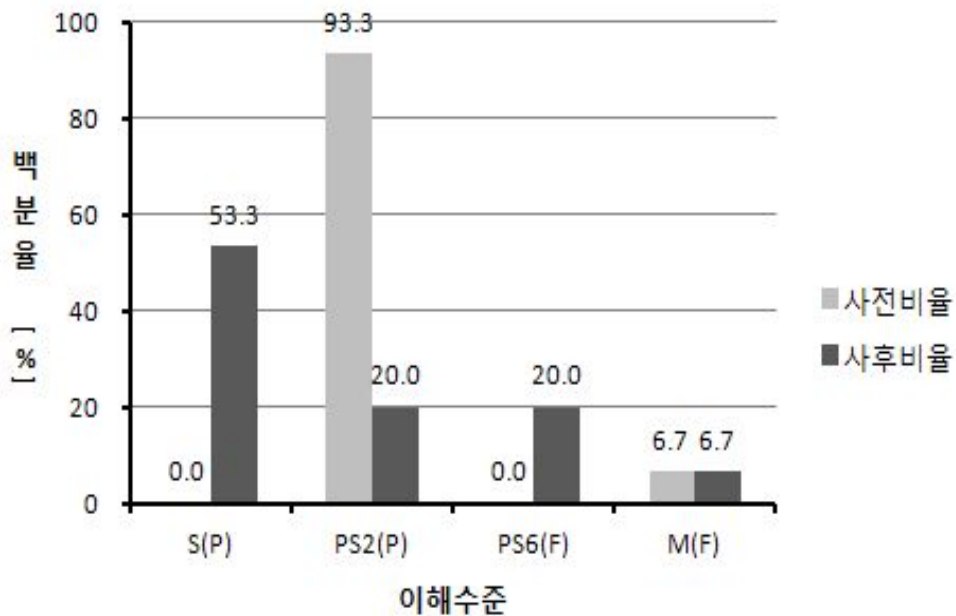


그림 VI-12. 부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 11번 문항의 사전사후 이해수준

3) 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역의 이해도 분석

(1) 단일전지와 전지 2개의 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 4번 문항의 이해도 분석

표 VI-10은 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개의 직렬연결에서 전류의 크기 비교에 대한 4번 문항의 이해수준 분석틀이다. 4번 문항에서 현상의 원인파악은 ‘전지의 직렬연결시 기전력 증가량과 총저항 증가량이 비슷하여 전류가 일정진다’는 것을 인식하는 것이다. 현상의 원인파악을 좀 더 자세하게 설명하면, ‘전지의 내부저항이 총저항에 영향을 많이 주고 있는 상황이므로 2개의 전지를 직렬연결하면 기전력이 2배로 증가하지만, 내부저항의 증가로 인하여 총저항도 2배 정도 증가하므로 전지를 직렬연결하여도 전류의 크기는 비슷하다’는 것이다.

4번 문항의 이해수준 분석틀은 S(P), PS5(F), PS6(F) 이상 3가지 이해수준으로 구성되었다. 답안 선택 이유를 이해수준별로 살펴보면, S(P) 수준은 현상의 원인을 인식하여 ‘내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력 증가량과 총저항의 증가량이 비슷하므로, 전류의 크기는 비슷해진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS5(F) 수준은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기는 인식하지만 현상의 원인을 파악하지 못하는 수준으로 ‘내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력 증가량보다 총저항의 증가량이 크기 때문에, 전류의 크기가 작아진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS6(F) 수준은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 혼동하여 ‘내부저항이 부하저항에 비해 매우 작아서 영향을 주지 못하고, 전지의 기전력이 증가량이 총저항의 증가량보다 크므로, 전류의 크기는 증가한다’와 같이 작성한 경우에 해당한다.

표 VI-10. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 4번 문항의 이해수준 분석틀

답안 선택 이유 작성 내용	분류 기호	하위개념요소			상위개념요소	
		하위 개념	중위 개념	상위 개념	하위 개념	중위개념
		전지연 결방법 에 따른 전압의 크기	전지연 결방법 에 따른 내부저 항의 크기	부하저 항과 내부저 항의 크기	현상을 통한 일반화	현상의 원인파악을 통한 일반화
내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력 증가량과 총저항의 증가량이 비슷하므로, 전류의 크기는 비슷해짐	S(P)	O	O	O	O	O
내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력 증가량보다 총저항의 증가량이 크기 때문에, 전류의 크기가 작아짐	PS5 (F)	O	O	O	X	X
내부저항이 부하저항에 비해 매우 작아서 영향을 주지 못하고, 전지의 기전력이 증가량이 총저항의 증가량보다 크므로, 전류의 크기는 증가함	PS6 (F)	O	O	X	X	.

그림 VI-13은 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개의 직렬연결에서 전류의 크기 비교에 대한 4번 문항의 사전사후 이해상태를 나타내는 그래프이다. 그림 VI-13의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 4번 문항에서 정답을 선택한 교사는 6.7%로 1명이 있었으나 개념을 이해하고 정답을 선택한 것이 아니라 ‘부하저항이 전지의 내부저항보다 큰 전기회로에서 전

지를 직렬연결하여도 전류의 크기는 증가하지 않는다'라고 생각한 경우여서 실질적으로 이 문항을 이해한 교사는 없었다. 프로그램을 실시하고 나서는 4번 문항을 이해한 초등교사가 66.7%로 증가하였다.

이 결과를 통해, 4번 문항은 초등교사들에게 생소한 개념인 분화개념에 해당하는 문항이었으나 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 통하여 이해도가 많이 향상되었음을 보여준다.

그림 VI-14는 4번 문항의 사전사후 이해수준을 나타낸 그래프이다. 그림 VI-14의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 모든 초등교사가 M 수준이었으나, 프로그램을 실시하고 나서는 66.7%의 초등교사들이 정확한 개념인 S 수준으로 향상되었다. 그리고 20.0%의 초등교사들은 전지의 직렬연결을 통한 기전력의 증가량보다 총저항의 증가량이 더 크다고 생각하여 PS5(F) 수준의 개념을 갖게 되었다. 또한 그림 VI-14를 살펴보면 이해수준은 전반적으로 사전보다 사후에서 그래프의 왼쪽인 상위 이해 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

이 결과를 통해 '전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램'은 초등교사들에게 분화개념인 4번 문항의 양적 개념 이해도 향상과 질적 개념 이해도 향상에 효과적이었음을 확인할 수 있었다. 이것은 프로그램에서 직접 전지를 직렬로 연결하면서 전류를 측정하고, 부하저항과 전지의 내부저항, 전지의 기전력 자료를 해석하는 과정을 통해 현상의 원인을 파악하는 활동이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다.

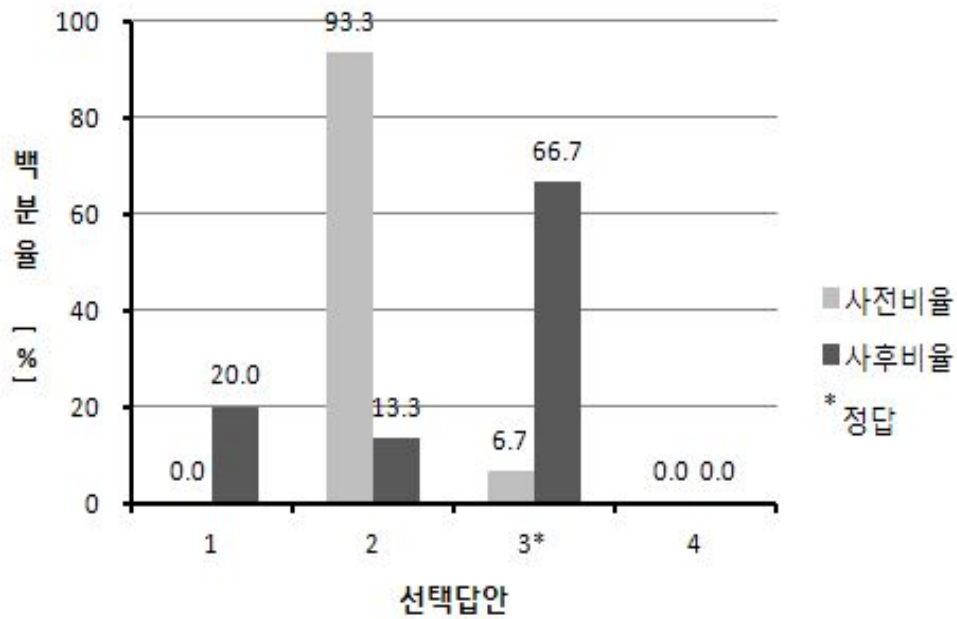


그림 VI-13. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 4번 문항의 사전사후 이해상태

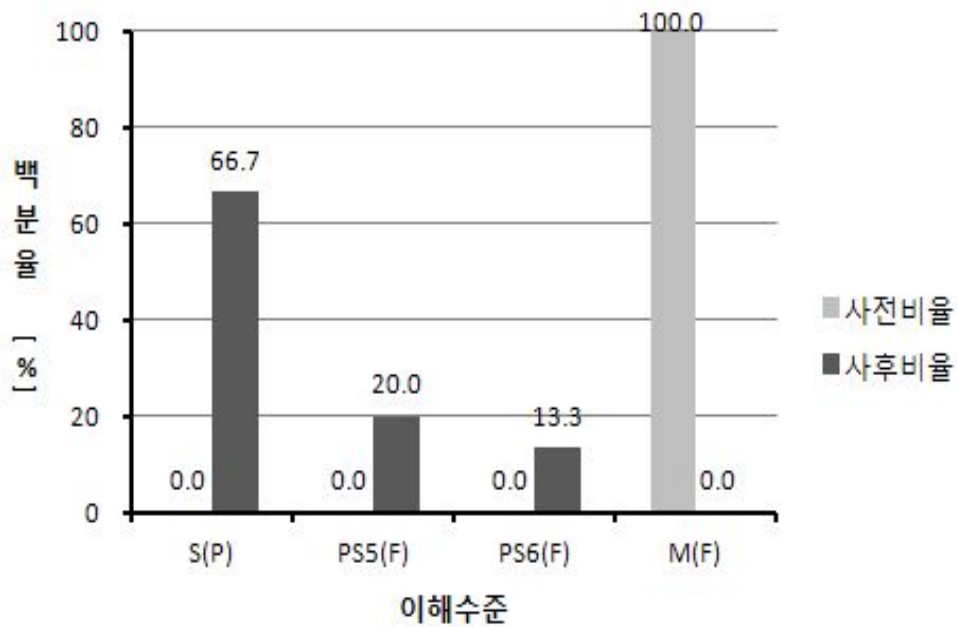


그림 VI-14. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 직렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 4번 문항의 사전사후 이해수준

(2) 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 6번 문항의 이해도 분석

표 VI-11은 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개의 병렬연결에서 전류의 크기 비교에 대한 6번 문항의 이해수준 분석틀이다. 6번 문항에서 현상의 원인과약은 ‘전지의 병렬연결시 총저항 감소로 전류가 증가한다’는 것을 인식하는 것이다. 현상의 원인과약을 좀 더 자세하게 설명하면, ‘전지의 내부저항이 총저항에 영향을 많이 주고 있는 상황이므로 2개의 전지를 병렬연결하면 기전력은 일정하지만, 내부저항의 감소로 인하여 총저항도 감소하므로 전지를 병렬연결하면 전류의 크기는 커진다’는 것이다.

6번 문항의 이해수준 분석틀은 S(P), PS2(P), M(F) 이상 3가지 이해수준으로 구성되었다. 답안 선택 이유를 이해수준별로 살펴보면, S(P) 수준은 현상의 원인을 인식하여 ‘전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력이 일정하고 내부저항의 감소로 인하여 총저항이 감소하므로 전류의 크기가 커진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS2(P) 수준은 현상을 통하여 일반화한 ‘부하저항이 전지 1개의 평균내부저항보다 작은 상황에서는 실험결과가 그렇게 나온다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. M(F) 수준은 저항은 병렬연결하면 감소한다는 것에 대한 인식의 부족한 경우에 해당한다.

그림 VI-15는 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서, 단일전지와 전지 2개의 병렬연결에서 전류의 크기 비교에 대한 6번 문항의 사전사후 이해상태를 나타내는 그래프이다. 그림 VI-15의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 6번 문항에서 정답을 선택한 교사는 없었다. 프로그램을 실시하고 나서는 6번 문항을 이해한 초등교사가 93.3%로 증가하였다.

이 결과를 통해, 6번 문항은 초등교사들에게 생소한 개념인 분화개념에 해당하는 문항이었으나 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 통하여 이해상태가 많이 향상되었음을 보여준다.

표 VI-11. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 6번 문항의 이해수준 분석틀

답안 선택 이유 작성 내용	분류 기호	하위개념요소			상위개념요소	
		하위 개념	중위 개념	상위 개념	하위 개념	중위개념
		전지연 결방법 에 따른 전압의 크기	전지연 결방법 에 따른 내부저 항의 크기	부하저 항과 내부저 항의 크기	현상을 통한 일반화 실험결 과를 통한 일반화	현상의 원인파악을 통한 일반화 전지의 병렬연결시 총저항 감소로 전류가 증가함 인식
전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력이 일정하고 내부저항의 감소로 인하여 총저항이 감소하므로 전류의 크기가 커짐	S(P)	O	O	O	O	O
부하저항이 전지 1개의 평균내부저항보다 작은 상황에서는 실험결과가 그렇게 나옴	PS2 (P)	O	O	O	O	X
저항은 병렬연결하면 감소한다는 것에 대한 인식의 부족	M (F)	O	X	.	X	.

그림 VI-16은 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서, 단일전지와 전지 2개의 병렬연결에서 전류의 크기 비교에 대한 6번 문항의 사전사후 이해수준을 나타낸 그래프이다. 그림 VI-16의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 모든 초등교사가 M 수준이었으나, 프로그램을 실시하고 나서는 86.7%의 초등교사들이 정확한 개념인 S 수준으로 향상되었다. 또한 그림 VI-16을 살펴보면 이해수준은 전반적으로 사전보다 사후에서 그래프의 왼쪽인 상위 이해 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

이 결과를 통해 ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들에게 분화개념인 6번 문항의 양적 개념 이해도 향상과 질적 개념 이해도 향상에 효과가 있었음을 확인할 수 있었다. 이것은 프로그램에서 직접 전지를 병렬로 연결하면서 전류를 측정하고, 부하저항과 전지의 내부저항, 전지의 기전력 자료를 해석하는 과정이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다.

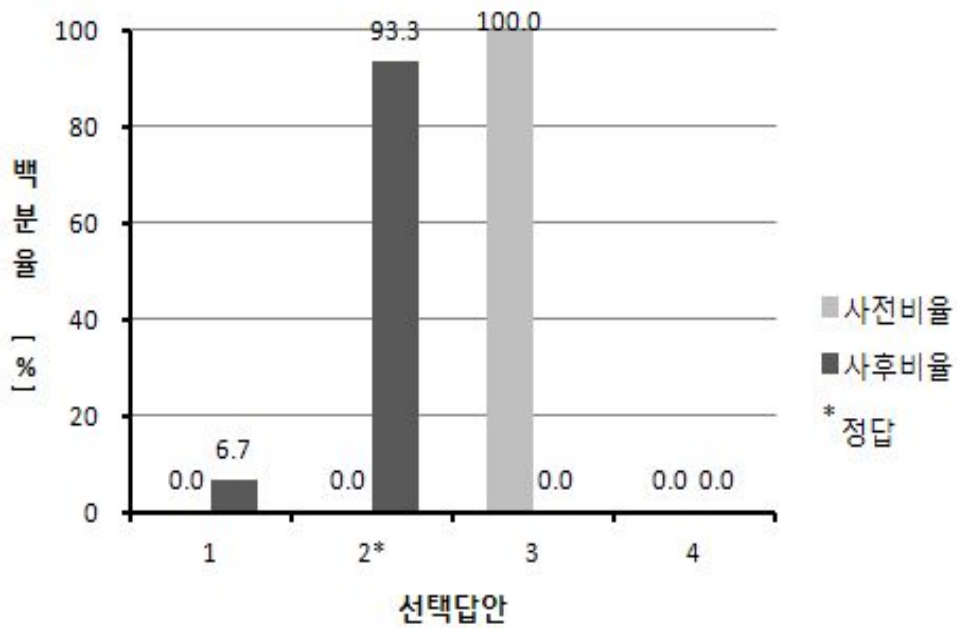


그림 VI-15. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 6번 문항의 사전사후 이해상태

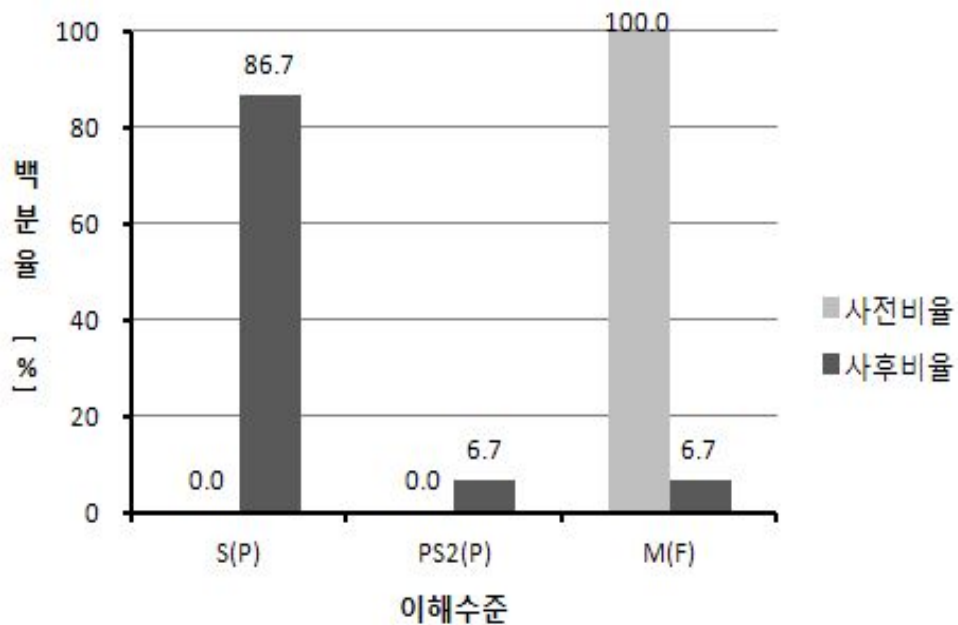


그림 VI-16. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 단일전지와 전지 2개를 병렬연결한 전기회로의 전류의 크기를 비교하는 6번 문항의 사전사후 이해수준

(3) 전지의 다중직렬 연결시 전류 특성에 대한 8번 문항의 이해도 분석

표 VI-12는 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류 특성에 대한 8번 문항의 이해수준 분석틀이다. 8번 문항에서 현상의 원인파악은 ‘전지의 직렬연결시 기전력 증가량과 총저항 증가량이 비슷하여 전류가 일정진다’는 것을 인식하는 것이다. 현상의 원인파악을 좀 더 자세하게 설명하면, ‘전지의 내부저항이 총저항에 영향을 많이 주고 있는 상황이므로 전지를 계속 직렬연결하면 기전력은 비례하여 증가하지만, 직렬연결하는 전지로 인하여 내부저항도 같이 증가하여 결국 총저항도 전지의 기전력과 비슷한 비율로 증가하게 되어 전지를 직렬로 계속 연결하여도 전지의 크기는 거의 일정하다’는 것이다.

8번 문항의 이해수준 분석틀은 S(P), PS5(F), PS6(F), M(F) 이상 4가지 이해수준으로 구성되었다. 답안 선택 이유를 이해수준별로 살펴보면, S(P) 수준은 현상의 원인을 인식하여 ‘전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력 증가량과 내부저항의 증가로 인한 총저항의 증가량이 비슷하므로 전류의 크기가 비슷해진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS5(F) 수준은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기는 인식하지만 현상의 원인을 파악하지 못하는 수준으로 ‘전지의 내부저항이 부하저항보다 크기는 하지만, 전지의 기전력 증가량이 내부저항으로 인한 총저항 증가량보다 크므로 전류는 비례하지는 않지만 증가한다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS6(F) 수준은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 혼동하여 ‘전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 주지 못할정도로 작아서, 전지의 기전력 증가량보다 총저항의 증가량이 작으므로, 기전력이 커지면 전류는 비례하여 증가한다’, ‘전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 주지 못할정도로 작은 상황에서, 전지의 기전력 증가량보다 총저항의 증가량이 작고 전지의 내부저항의 크기가 점점 커져서 전지의 기전력이 커지면 전류는 커지다가 수렴한다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. 그리고 M(F) 수준은 저항은 직렬연결하면 증가한다는 것에 대한 인식을 하지 못하는 경우에 해당한다.

표 VI-12. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류 특성에 대한 8번 문항의 이해수준 분석틀

답안 선택 이유 작성 내용	분류 기호	하위개념요소			상위개념요소	
		하위 개념	중위 개념	상위 개념	하위 개념	중위개념
		전지 연결 방법 에 따른 전압 의 크기	전지 연결 방법 에 따른 내부 저항 의 크기	부하 저항 과 내부 저항 의 크기	현상 을 통한 일반화	현상의 원인파악을 통한 일반화
전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지의 기전력 증가량과 내부저항의 증가로 인한 총저항의 증가량이 비슷하므로 전류의 크기가 비슷해짐	S (P)	O	O	O	O	O
전지의 내부저항이 부하저항보다 크기는 하지만, 전지의 기전력 증가량이 내부저항으로 인한 총저항 증가량보다 크므로 전류는 비례하지는 않지만 증가함	PS5 (F)	O	O	O	X	X
1. 전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 주지 못할 정도로 작아서, 전지의 기전력 증가량보다 총저항의 증가량이 작으므로, 기전력이 커지면 전류는 비례하여 증가함 2. 전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 주지 못할 정도로 작은 상황에서, 전지의 기전력 증가량보다 총저항의 증가량이 작고 전지의 내부저항의 크기가 점점 커져서 전지의 기전력이 커지면 전류는 커지다가 수렴함	PS6 (F)	O	O	X	X	.
저항은 직렬연결하면 증가한다는 것에 대한 인식의 부족	M (F)	O	X	.	X	.

그림 VI-17은 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 8번 문항의 사전사후 이해상태를 나타내는 그래프이다. 그림 VI-17의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 8번 문항에서 정답을 선택한 교사는 6.7%로 1명이 있었으나 개념을 이해하고 정답을 선택한 것이 아니라 전지연결 방법에 따른 전류의 특성에서 학습개념에 대한 이해가 부족한 상태에서 우연히 정답을 선택한 경우여서 실질적으로 이 문항을 이해한 교사는 없었다. 프로그램을 실시하고 나서는 8번 문항을 이해한 초등교사가 66.7%로 증가하였다.

이 결과를 통해, 8번 문항은 초등교사들에게 생소한 개념인 분화개념에 해당하는 문항이었으나 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 통하여 이해상태가 많이 향상되었음을 보여준다.

그림 VI-18은 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 8번 문항의 사전사후 이해수준을 나타낸 그래프이다. 그림 VI-18의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 모든 초등교사가 M 수준이었으나, 프로그램을 실시하고 나서는 66.7%의 초등교사들이 정확한 개념인 S 수준으로 향상되었다. 또한 그림 VI-18을 살펴보면 이해수준은 전반적으로 사전보다 사후에서 그래프의 왼쪽인 상위 이해 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

이 결과를 통해 ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들에게 분화개념인 8번 문항의 양적 개념 이해도 향상과 질적 개념 이해도 향상에 효과가 있었음을 확인할 수 있었다. 이것은 프로그램에서 직접 전지를 1개에서부터 6개까지 직렬연결하고 전류를 측정하면서 전류가 거의 일정하다는 현상을 경험하는 활동이 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다. 또한, 부하저항과 전지의 내부저항, 전지의 기전력 자료를 해석하는 과정을 통해 현상의 원인을 파악하는 활동이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다.

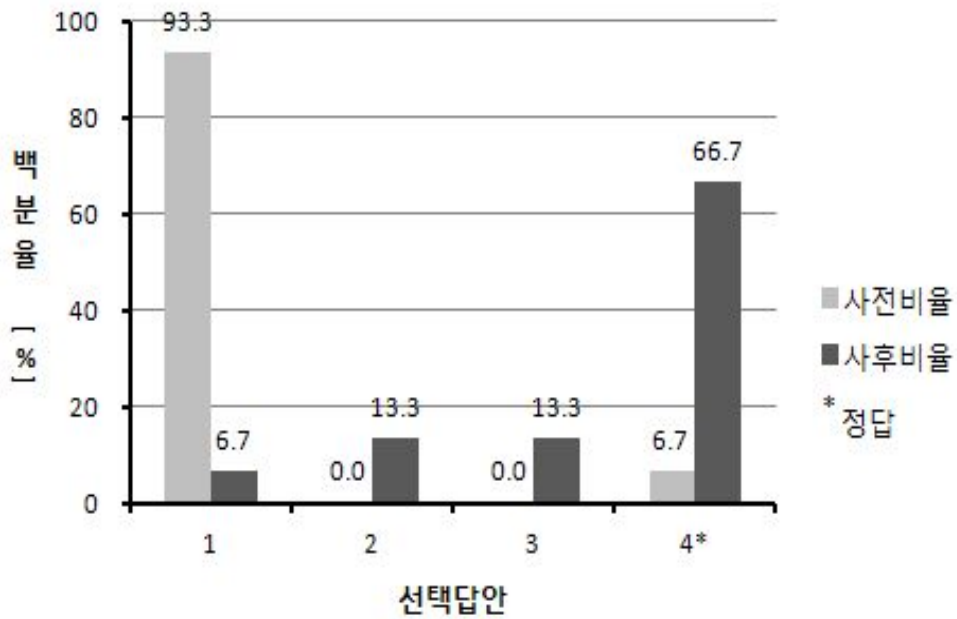


그림 VI-17. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 8번 문항의 사전사후 이해상태

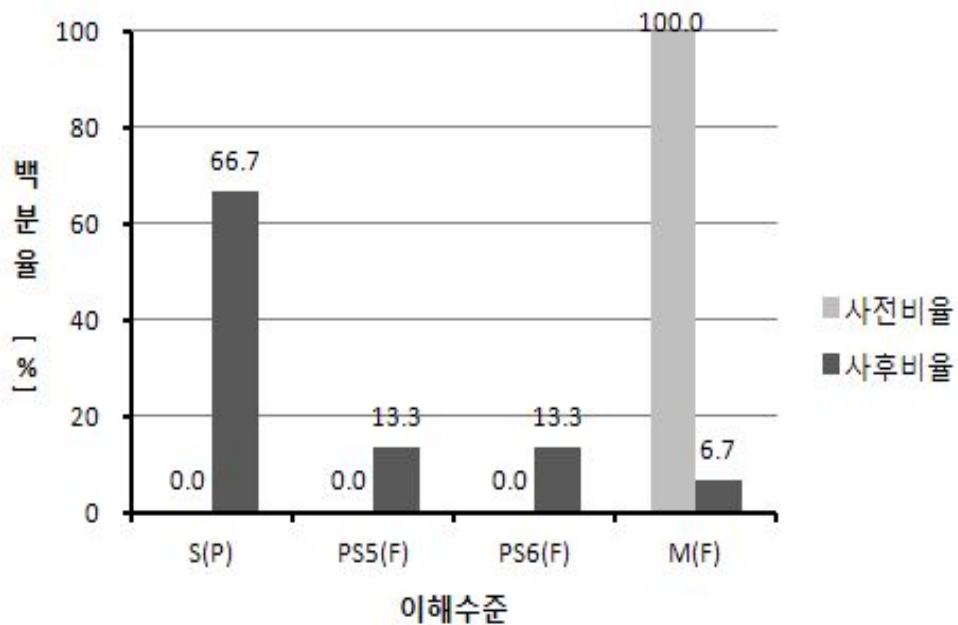


그림 VI-18. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중직렬 연결시 전류의 특성에 대한 8번 문항의 사전사후 이해수준

(4) 전지의 다중병렬 연결시 전류 특성에 대한 10번 문항의 이해도 분석

표 VI-13은 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류 특성에 대한 10번 문항의 이해수준 분석틀이다. 10번 문항에서 현상의 원인파악은 ‘전지의 병렬연결시 총저항 감소로 전류는 비례하지는 않지만 증가한다’는 것을 인식하는 것이다. 그리고 이 문항에서 현상의 세부 원인파악은 ‘전지의 병렬연결시 내부저항 감소율이 점점 줄어들어 전류가 결국 일정해진다’는 것을 인식하는 것이다. 따라서 10번 문항의 이해수준 분석틀에서는 상위개념 요소에서 상위요소가 존재하게 된다.

10번 문항의 이해수준 분석틀은 S(P), PS1(P), PS2(P), PS4(P), PS5(F), M(F) 이상 6가지 이해수준으로 구성되었다. 답안 선택 이유를 이해수준별로 살펴보면, S(P) 수준은 현상의 원인과 세부원인을 인식하여 ‘전지 1개의 평균 내부저항의 크기가 부하저항보다 커서 총저항에 영향을 많이 주고, 전지를 계속 병렬연결 하게 되면 전지의 기전력은 일정하고 전지의 내부저항은 감소량이 점점 줄어들다가 일정해져서 전류의 크기가 증가하다가 일정해진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS1(P) 수준은 전지의 내부저항의 감소율에 대한 인식을 하지 못하는 수준으로 ‘전지를 병렬연결 하게 되면 일정한 전압에 비해 내부저항이 감소하여, 전류의 크기는 증가하다가 일정해진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS2(P) 수준은 현상을 통하여 일반화한 수준으로 ‘부하저항이 전지 1개의 평균내부저항보다 작은 상황에서는 실험결과가 그렇게 나온다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS4(F) 수준은 현상의 원인은 파악하지만 세부원인을 파악하지 못하는 수준으로 ‘전지의 기전력이 일정하고, 전지를 병렬연결 할수록 전지의 내부저항이 줄어들어서, 전류는 비례하지는 않지만 증가한다’라고 작성한 경우에 해당한다. PS5(F) 수준은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기는 인식하지만 현상의 원인을 파악하지 못하는 수준으로 ‘전지의 기전력이 일정하고, 전지를 병렬연결 할수록 내부저항이 줄어들어서 전류는 비례하여 증가한다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. M(F) 수준은 저항은 병렬연결하면 감소한다는 것에 대한 인식을 하지 못하는 경우에 해당한다.

표 VI-13. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류 특성에 대한 10번 문항의 이해수준 분석틀

답안 선택 이유 작성 내용	분류 기호	하위개념요소			상위개념요소		
		하위 개념	중위 개념	상위 개념	하위 개념	중위개념	상위개념
		전지 연결 방법 에 따른 전압 의 크기	전지 연결 방법 에 따른 내부 저항 의 크기	부하 저항 과 내부 저항 의 크기	현상을 통한 일반화	현상의 원인 과약을 통한 일반화	현상의 세부 원인 과약을 통한 일반화
전지 1개의 평균 내부저항의 크기가 부하저항보다 커서 총저항에 영향을 많이 주고, 전지를 계속 병렬연결 하게 되면 전지의 기전력은 일정하고 전지의 내부저항은 감소량이 점점 줄어들다가 일정해져서 전류의 크기가 증가하다가 일정해짐	S (P)	O	O	O	O	O	O
전지를 병렬연결 하게 되면 일정한 전압에 비해 내부저항이 감소하여, 전류의 크기는 증가하다가 일정해짐(전지의 내부저항의 감소율에 대한 인식을 하지 못함)	PS1 (P)	O	O	O	O	O	X
부하저항이 전지 1개의 평균내부저항보다 작은 상황에서는 실험결과가 그렇게 나옴	PS2 (P)	O	O	O	O	X	X
전지의 기전력이 일정하고, 전지를 병렬연결 할수록 전지의 내부저항이 줄어들어서, 전류는 비례하지는 않지만 증가함	PS4 (F)	O	O	O	X	O	X
전지의 기전력이 일정하고, 전지를 병렬연결 할수록 내부저항이 줄어들어서 전류는 비례하여 증가함	PS5 (F)	O	O	O	X	X	X
저항은 병렬연결하면 감소한다는 것에 대한 인식의 부족	M (F)	O	X	.	X	.	.

그림 VI-19는 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 10번 문항의 사전사후 이해상태를 나타내는 그래프이다. 그림 VI-19의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 10번 문항을 이해한 초등교사가 0.0%로 한 명도 없었으나 프로그램을 실시하고 나서는 10번 문항을 이해한 초등교사가 53.3%로 증가하였다.

이 결과를 통해, 10번 문항은 초등교사들에게 생소한 개념인 분화개념에 해당하는 문항이었으나 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 통하여 이해상태가 향상되었음을 보여준다.

그림 VI-20은 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 10번 문항의 사전사후 이해수준을 나타낸 그래프이다. 그림 VI-20의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 모든 초등교사가 M 수준이었으나, 프로그램을 실시하고 나서는 26.7%의 초등교사들이 정확한 개념인 S 수준으로 향상되었다. 20.0%의 초등교사들은 PS1(P) 수준으로, 6.7%의 초등교사들은 PS2(P) 수준으로 향상하였고, 26.7%의 초등교사들은 유사정답 수준인 PS4(F) 수준으로 향상하였다. 또한 그림 VI-20을 살펴보면 이해수준은 전반적으로 사전보다 사후에서 그래프의 왼쪽인 상위 이해 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

이 결과를 통해 ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들에게 분화개념인 10번 문항의 양적 개념 이해도 향상과 질적 개념 이해도 향상에 효과가 있었음을 확인할 수 있었다. 이것은 프로그램에서 직접 전지를 1개에서부터 6개까지 병렬연결하고 전류를 측정하면서 전류가 증가하다가 일정해지는 현상을 경험하는 활동이 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다. 또한, 부하저항과 전지의 내부저항, 전지의 기전력 자료를 해석하는 과정을 통해 현상의 원인을 파악하는 활동이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다.

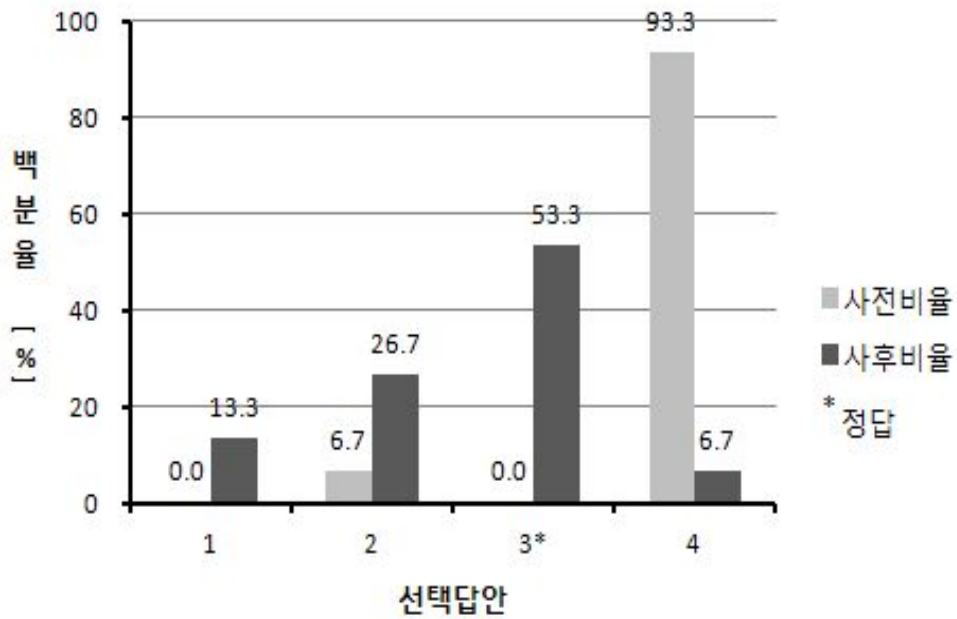


그림 VI-19. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 10번 문항의 사전사후 이해상태

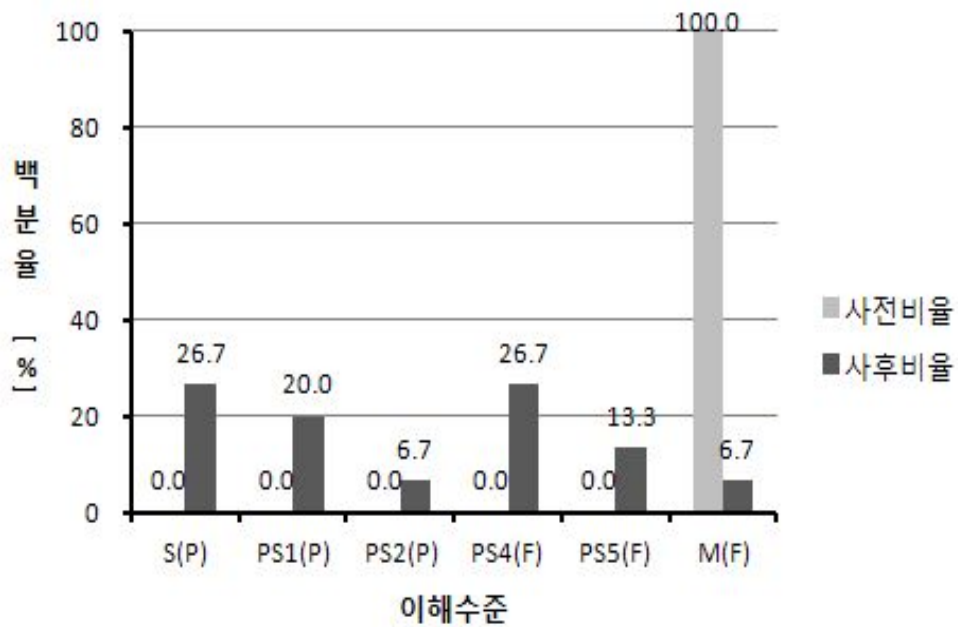


그림 VI-20. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 다중병렬 연결시 전류의 특성에 대한 10번 문항의 사전사후 이해수준

(5) 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류 특성 비교에 대한 12번 문항의 이해도 분석

표 VI-14는 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 12번 문항의 이해수준 분석틀이다. 12번 문항에서 현상의 원인파악은 ‘전지의 내부저항이 부하저항보다 작은 경우에는, 전지의 병렬연결시 총저항 감소로 전류가 증가하고, 전지의 직렬연결시 기전력 증가량과 총저항 증가량이 비슷하여 전류가 일정해진다’는 것을 인식하는 것이다.

12번 문항의 이해수준 분석틀은 S(P), PS2(P), PS5(F), PS6(F) 이상 4가지 이해수준으로 구성되었다. 답안 선택 이유를 이해수준별로 살펴보면, S(P) 수준은 현상의 원인을 인식하여 ‘전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 많이 주고, 전지의 직렬연결시 내부저항의 크기가 증가하여 전류가 일정하고, 전지의 병렬연결시 내부저항의 감소로 전류가 커진다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS2(P) 수준은 현상을 통하여 일반화한 수준으로 ‘부하저항이 전지 1개의 평균내부저항보다 작은 상황에서는 실험결과가 그렇게 나온다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS5(F) 수준은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기는 인식하지만 현상의 원인을 파악하지 못하는 수준으로 ‘전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지를 직렬로 연결하면 기전력 증가율이 내부저항의 증가율보다 커서 전류가 증가하고, 전지를 병렬로 연결하면 기전력은 그대로이나 내부저항은 작아지므로 전류가 증가하여 두 전기회로의 전류의 크기는 비슷하거나 또는 비교할 수 없다’와 같이 작성한 경우에 해당한다. PS6(F) 수준은 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 혼동하여 ‘전지의 내부저항이 부하저항에 비해 매우 작아서 영향을 주지 못하고, 총저항이 비슷한 상황에서 전지의 기전력이 2배로 커지므로, 전지의 직렬연결회로가 전지의 병렬연결회로보다 더 큰 전류가 흐른다’와 같이 작성한 경우에 해당한다.

표 VI-14. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 12번 문항의 이해수준 분석틀

답안 선택 이유 작성 내용	분류 기호	하위개념요소			상위개념요소	
		하위 개념	중위 개념	상위 개념	하위 개념	중위 개념
		전지 연결 방법 에 따른 전압 의 크기	전지 연결 방법 에 따른 내부 저항 의 크기	부하 저항 과 내부 저항 의 크기	현상을 통한 일반화	현상의 원인파악을 통한 일반화
전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 많이 주고, 전지의 직렬연결시 내부저항의 크기가 증가하여 전류가 일정하고, 전지의 병렬연결시 내부저항의 감소로 전류가 커짐.	S (P)	O	O	O	O	O
부하저항이 전지 1개의 평균내부저항보다 작은 상황에서는 실험결과가 그렇게 나옴	PS2 (P)	O	O	O	O	X
전지의 내부저항의 크기가 총저항에 영향을 미칠 정도로 크고, 전지를 직렬로 연결하면 기전력 증가율이 내부저항의 증가율보다 커서 전류가 증가하고, 전지를 병렬로 연결하면 기전력은 그대로이나 내부저항은 작아지므로 전류가 증가하여 두 전기회로의 전류의 크기는 비슷함 또는 비교할 수 없음	PS5 (F)	O	O	O	X	X
전지의 내부저항이 부하저항에 비해 매우 작아서 영향을 주지 못하고, 총저항이 비슷한 상황에서 전지의 기전력이 2배로 커지므로, 전지의 직렬연결회로가 전지의 병렬연결회로보다 더 큰 전류가 흐름	PS6 (F)	O	O	X	X	.

그림 VI-21은 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 12번 문항의 사전사후 이해상태를 나타내는 그래프이다. 그림 VI-21의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 12번 문항을 이해한 초등교사가 0.0%로 한 명도 없었으나 프로그램을 실시하고 나서는 12번 문항을 이해한 초등교사가 60.0%로 증가하였다.

이 결과를 통해, 12번 문항은 초등교사들에게 생소한 개념인 분화개념에 해당하는 문항이었으나 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 통하여 이해상태가 향상되었음을 보여준다.

그림 VI-22는 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 12번 문항의 사전사후 이해수준을 나타낸 그래프이다. 그림 VI-22의 내용을 살펴보면, 프로그램 실시 전에는 모든 초등교사가 M 수준이었으나, 프로그램을 실시하고 나서는 53.3%의 초등교사들이 정확한 개념인 S 수준으로 향상되었다. 그리고 6.7%의 초등교사들은 PS2(P) 수준으로 향상하였다. 또한 그림 VI-22를 살펴보면 이해수준은 전반적으로 사전보다 사후에서 그래프의 왼쪽인 상위 이해 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

이 결과를 통해 ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들에게 분화개념인 12번 문항의 양적 개념 이해도 향상과 질적 개념 이해도 향상에 효과가 있었음을 확인할 수 있었다. 이것은 프로그램에서 직접 전지를 직렬과 병렬로 연결하면서 전류를 측정하고, 부하저항과 전지의 내부저항, 전지의 기전력 자료를 해석하는 과정을 통해 현상의 원인을 파악하는 활동이 초등교사들의 이해도 향상에 도움이 된 것으로 보인다.

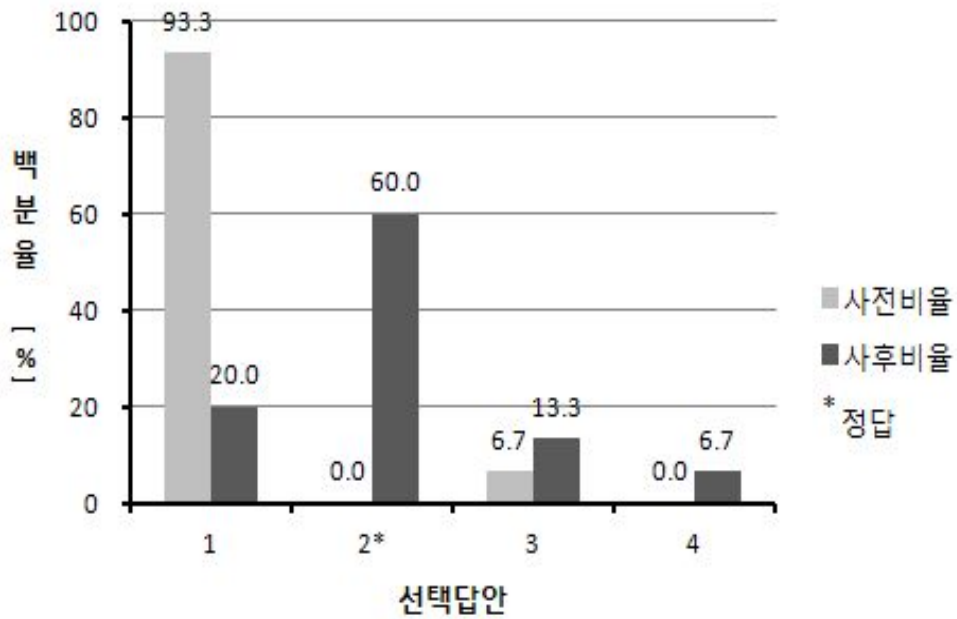


그림 VI-21. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 12번 문항의 사전사후 이해상태

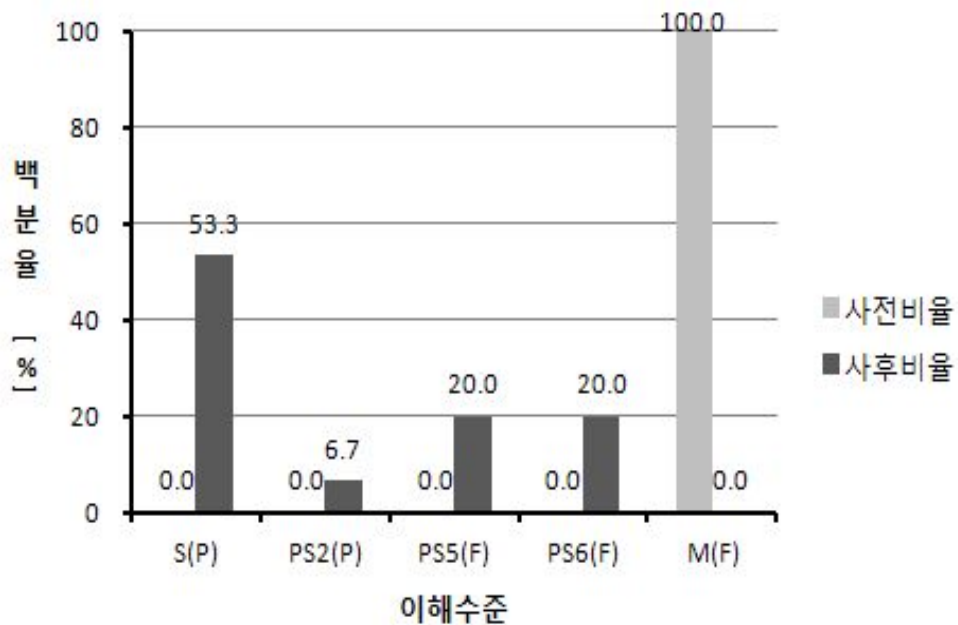


그림 VI-22. 부하저항이 전지의 내부저항보다 작은 영역에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 특성에 대한 12번 문항의 사전사후 이해수준

3. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해도 분석

문항별 분석으로는 각 교사별로 이해도 변화를 살펴볼 수 없으므로, 교사별로 이해도 변화를 분석하였고 그 결과는 다음과 같다. 앞의 ‘연구의 절차 및 방법’에서 언급한 것처럼 12문항 중에서 1번 문항은 ‘전구 밝기 차이의 원인을 전지의 내부저항으로 인식하는지 여부’를 파악하기 위한 서술형 문항이었으므로, 점수계산에서 제외하였기 때문에 이해상태와 이해수준의 만점은 11점이다.

교사들이 정답을 선택하기 어려웠던 문항들과 이해수준 전체 위계도를 기준으로 개념변화의 단계를 구분한 결과는 표 VI-15와 같다. 이렇게 단계를 구분하는 근거는 다음과 같다. 먼저 7, 10번 2문항은 현상의 세부원인을 파악하기가 쉽지 않다. 그리고 4, 8번 2문항은 전지의 기전력과 총저항의 증가율이 비슷하다는 것을 파악하기가 쉽지 않다. 그리고 3, 5, 6, 9, 10, 11, 12번 중 3문항 정도는 부하저항과 전지의 내부저항의 크기를 혼동하여 문제를 틀리는 경우가 많았다. 따라서 이 세 가지 근거를 종합한 2문항, 2문항, 3문항 총 7문항을 기준으로 하여 표 VI-15와 같이 이해도와 이해수준의 단계를 구분하였다.

표 VI-15. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해상태 및 이해수준의 단계

단계	최상위 집단	상위 집단	중위 집단	하위 집단
이해상태 및 이해수준*	9~11 점	7~8 점	4~6 점	0~3 점

* : 11점 만점

1) 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해상태 분석

표 VI-16은 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해상태를 나타내는데, 사전검사와 사후검사 그리고 증가량으로 구성되어 있다. 여기서 사전검사는 동형검사의 점수이고, 사후검사는 개념검사의 점수이며, 증가량은 사후검사 점수에서 사전검사 점수를 뺀 값이다. 그리고 사전검사, 사후검사, 증가량은 각

각 과학 교육과정에서 다루고 있는 저항개념과 학습개념 영역과 과학 교육과정에서 다루고 있지 않은 분화개념 영역으로 구분하였다.

표 VI-16와 그림 VI-23의 내용을 살펴보면, 사전검사에서는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해도 최상위 집단과 상위 집단은 없었고, 15명의 교사 모두가 중위 집단이었다. 사후검사에서 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해도를 구분한 결과는 다음과 같았다. 최상위 집단은 E, F, H, I, J, K, M교사 이상 7명이고, 상위 집단은 A, B, D, L교사 이상 4명, 중위 집단은 C, G, N, O교사 이상 4명이었다. 즉, 사전검사에서 중위집단에 있었던 15명의 교사중 11명이 사후검사에서 상대적으로 높은 단계인 최상위 집단과 상위집단에 포함되었다. 또한 분화개념 영역의 문제들은 사전검사보다 사후검사에서 대체로 많은 향상을 보였다.

이러한 결과는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램은 초등교사들의 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 양적인 이해도 향상에 효과가 있음을 보여준다. 그런데 이해상태 점수만으로는 어떤 수준에서 정답을 선택하였는지 알 수 없다. 즉, 각 문항에 포함된 개념을 모두 이해하고 정답을 선택하였는지 아니면 실험결과를 잘 기억해서 현상을 통한 일반화 수준에서 정답을 선택하였는지 확인할 수 없다. 따라서 각 집단에 속한 교사들의 이해수준이 동질한 것 인지를 확인하기 위해 이해수준 분석틀을 이용한 이해수준의 변화를 살펴보았다.

표 VI-16. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해상태

구분	사전검사			사후검사			증가량		
	저항개념 학습개념	분화개념	합계	저항개념 학습개념	분화개념	합계	저항개념 학습개념	분화개념	합계
A교사	4	0	4	4	4	8	0	4	4
B교사	2	2	4	5	3	8	3	1	4
C교사	5	0	5	2	2	4	-3	2	-1
D교사	5	0	5	4	4	8	-1	4	3
E교사	5	0	5	6	5	11	1	5	6
F교사	5	0	5	6	5	11	1	5	6
G교사	5	0	5	4	0	4	-1	0	-1
H교사	5	0	5	6	5	11	1	5	6
I교사	5	0	5	6	5	11	1	5	6
J교사	5	0	5	6	5	11	1	5	6
K교사	4	0	4	6	3	9	2	3	5
L교사	4	0	4	5	3	8	1	3	4
M교사	5	0	5	6	4	10	1	4	5
N교사	4	0	4	2	2	4	-2	2	0
O교사	5	0	5	4	1	5	-1	1	0

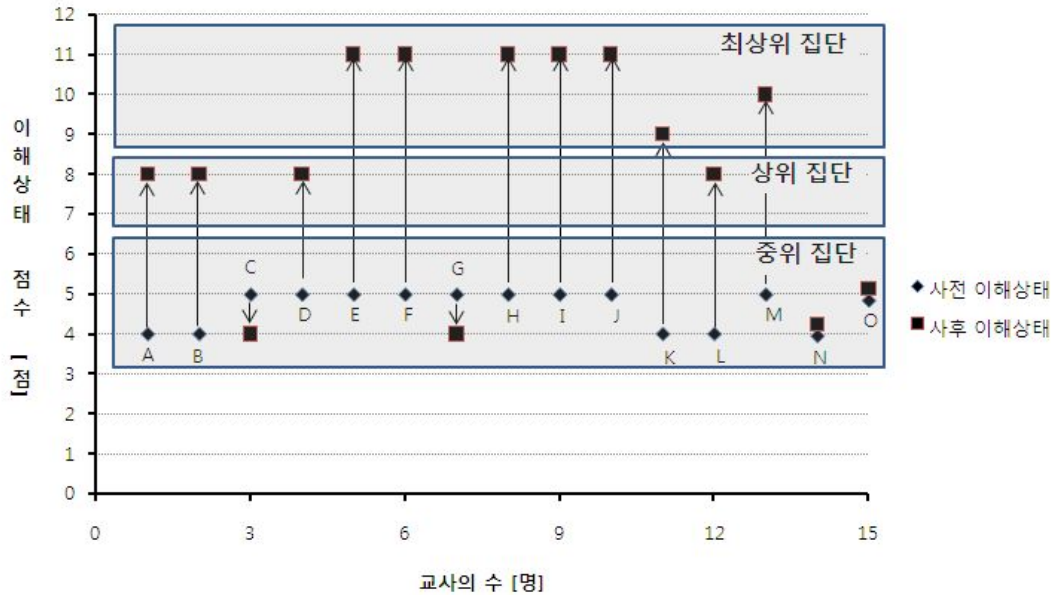


그림 VI-23. 교사별 사전사후 전지의 연결방법과 전류의 특성 이해상태 변화

2) 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해수준 분석

표 VI-17은 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해수준을 나타내는데, 이해수준을 기준으로 한 분석은 2가지 수준에서 나누었다. 2가지 기준은 상위 질적 이해수준과 중위 질적 이해수준이다. 여기서 상위 질적 이해수준은 정확하게 이해하고 정답을 선택한 수준의 의미로 사후 이해수준의 S, PS1 수준의 합을 기준으로 한 것이고, 중위 질적 이해수준은 데이터 해석이 매우 까다로워서 세부원인 파악이 매우 힘들어 유사정답까지를 인정한다는 의미로 사후 이해수준의 S, PS1, PS2, PS3, PS4 수준의 합을 기준으로 한 것이다. 그리고 각 교사별로 사전 이해수준, 사후 이해수준, 증가량으로 구분하여 표를 작성하였다. 여기서 증가량은 사후 이해수준에서 사전 이해수준의 점수를 뺀 값이다.

표 VI-17, 그림 VI-24, 그림 VI-25의 내용을 살펴보면, 사전검사에서 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해수준 중 상위 질적 이해수준에서는 최상위 집단과 상위 집단, 중위집단은 없었고, 15명의 교사 모두가 하위 집단이었다. 그리고 사전검사의 중위 질적 이해수준에서는 최상위 집단과 상위 집단은 없었고, 중위집단은 14명, 하위집단은 1명이었다.

사후검사에서 상위 질적 이해수준을 기준으로 하여 교사들의 단계를 구분한 결과는 다음과 같았다. 상위 질적 이해수준 최상위 집단은 E, F, I, J, M교사 이상 5명, 상위 집단은 A, D, K, L교사 이상 4명, 중위 집단은 B, C, H, N, O교사 이상 5명, 하위 집단은 G교사 이상 1명이었다. 총 15명의 교사중 9명이 최상위 집단과 상위집단에 포함되었다. 그리고 그림 VI-26과 같이 상위 질적 이해수준으로 구분한 단계에서는 사후검사 이해상태에서 최상위 집단에 있었던 K교사는 상위 집단으로 내려가고, 최상위 집단에 있었던 H교사는 중위 집단으로 내려갔다. 상위 집단에 있었던 B교사는 중위 집단으로, 중위 집단에 있었던 G교사는 하위 집단으로 내려갔다.

이러한 결과는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 항상 프로그램은 교사들의 이해수준 중 상위 질적 이해수준 향상에 효과가 있음을 보여준다. 그리고 관련 개념을 정확하게 이해하여 정답을 선택한 교사들도 많았지만, H, K, B, G교사 이상 4명의 교사는 부족한 이해수준에서 정답을 선택했다는 것을 보여준다.

사후 중위 질적 이해수준을 기준으로 하여 교사들의 단계를 구분한 결과는 다음과 같았다. 중위 질적 이해수준 최상위 집단은 E, F, H, I, J, K, M교사 이상 7명이고, 상위 집단은 A, B, D, L교사 이상 4명, 중위 집단은 C, G, N, O교사 이상 4명이었다. 총 15명의 교사중 11명이 상대적으로 높은 단계인 최상위 집단과 상위집단에 포함되었다. 이 결과를 단계만을 기준으로 하여 보면 사후검사 이해상태와 사후 중위 질적 이해수준에서는 차이가 없다. 하지만 그림 VI-26에서 각 교사 개인별로 살펴보면 C, G, K, M, O 교사 이상 5명의 초등교사들은 사후검사 이해상태 점수보다 사후 중위 질적 이해수준의 점수가 각각 1~2점이 높았다.

이러한 결과는 개념검사지의 점수와 상위 질적 이해수준에서는 나타나지 않았지만, 유사 정답 수준으로는 추가적인 질적 개념 이해도의 향상이 있었다는 것을 보여준다.

표 VI-17. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 교사별 이해수준

교사명	구분	S (P)	PS1 (P)	PS2 (P)	PS3 (P)	PS4 (F)	PS5 (F)	PS6 (F)	M (F)	상위질적 이해수준	중위질적이해수준
										S(P)+PS1(P)	S(P)+PS1(P)+PS2(P)+PS3(P)+PS4(F)
A교사	사전	0	0	4	0	0	0	0	7	0	4
	사후	7	0	1	0	0	0	3	0	7	8
	증가량	7	0	-3	0	0	0	3	-7	7	4
B교사	사전	0	0	2	0	0	0	0	9	0	2
	사후	5	0	3	0	0	1	0	2	5	8
	증가량	5	0	1	0	0	1	0	-7	5	6
C교사	사전	1	0	4	0	0	0	0	6	1	5
	사후	4	0	0	0	2	2	3	0	4	6
	증가량	3	0	-4	0	2	2	3	-6	3	1
D교사	사전	1	0	4	0	0	0	0	6	1	5
	사후	7	0	1	0	0	1	2	0	7	8
	증가량	6	0	-3	0	0	1	2	-6	6	3
E교사	사전	1	0	4	0	0	0	0	6	1	5
	사후	11	0	0	0	0	0	0	0	11	11
	증가량	10	0	-4	0	0	0	0	-6	10	6

교사명	구분	S (P)	PS1 (P)	PS2 (P)	PS3 (P)	PS4 (F)	PS5 (F)	PS6 (F)	M (F)	상위질적 이해수준 S(P)+PS1(P)	중위질적 이해수준 S(P)+PS1(P)+PS2(P) +PS3(P)+PS4(F)
F교사	사전	1	0	4	0	0	0	0	6	1	5
	사후	11	0	0	0	0	0	0	0	11	11
	증가량	10	0	-4	0	0	0	0	-6	10	6
G교사	사전	1	0	4	0	0	0	0	6	1	5
	사후	2	0	1	1	1	0	4	2	2	5
	증가량	1	0	-3	1	1	0	4	-4	1	0
H교사	사전	1	0	4	0	0	0	0	6	1	5
	사후	4	2	5	0	0	0	0	0	6	11
	증가량	3	2	1	0	0	0	0	-6	5	6
I교사	사전	1	0	4	0	0	0	0	6	1	5
	사후	9	2	0	0	0	0	0	0	11	11
	증가량	8	2	-4	0	0	0	0	-6	10	6
J교사	사전	1	0	4	0	0	0	0	6	1	5
	사후	11	0	0	0	0	0	0	0	11	11
	증가량	10	0	-4	0	0	0	0	-6	10	6
K교사	사전	0	0	4	0	0	0	0	7	0	4
	사후	7	0	2	0	1	1	0	0	7	10
	증가량	7	0	-2	0	1	1	0	-7	7	6
L교사	사전	1	0	3	0	0	0	0	7	1	4
	사후	8	0	0	0	0	2	0	1	8	8
	증가량	7	0	-3	0	0	2	0	-6	7	4
M교사	사전	1	0	4	0	0	0	0	6	1	5
	사후	10	0	0	0	1	0	0	0	10	11
	증가량	9	0	-4	0	1	0	0	-6	9	6
N교사	사전	0	0	4	0	0	0	0	7	0	4
	사후	2	2	0	0	0	2	5	0	4	4
	증가량	2	2	-4	0	0	2	5	-7	4	0
O교사	사전	1	0	4	0	0	0	0	6	1	5
	사후	4	0	1	0	1	1	2	2	4	6
	증가량	3	0	-3	0	1	1	2	-4	3	1

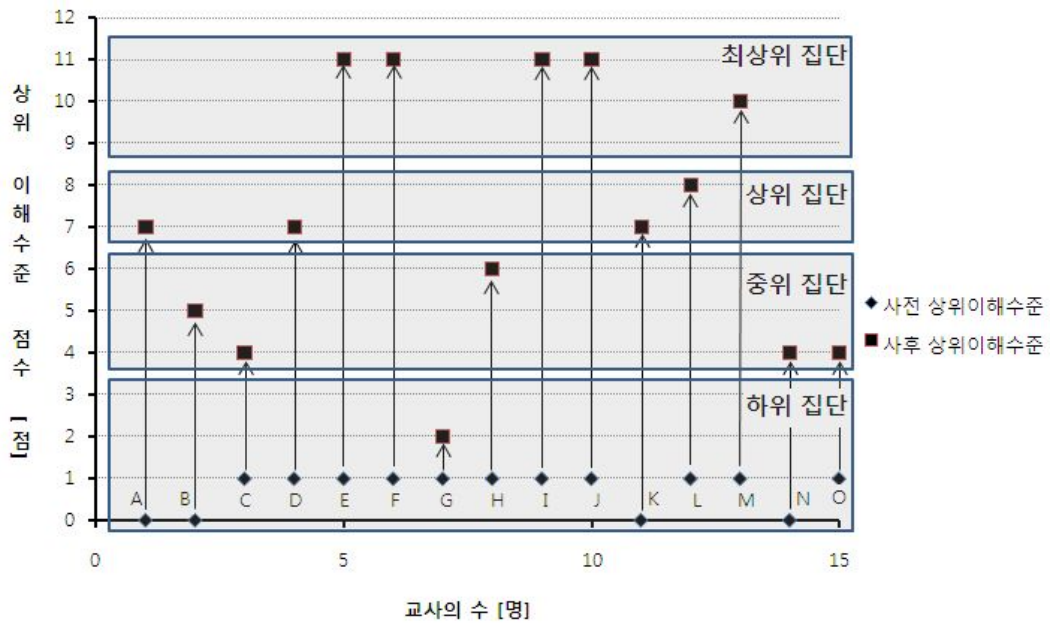


그림 VI-24. 교사별 사전사후 전지의 연결방법과 전류의 특성 상위 질적 이해수준의 변화

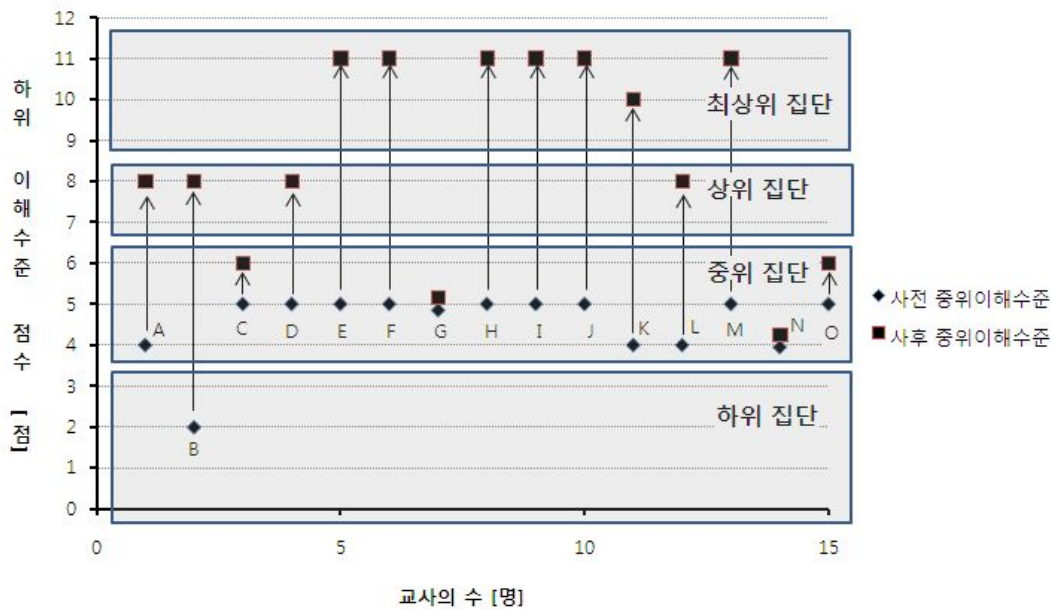


그림 VI-25. 교사별 사전사후 전지의 연결방법과 전류의 특성 중위 질적 이해수준의 변화

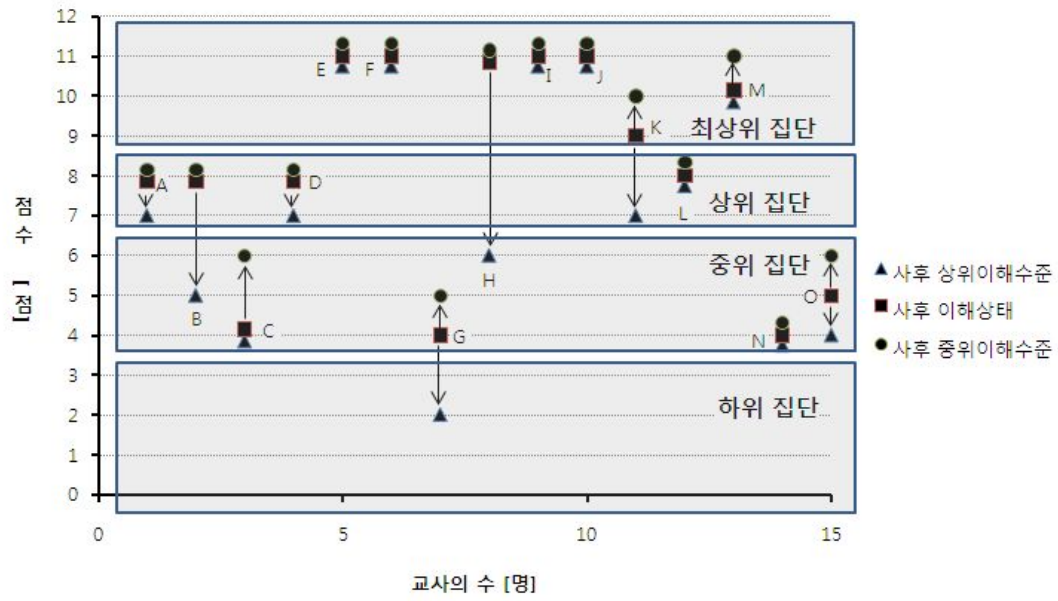


그림 VI-26. 이해상태와 이해수준에 따른 초등교사들의 이해도 분포

VII. 결론 및 제언

전지를 전력원으로 사용하는 전기회로에서 ‘직렬연결하는 전지의 수가 증가할수록 전기회로에 흐르는 전류가 증가하며, 병렬연결하는 전지의 수에 관계없이 전기회로에 흐르는 전류는 거의 일정하다’는 전지의 연결에 따른 전류의 특성에 대한 개념들은 초등학교 과학과 교육과정에서 전기 관련 과학교육의 시작과 함께 학습되고 심화되어진다. 그리고 중학교와 고등학교 과학과 교육과정에서도 그 개념들이 반복하여 심화되어지는 중요한 개념들이다. 그러나 전구를 부하저항으로 사용하는 전기회로에서는 이런 학습개념과 실험시 나타나는 현상이 일치하지만, 초등학교에서부터 고등학교 과학과 교육과정에 이르기까지 부하저항보다 전지의 내부저항이 작은 전기회로를 사용하는 과학과 전자기 관련 실험수업에서는 ‘전지를 직렬연결하여도 전류는 거의 일정하며, 전지를 병렬연결하면 전류는 증가하다가 수렴한다’는 분화개념의 이해가 필요하다. 그리고 이들 개념들의 이해는 전기회로를 구성하는 전지의 내부저항과 부하저항을 인식을 바탕으로 이루어진다. 따라서 이 연구에서는 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 관한 과학내용지식의 신장을 통한 초등교사들의 수업전문성 향상을 위해 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 관한 이해도를 향상시킬 수 있는 프로그램을 개발하고 적용하여 초등교사들의 이해도 변화를 분석하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. 결론

1) 전지의 연결방법과 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램 개발

초등학교 교사들의 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 개념 향상 프로그램은 아래와 같이 개발되었다.

먼저 신애경 등(2012a, 2012b)에서 나타난 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해상태를 분석하여 프로그램의 내용을 선정하였다. 프로그램에 포함된 내용은 초등교사들이 전지의 연결방법과 전류의 특성을 이해하

기 위하여 기초적으로 알아야 하는 내용인 안내된 설명과 부하저항이 전지의 내부저항보다 크거나 작은 상황에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기를 알아보는 실험, 그리고 안내된 설명과 실험결과를 통해 동료 교사들과 전류의 특성이 왜 그렇게 나타나는지 원인을 파악하는 토론 이상 3가지로 구성되었다.

프로그램 흐름도의 순서에 따라 워크시트를 작성하도록 하였고, ‘저항에 대한 인식 영역’, ‘부하저항이 내부저항보다 큰 영역’, ‘부하저항이 내부저항보다 작은 영역’ 이상 3개의 프로그램 영역이 프로그램 흐름도의 순서에 따라 배치되었다.

프로그램의 영역 중 ‘부하저항이 내부저항보다 큰 영역’, ‘부하저항이 내부저항보다 작은 영역’의 워크시트를 개발할 때에는 오개념 변화에 효과적인 Driver의 개념변화 학습모형을 적용한 워크시트 개발틀을 이용하였고, 프로그램의 전체적인 구성은 안내된 발견 수업의 절차에 따랐으며, 각 활동에서는 POE 단계가 들어가도록 구성하였다.

프로그램의 흐름도는 교육과정에서 전지의 연결방법과 전류의 크기와 관련이 있는 기존의 실험을 실시하고 왜 결과가 잘 나오지 않는지에 대해 탐구하는 과정에서 자연스럽게 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대해 현상적인 수준의 일반화부터 현상의 원인과 세부원인을 파악하는 수준의 일반화까지의 순서로 구성되었다.

2) 전지의 연결방법과 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도 변화

전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램을 통한 이해도 변화는 다음과 같이 양적인 이해상태의 변화와 질적인 이해수준의 변화라는 두 가지 관점에서 살펴보았다.

먼저 양적인 이해상태의 변화를 살펴보면, 초등교사들의 사전검사 평균점수는 11점 만점에서 약 4점이었고, 프로그램을 실시한 후 사후검사 평균점수는 약 8점으로 약 4점의 향상을 보였다. 즉 ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들의 양적 개념 이해도인 ‘이해상태’의 향상에 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 사후검사 이해상태를 기준으로 하여 초등교사들의 단계를 구분해보면, 최상위 집단은 7명, 상위 집단은 4명, 중위 집단은 4명으

로 총 15명의 교사 중 11명이 상대적으로 높은 단계인 최상위 집단과 상위 집단에 포함되었다.

이해수준의 변화를 살펴보면, 프로그램에 참여한 초등교사들은 평균적으로 현상의 원인과 세부원인까지 이해한 가장 정확한 개념인 S(P) 수준의 개념이 사전에는 약 1문항 정도였으나 사후에는 약 7문항 정도로 늘어나 질적으로 이해도가 향상되었음을 확인할 수 있다. 또한 가장 비과학적인 M(F) 수준의 개념은 사전에는 약 7문항 정도였으나 사후에는 약 1문항 정도로 줄어들어 이 프로그램에 참여한 15명의 교사들이 가장 비과학적인 개념에서는 거의 모두 벗어났음을 확인할 수 있었다. 즉, ‘전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 이해도 향상 프로그램’은 초등교사들의 질적 개념 이해도인 ‘이해수준’의 향상에 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 사후 상위 질적 이해수준을 기준으로 하여 교사들의 단계를 구분한 결과, 최상위 집단은 5명, 상위 집단은 4명, 중위 집단은 5명, 하위 집단은 1명이었다. 총 15명의 교사 중 9명이 최상위 집단과 상위집단에 포함되었다. 사후 이해상태를 기준으로 한 단계와 달라진 이러한 결과는 관련 개념을 정확하게 이해하여 정답을 선택한 교사들도 많았지만 부족한 이해수준에서 정답을 선택한 교사도 일부 있었다는 것을 의미한다.

사후 중위 질적 이해수준을 기준으로 하여 교사들의 단계를 구분한 결과, 최상위 집단은 7명, 상위 집단은 4명, 중위 집단은 4명이었다. 총 15명의 교사 중 11명이 상대적으로 높은 단계인 최상위 집단과 상위집단에 포함되었다. 이 결과는 사후검사 이해상태를 기준으로 하여 단계를 구분한 결과와 같은 결과이지만, 각 교사 개인별로 살펴보면 5명의 초등교사들이 사후검사 이해상태의 점수보다 중위질적 이해수준의 점수가 조금 높았다. 이러한 결과는 개념검사의 점수와 상위질적 이해수준에서는 나타나지 않았지만, 유사 정답 수준에서는 추가적인 이해도 향상이 있었다는 것을 보여준다.

2. 제언

이 연구의 결과를 바탕으로 한 시사점과 후속연구에 대한 제언은 다음과 같다.

첫째, 이 연구의 결과는 초등교사와 중등과학교사들에게 전기와 자기 관련 과학교육의 수업 전문성 향상을 위한 교사교육용 프로그램 개발과 새로운 과학 교과서 개발 등에 유익한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다. 또한 교사양성기관에서 과학과 교육과정 구성에도 자료 및 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

둘째, 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 확장개념은 전자기 관련 실험에서 학습개념으로 설명할 수 없는 현상들을 해결해줄 수 있는 개념이므로 중등과학교사와 중등예비과학교사들에게도 필요한 과학 내용지식이다. 따라서 중등과학교사와 중등예비과학교사들을 대상으로 하는 후속연구가 필요하다.

셋째, 이 연구에서는 초등교사들의 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 개념변화만을 연구대상으로 하였기 때문에, 교사들의 개념변화가 학생들의 확장개념에 대한 인식에 어떤 영향을 주는지에 대한 후속 연구가 필요하다.

참고문헌

- 강진필(2004). 초등학교 과학과 전기단원 실험 지도의 실태 조사. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 공은주(2004). 구성주의 관점에서 발상을 활용한 수업이 초등학생의 전기 개념변화에 미치는 영향. 부산교육대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 교육과학기술부(2007a). 초등학교 교사용 지도서 과학 5-1. 서울: 금성출판사.
- 교육과학기술부(2007b). 초등학교 교사용 지도서 과학 6-1. 서울: 금성출판사.
- 교육과학기술부(2007c). 초등학교 교과서 과학 5-1. 서울: 금성출판사.
- 교육인적자원부(2002a). 초등학교 교사용 지도서 과학 4-1. 서울: 대한교과서 주식회사.
- 교육인적자원부(2002b). 초등학교 교사용 지도서 과학 6-1. 서울: 대한교과서 주식회사.
- 권재술(1989). 과학개념의 한 인지적 모형. 물리교육, 7, 1-9.
- 김동렬(2009). Driver의 개념변화 학습 모형을 적용한 수업이 고등학생들의 식물의 광합성과 호흡의 오개념 교정에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 29(6), 712-729.
- 김양균(2002). 초등학교 과학과 실험수업에 대한 교사들의 인식 및 실태 조사. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 김연수(2002). 인지갈등의 불안 유형과 귀인의 동기 심리학적 요인에 따른 학생의 물리 개념변화 특성. 한국교원대학교 대학원 박사학위논문.
- 김영민(1997). '전지의 내부저항' 개념 지도의 연계성 문제. 한국물리학회지 물리교육, 15(1), 8-18.
- 김익균(1997). 꼬마전구 실험에서 자신의 생각과 불일치하는 실험결과에 대한 대학생들의 반응. 물리교육, 15(2), 361-763.
- 김진숙, 권성기(2000). 초등학생의 전기회로 개념과 전류 개념간의 관계. 초등과학교육, 19(2), 1-13.

- 김찬호(1993). 국민학교 교사들이 전류개념. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 김태일, 신광문, 이성복, 이재봉(2008). 중학교 과학 교사들의 전기와 자기 개념에 대한 이해도 조사. 새물리, 57(5), 318-331.
- 박상우(1991). 초등학생의 전류에 대한 기초 개념 조사. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 박윤희(1990). 중학생들의 수업 전후 전류에 대한 개념 변화. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 박종욱, 김선자(1996). 초등학교 교사들이 자연과 실험수업에서 겪는 문제조사. 초등과학교육, 15(2), 263-282.
- 신애경, 강민석, 현동걸(2012a). 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도 (I) : 부하저항이 전지의 내부저항 보다 큰 영역. 초등과학교육(미발표)
- 신애경, 강민석, 현동걸(2012b). 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 초등교사들의 이해도 (II) : 부하저항이 전지의 내부저항 보다 작은 영역. 초등과학교육(미발표)
- 안수영(1989). 전류현상 관찰 전후에 있어서 학생들의 요인유형 및 그 변화. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 윤중록(2007). 여러 가지 전기회로도를 이용한 초등 교사들의 전류개념 조사. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 윤희경(2004). 초등 예비교사들이 과학 수업에서 겪는 어려움. 초등과학교육, 23(1), 74-84.
- 이경호(2000). 고등학생의 물리 개념변화에 미치는 인지갈등, 학습동기와 학습전략의 영향. 한국교원대학교 대학원 박사학위 논문.
- 이광만, 허동, 이경운, 정문호, 방태철, 이기성, 안태근, 정상윤, 복완근, 정의현, 박병훈, 박정일, 정수도, 김경수, 박지극, 송양호, 이천기(2007). 중학교 교사용 지도서 과학 2. 서울: 지학사.
- 이미경(2007). 초등학교 과학실험 수업의 돌발 상황에 대한 교사들의 인식과 대처방안 조사. 대구교육대학교 교육대학원 석사학위논문.

- 이성목, 채광표, 김기대, 이문원, 권석민, 손영운, 노태희, 정지오, 서인호, 김영수, 김운택, 이세영(2002). 중학교 교사용 지도서 과학 3. 서울: 금성출판사.
- 이성목, 채광표, 김기대, 이문원, 권석민, 손영운, 노태희, 정지오, 서인호, 김영수, 김운택, 이세영(2009). 중학교 교사용 지도서 과학 2. 서울: 금성출판사.
- 이성목, 채광표, 남경운, 노태희, 서인호, 강석진, 김영수, 금주혜, 문경원, 이문원, 권석민, 손영운(2012a). 중학교 교사용 지도서 과학 3. 서울: 금성출판사.
- 이성목, 채광표, 남경운, 노태희, 서인호, 강석진, 김영수, 금주혜, 문경원, 이문원, 권석민, 손영운(2012b). 중학교 교과서 과학 3. 서울: 금성출판사.
- 이수아, 전영석, 홍준의, 신영준, 최정훈, 이인호(2007). 초등교사들이 과학 수업에서 겪는 어려움 분석. 초등과학교육, 26(1), 97-107.
- 이영직(1998). 인지갈등에 의한 고등학생의 물리 개념변화. 한국교원대학교 대학원 박사학위 논문.
- 이재천, 권태형, 김범기(1997). 초등교사들의 자연과 교수지도에 대한 과학 불안도 및 태도 인식조사. 초등과학교육, 16(2), 257-275.
- 이정숙(2010). 전하 이동을 강조한 튜토리얼을 통한 초등교사의 전기 개념 변화. 한국교원대학교 대학원 박사학위논문.
- 임청환(1999). 과학 교사의 자질에 관한 문헌 연구. 과학 수학 교육 연구. 대구교육대학교 과학교육연구소, 22, 51-82.
- 장병기(2005). 전구의 밝기에 대한 초등 예비교사의 가설 검증 활동. 초등과학교육, 24(5), 518-530.
- 장병기, 신순임(1998). 초등학교 교사의 전기에 대한 이해. 춘천교육대학교 과학교육연구소, 21, 9-31.
- 장준성, 이성목, 이경운, 전영석, 손정우(2010). 고등학교 교과서 물리Ⅱ. 서울: 지학사.
- 전철용(1992). 전류에 관한 국민학교 학생의 개념. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 전현주, 유병길(2004). 전지의 연결방법에 대한 초등학생의 인식 연구. 부산교육대학교 과학교육연구소, 29, 267-290.

- 정미영, 김경숙, 권재술(2005). 전구의 밝기에 대한 초등학생들의 사전개념 일관성 정도와 인지갈등 정도와의 관계. *초등과학교육*, 24(3), 259-262.
- 정수현(2005). 초등학교 교사들이 과학과 에너지 영역 실험수업에서 겪는 문제. *진주교육대학교 교육대학원 석사학위논문*.
- 정지숙(2005). 과학실험수업에서 소집단 토론의 시기가 과학 탐구 수행 능력과 언어적 상호작용에 미치는 효과. *한국교원대학교 대학원 박사학위논문*.
- 조희형(2007). *과학교육론*. 서울: 교육과학사.
- 주혜은, 이문남(2005). 간단한 전기회로에서 전구의 밝기에 대한 예비 과학교사 개념연구: 간단한 직렬연결과 병렬연결 회로 중심. *새물리*, 51(5), 448-457.
- 차영(2001). 작용과 반작용을 이용한 학습에서 토론을 통한 인지갈등 유발과 개념변화의 관계. *한국교원대학교 대학원 석사학위논문*.
- 채광표, 송용갑, 김진만, 김성진, 정대영, 장동호(2010). *고등학교 교과서 물리Ⅱ*. 서울: 금성출판사.
- 최선영, 노석구(2008). 초등과학 수업 컨설팅에 대한 교사들의 인식조사. *초등과학교육*, 27(1), 23-30.
- 최은정, 홍석인, 이강영(2006). 초등교사들의 전지 이해도 및 오개념 분석. *새물리*, 53(4), 263-281.
- 최정호, 전동렬(2009). 전기와 전하의 혼용이 과학적 개념 형성에 미치는 영향과 올바른 교과 지도 방향. *새물리*, 59(1), 8-17.
- 한용희(2009). 전지의 직렬연결과 병렬연결에 대한 초등 교사들의 개념 및 설명 특성 분석. *청주교육대학교 교육대학원 석사학위논문*.
- 한종화(1978). 과학적 사고. *과학교육연구논총*, 서울대학교 사범대학 과학교육연구소, 3(2), 31-39.
- 현동걸(2010). 전지의 연결방법에 따른 전지의 내부저항과 부하저항의 상대적 크기와 전류의 관계에 대한 이론적 접근. *새물리*, 60(10), 1125-1133.
- 현동걸, 박상우(2012). 물리교육에서 나타나는 전구에 대한 문제들에 대한 연구 (I): 전구의 저항. *새물리*, 62(4), 352-363.
- 현동걸, 박상우, 신애경(2011a). 전류와 자기장 관련 실험수업에서 발생하는 문제 해결 위한 이론적 고찰. 2011 학술대회 자료집, 한국현장과학교육학회, 143.

- 현동걸, 신애경, 박상우(2011b). 전류가 흐르는 전선 부근에서 자기장 관찰 실험에서의 문제점과 그 해결 방안. 제61차 하계학술대회 자료집, 한국초등과학교육학회, 138.
- 홍석인, 김현수(2002). 내부저항의 효과를 고려한 건전지의 단자전압. 경인교육대학교 과학교육논총, 14, 71-96.
- 相場博明, 石井雅幸, 板木孝悦, 今村哲史, 岡部慶, 片平克弘, 金谷哲夫, 金田知之, 小西信輝, 高木正之, 田深清英, 中山迅, 庭野正和, 羽仁克嘉, 林四郎, 林禎久, 平部武彦, 福岡敏行, 村越昌昭, 吉岡一彦, 渡部英昭(2011a). 小學理科4: 地球となかよし. 東京: 教育出版.
- 相場博明, 石井雅幸, 板木孝悦, 今村哲史, 岡部慶, 片平克弘, 金谷哲夫, 金田知之, 小西信輝, 高木正之, 田深清英, 中山迅, 庭野正和, 羽仁克嘉, 林四郎, 林禎久, 平部武彦, 福岡敏行, 村越昌昭, 吉岡一彦, 渡部英昭(2011b). 小學理科5: 地球となかよし. 東京: 教育出版.
- Arnold, M., & Millar, R. (1987). Being constructive: An alternative approach to the teaching of introductory ideas in electricity. *International Journal of Science Education*, 9(5), 553-563.
- Ausubel, D. P. (1979). Education for rational thinking : A critique. *Science Education Information Report : 1980 AETS Yearbook*. The ERIC Science, Mathematics and Environmental Education Clearinghouse.
- Ball, D., & McDiarmid, G. (1990). The subject matter preparation of teachers. In W. Houston, M. Haberman, & J. Sikula (Eds.), *Handbook of Research on Teacher Education*, New York: MacMillan, 437-449.
- Bell, B., & Gilbert, J. (1996). *Teacher Development: A Model from Science Education*. Falmer Press.
- Bliss, K., & Ogborn, J. (1994). Force and motion from the beginning [special issue]. *Learning and Instruction*, 4, 7-25.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carin, A. A. (1997). *Teaching Science Through Discovery*, 8th ed. New

- Jersey: Merrill.
- Carlsen, W. S. (1987). Why do you ask? The effects of science teacher subject-matter knowledge on teacher questioning and classroom discourse. Paper Presented at Annual Meeting of the American Educational Research Association. (ERIC Document Reproduction Service NO. ED 293 181).
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Chi, M. T., & Roscoe, R. D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. In M. Limon, & L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnota, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change*. (3-13). Oxford: Pergamon.
- Electropaedia. Battery and Energy Technologies, Battery Performance Characteristics. retrieved May 16, 2012, from <http://www.mpoweruk.com/performance.htm>
- Gott, R. (1984). Predicting and explaining the operation of simple DC circuits. In Duit, et. al., (Eds.), *Aspects of Understanding Electricity*, 63-72.
- Grace, E., Haberstroh, P. R., Long, T., Macpherson, R., Mireles, H. C., Otto, C. A., Zitzewitz, P., Boros, D. T., Conrad, L., Farnell, K., Grimes, K., Hogen, R., Horstmeyer, K., Kugler, J., Metz, B., Stratton, K., Walton, E., & Wickerham, D. (2008). *Science: a closer look, Grade 6*. New York: Macmillan/McGraw-Hill.
- Hashweh, M. Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8, 229-249.
- Hewson, P. W., & Hennessey, M. G. (1992). Making status explicit: A case study of conceptual change. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer

- (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (176-187). Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
- Hyperphysics. Battery With Internal Resistance. retrieved May 16, 2012, from <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/dcex6.html>.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The Growth of Logical Thinking from Adolescent to Childhood*, New York: Basic Books Inc.
- Küçükozer, H., & Demirci, N. (2008). Pre-service and in-service physics teacher' ideas about simple electric circuits. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 4(4), 303-311.
- Kuhn, T. (1972). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lee, Shyan-Jer. (2007). Exploring students' understanding concerning batteries - theories and practices, *International Journal of Science Education*, 29(4), 497-516.
- Light, P. (1987). A stately to deal with conceptual and reasoning Problems in introductory electricity education. In: Novak, J. (Ed.), *Proceedings of 2nd Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol. 3. 275-284.
- Moreira, M. A. (1987). Concept mapping as a possible strategy to detect and to deal with misconceptions in physics. In: Novak, J. (Ed.), *Proceedings of the 2nd Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol. 3, 352-360.
- Osborne, R. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science & Technological Education*, 1(1), 73-82.
- Piaget, J. (1963). *The Origins of Intelligence in Children*, N.Y. The Norton Library : 3-7.
- Posner, G. J., Strike, L. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conceptions: toward a theory of conceptual

- change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Shipstone, D. M. (1984). On children's use of conceptual models in reasoning about current electricity. In Duit, et al., (Eds.), *Aspects of Understanding Electricity*, 73-82.
- Shipstone, D. M. (1985). Electricity in Simple Circuit. In Driver et. al., (Eds.), *Children's Ideas in Science*. The Open University, 33-51.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Tobin, K., & Garnett, P. (1988). Exemplary practice in science classrooms. *Science Education*, 72, 197-208.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-70.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.
- White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. London: The Falmer Press.
- Wiser, M., & Amin, T. (2001). "Is heat hot?" Inducing conceptual change by integrating everyday and scientific perspectives on thermal phenomena. *Learning and Instruction*, 11(4-5), 331-355.

ABSTRACT

Development and Application of Understanding Improvement Program for Elementary Teachers about the Characteristics of Currents according to the Connection Methods of Batteries

Min-Seog Kang

Department of Elementary Science Education

Graduate School

Jeju National University

Supervisor: Prof. Ae-Kyung Shin

The purpose of this study is to develop the elementary teachers' teaching professionalism through improving content knowledge on the characteristics of currents according to the connection methods of batteries. The theoretical basis of this study is the conclusion of Hyun's research(2010). His research showed that the relation of the relative magnitude of load resistance and the internal resistance of a battery can determine the characteristics of the currents in electric circuits with a series or a parallel connection of batteries. Therefore, this study is divided into two parts.

First, the understanding improvement program for elementary teachers about the characteristics of currents according to the connection methods of batteries was developed. The contents of program is based on the misconceptions appeared in the survey results of elementary school teachers'

understanding on the characteristics of currents according to the connection methods of batteries. The program was constructed to do an experiment on the size of currents according to the connection methods of batteries proposed the elementary school science textbooks and then inquire out why the results did not well come out. It was also constructed to generalize naturally from the level of phenomena to the level of realizing the cause and specific cause on the characteristics of currents according to the connection methods of batteries. Worksheet development framework was based on Driver's conceptual change model which was effective for the change of misconception.

Second, the understanding improvement program for elementary teachers about the characteristics of currents according to the connection methods of batteries is intervened to 15 of elementary school teachers. The teachers were divided into five small groups, each small group was composed of three teachers. Each group implemented the program for three hours. The teachers were tested the questionnaire on the characteristics of current according to connection of batteries before and after the program conducting. The conceptual changes of elementary school teachers on the characteristics of currents according to the connection methods of batteries were investigated and were analyzed by quantitative and qualitative methods. As the results of the analysis on the degree of understanding and the level of the concept through pre and post test, the understanding improvement program for elementary teachers about the characteristics of currents according to the connection methods of batteries was effective to improve teachers' quantitative and qualitative concept.

The results of this study may be used to develop program of teaching professionalism related to electricity and magnetism for the elementary teachers and secondary science teachers and make new science textbooks.

부 록

1. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 개념검사지
2. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 동형검사지
3. 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 개념향상 프로그램

(부록 1) 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 개념검사지

전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 개념검사지

안녕하십니까?

저희는 ‘전지에 연결방법에 대한 교사들의 개념’을 조사하는 연구팀입니다. 이 검사지는 전지의 직렬연결과 병렬연결에서 나타나는 전류의 특성에 대한 여러분의 생각을 알아보기 위한 것입니다. 이 검사지는 연구 이외의 목적으로는 절대 사용하지 않을 것이며, 연구가 종료되면 폐기처리 됩니다.

각 페이지마다 하나의 문항이 제시되어 있으며, 모두 12문항으로 구성되어 있습니다. 각 문항을 읽으신 후 문항과 관련된 전기회로를 보고 옳다고 생각하시는 문항에 ‘√’로 표시해주세요. 그리고 검사지 아래의 빈 공간에 왜 그 문항을 선택하였는지에 대한 이유를 적어주시면 감사하겠습니다.

이 연구에 협조해 주셔서 진심으로 감사드립니다.

제주대학교 대학원 초등과학교육전공

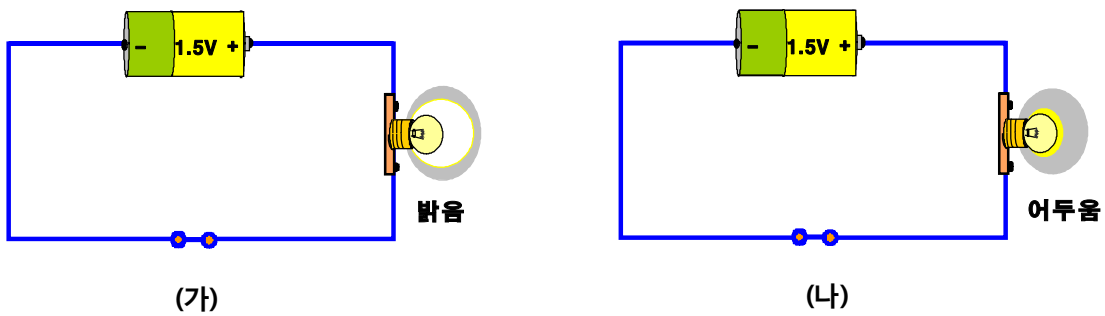
강 민 석

※ 다음은 여러분에 대한 기초 자료를 조사하기 위한 문항입니다. 해당란에 빠짐 없이 기록해 주시기 바랍니다.

1. 성별 : 남 ___ 여 ___
2. 경력 : 1~5년 ___ 6~15년 ___ 16년 이상 ___
3. 직종 : 초등교사 ___ 중등교사 ___ 교수 ___
4. 과학교과 선호여부 : 선호 ___ 선호하지 않음 ___
5. 고등학교 출신계열: 이과 ___ 문과 ___ 기타 ___
6. 교육대학 심화과정: () 교육과
7. 대학원 전공: () 교육과 해당없음 ___
8. 검사실시일 : 2012년 ___ 월 ___ 일






1. [그림 1]의 (가)와 (나)는 전지에 전구와 집게전선을 연결하여 전구의 불을 켜 전기회로이다. 두 전기회로에 사용된 전지와 전구는 규격이 같고 전선은 규격과 길이가 모두 같은데도, 전기회로 (가)의 전구가 전기회로 (나)에서의 전구보다 밝았다.

전기회로 (가)에서 꼬마전구의 밝기와 전기회로 (나)에서 꼬마전구의 밝기가 차이가 나는 이유는 무엇인지 아래에 간단히 써 보시오.



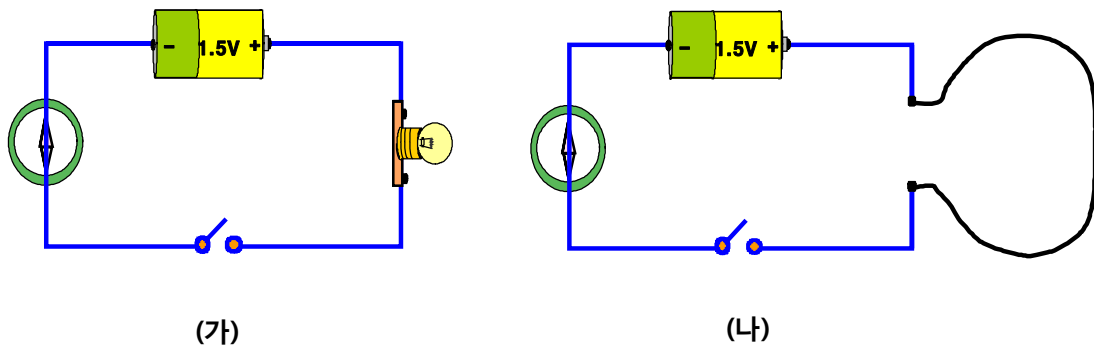
[그림 1]

<범례>

				
스위치와 전선	전지	나침반	전구	50 cm 전선

2. [그림 2]의 (가)는 전지에 전구와 집게전선을 연결한 전기회로이며, (나)는 전지에 50cm 길이의 전선(㉠)과 집게전선을 연결한 전기회로이다. 두 전기회로의 전선 밑에 나침반을 두면, 나침반 바늘이 회전하는 각도로 전류의 세기를 비교할 수 있다. 이 때, 두 전기회로에 사용된 전지, 나침반, 전선은 모두 동일하다.

스위치를 닫을 때, 두 전기회로 (가)와 (나)에 흐르는 전류의 세기를 비교하면 어떻게 되겠는가?



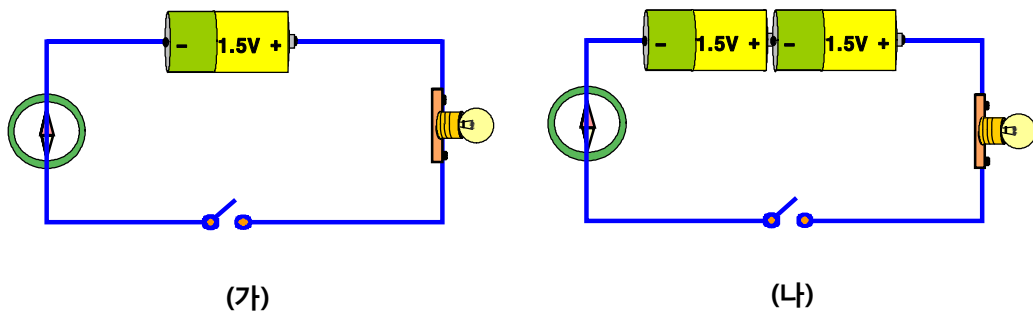
[그림 2]

- ① (가) > (나) ② (가) < (나) ③ 비슷하다. ④ 비교할 수 없다.

그렇게 생각하신 이유는 무엇인가요?

3. [그림 3]의 (가)는 전지 1개에 전구와 집계전선을 연결한 전기회로이며, (나)는 직렬연결한 전지 2개에 전구와 집계전선을 연결한 전기회로이다. 두 전기회로의 전선 밑에 나침반을 두면, 나침반 바늘이 회전하는 각도로 전류의 세기를 비교할 수 있다. 이 때, 두 전기회로에 사용된 전지, 나침반, 집계전선은 모두 동일하다.

스위치를 닫을 때, 두 전기회로 (가)와 (나)에 흐르는 전류의 세기를 비교하면 어떻게 되겠는가?



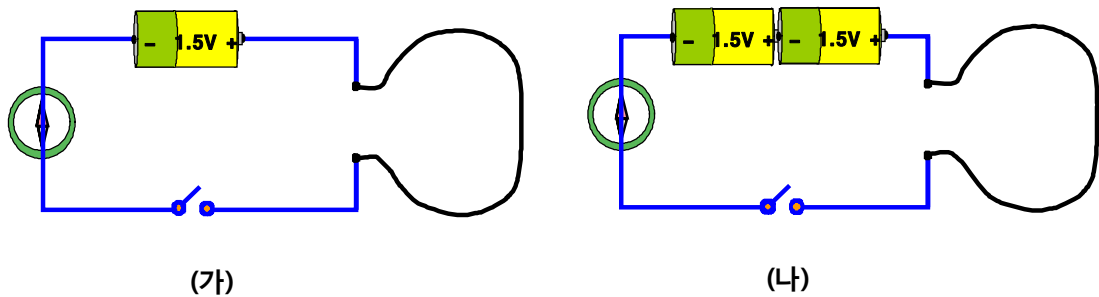
[그림 3]

- ① (가) > (나) ② (가) < (나) ③ 비슷하다. ④ 비교할 수 없다.

그렇게 생각하신 이유는 무엇인가요?

4. [그림 4]의 (가)는 전지 1개에 50cm 길이의 전선(㉠)과 집게전선을 연결한 전기회로이며, (나)는 직렬연결한 전지 2개에 50cm 길이의 전선(㉠)과 집게전선을 연결한 전기회로이다. 두 전기회로의 전선 밑에 나침반을 두면, 나침반 바늘이 회전하는 각도로 전류의 세기를 비교할 수 있다. 이 때, 두 전기회로에 사용된 전지, 나침반, 집게전선은 모두 동일하다.

스위치를 닫을 때, 두 전기회로 (가)와 (나)에 흐르는 전류의 세기를 비교하면 어떻게 되겠는가?



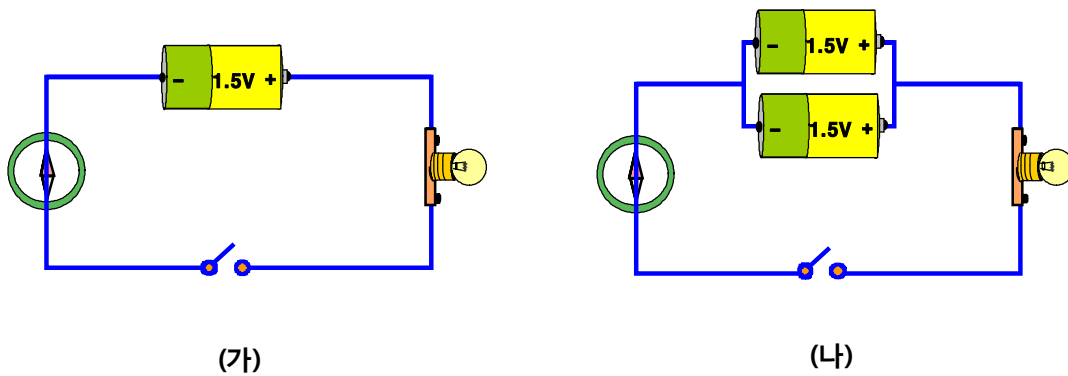
[그림 4]

- ① (가) > (나) ② (가) < (나) ③ 비슷하다. ④ 비교할 수 없다.

그렇게 생각하신 이유는 무엇인가요?

5. [그림 5]의 (가)는 전지 1개에 전구와 집계전선을 연결한 전기회로이며, (나)는 병렬연결한 전지 2개에 전구와 집계전선을 연결한 전기회로이다. 두 전기회로의 전선 밑에 나침반을 두면, 나침반 바늘이 회전하는 각도로 전류의 세기를 비교할 수 있다. 이 때, 두 전기회로에 사용된 전지, 나침반, 집계전선은 모두 동일하다.

스위치를 닫을 때, 두 전기회로 (가)와 (나)에 흐르는 전류의 세기를 비교하면 어떻게 되겠는가?



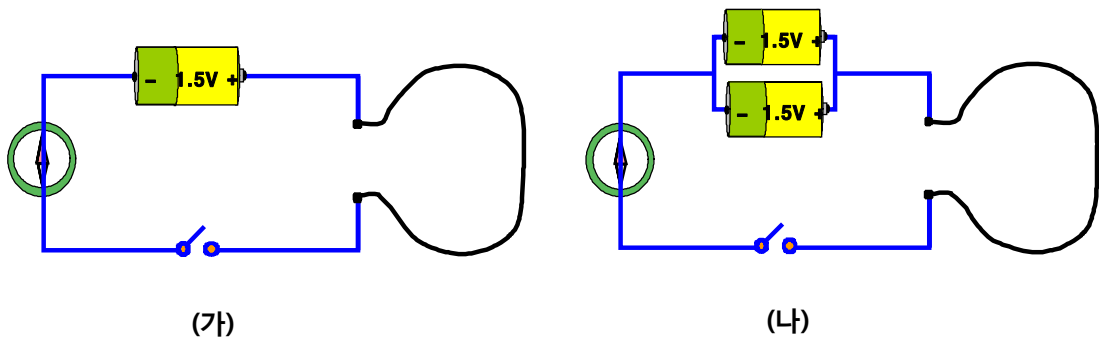
[그림 5]

- ① (가) > (나) ② (가) < (나) ③ 비슷하다. ④ 비교할 수 없다.

그렇게 생각하신 이유는 무엇인가요?

6. [그림 6]의 (가)는 전지 1개에 50cm 길이의 전선(㉠)과 집게전선을 연결한 전기회로이며, (나)는 병렬연결한 전지 2개에 50cm 길이의 전선(㉠)과 집게전선을 연결한 전기회로이다. 두 전기회로의 전선 밑에 나침반을 두면, 나침반 바늘이 회전하는 각도로 전류의 세기를 비교할 수 있다. 이 때, 두 전기회로에 사용된 전지, 나침반, 집게전선은 모두 동일하다.

스위치를 닫을 때, 두 전기회로 (가)와 (나)에 흐르는 전류의 세기를 비교하면 어떻게 되겠는가?



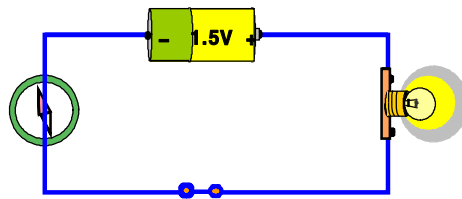
[그림 6]

- ① (가) > (나) ② (가) < (나) ③ 비슷하다. ④ 비교할 수 없다.

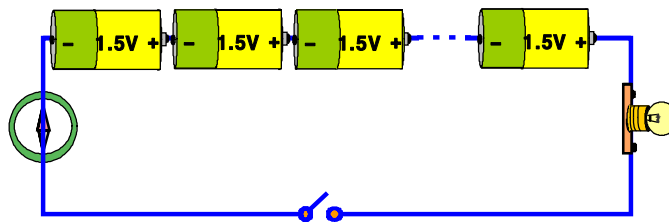
그렇게 생각하신 이유는 무엇인가요?

7. [그림 7]의 (가)는 전지 1개에 전구와 집게전선을 연결하여 전구에 불을 켜 준 전기회로를 나타내며, (나)는 직렬연결한 전지 여러 개에 전구와 집게전선을 연결한 전기회로이다. 두 전기회로의 전선 밑에 나침반을 두어 나침반 바늘이 회전하는 각도로 전류의 세기를 비교하였다. 이 때, 두 전기회로에 사용된 전지, 나침반, 집게전선은 모두 동일하다.

(나)의 전기회로에서 스위치를 닫을 때, 직렬연결한 전지의 수가 많을수록 전기회로에 흐르는 전류는 어떻게 되겠는가?



(가)



(나)

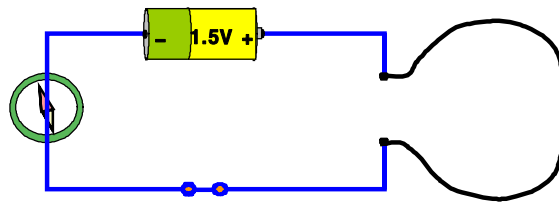
[그림 7]

- ① 직렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 이에 비례하여 커진다.
- ② 직렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 이에 비례하지는 않지만 커진다.
- ③ 직렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 커지다가 어떤 크기의 전류에서 더 이상 커지지 않는다.
- ④ 직렬로 연결하는 전지의 수가 많아져도 한 개의 전지일 때의 전류와 거의 같다.

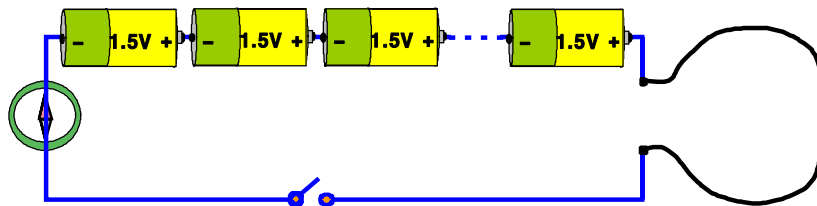
그렇게 생각하신 이유는 무엇인가요?

8. [그림 8]의 (가)는 전지 1개에 50cm 길이의 전선(㉠)과 집게전선을 연결한 전기회로를 나타내며, (나)는 직렬연결한 여러 개의 전지에 50cm 길이의 전선(㉠)과 집게전선을 연결한 전기회로이다. 두 전기회로의 전선 밑에 나침반을 두어 나침반 바늘이 회전하는 각도로 전류의 세기를 비교하였다. 이 때, 두 전기회로에 사용된 전지, 나침반, 집게전선은 모두 동일하다.

(나)의 전기회로에서 스위치를 닫을 때, 직렬연결한 전지의 수가 많을수록 전기 회로에 흐르는 전류는 어떻게 되겠는가?



(가)



(나)

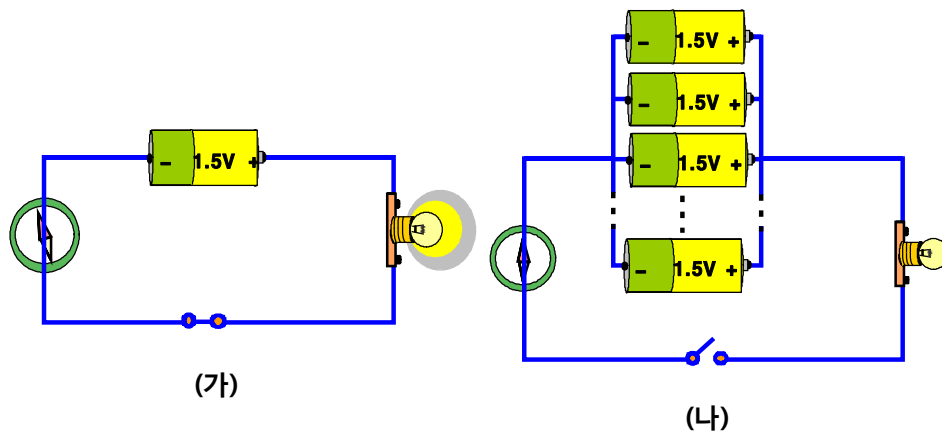
[그림 8]

- ① 직렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 이에 비례하여 커진다.
- ② 직렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 이에 비례하지는 않지만 커진다.
- ③ 직렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 커지다가 어떤 크기의 전류에서 더 이상 커지지 않는다.
- ④ 직렬로 연결하는 전지의 수가 많아져도 한 개의 전지일 때의 전류와 거의 같다.

그렇게 생각하신 이유는 무엇인가요?

9. [그림 9]의 (가)는 전지 1개에 전구와 집게전선을 연결하여 전구에 불을 켜진 전기회로이며, (나)는 병렬연결한 여러 개의 전지에 전구와 집게전선을 연결한 전기회로이다. 두 전기회로의 전선 밑에 나침반을 두어 나침반 바늘이 회전하는 각도로 전류의 세기를 비교하였다. 이 때, 두 전기회로에 사용된 전지, 나침반, 집게전선은 모두 동일하다.

(나)의 전기회로에서 스위치를 닫을 때, 직렬연결한 전지의 수가 많을수록 전기 회로에 흐르는 전류는 어떻게 되겠는가?



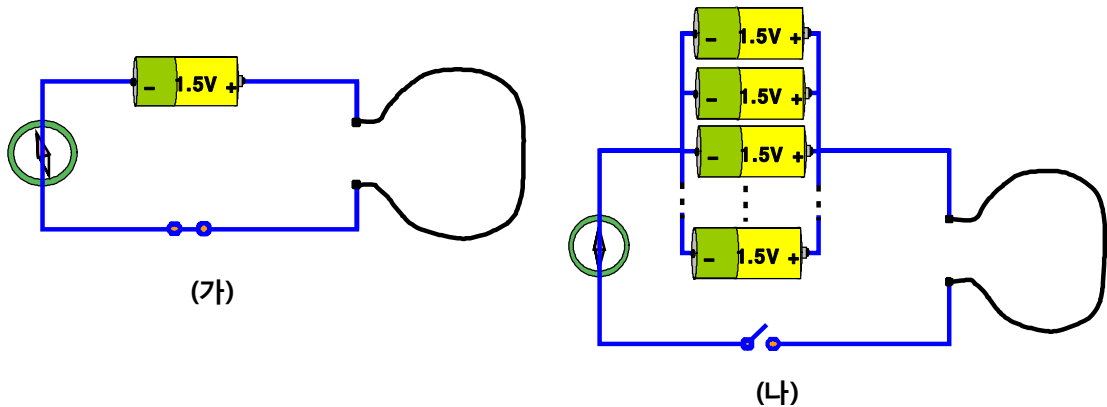
[그림 9]

- ① 직렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 이에 비례하여 커진다.
- ② 직렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 이에 비례하지는 않지만 커진다.
- ③ 직렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 커지다가 어떤 크기의 전류에서 더 이상 커지지 않는다.
- ④ 직렬로 연결하는 전지의 수가 많아져도 한 개의 전지일 때의 전류와 거의 같다.

그렇게 생각하신 이유는 무엇인가요?

10. [그림 10]의 (가)는 전지 1개에 50cm 길이의 전선(㉠)과 집게전선을 연결한 전기회로이며, (나)는 병렬연결한 여러 개의 전지에 50cm 길이의 전선(㉠)과 집게전선을 연결한 전기회로이다. 두 전기회로의 전선 밑에 나침반을 두어 나침반 바늘이 회전하는 각도로 전류의 세기를 비교하였다. 이 때, 두 전기회로에 사용된 전지, 나침반, 집게전선은 모두 동일하다.

(나)의 전기회로에서 스위치를 닫을 때, 직렬연결한 전지의 수가 많을수록 전기 회로에 흐르는 전류는 어떻게 되겠는가?



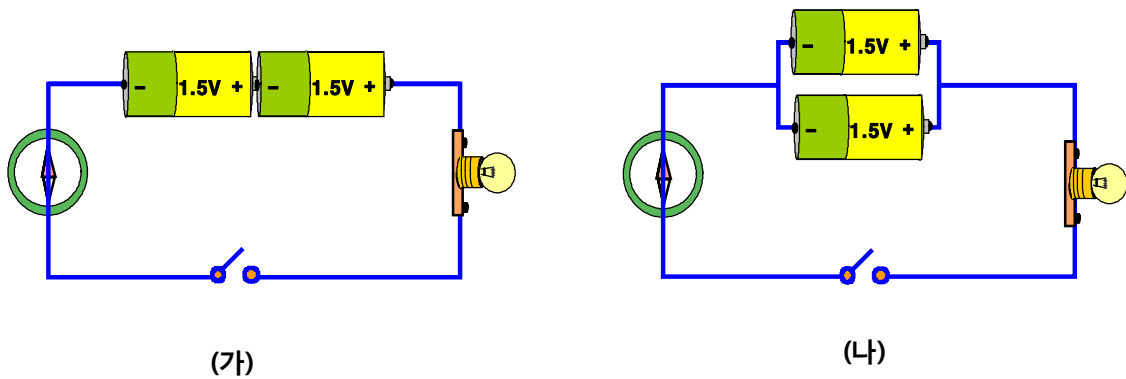
[그림 10]

- ① 병렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 이에 비례하여 커진다.
- ② 병렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 이에 비례하지는 않지만 커진다.
- ③ 병렬로 연결하는 전지의 수가 많을수록 전류가 커지다가 어떤 크기의 전류에서 더 이상 커지지 않는다.
- ④ 병렬로 연결하는 전지의 수가 많아져도 한 개의 전지일 때의 전류와 거의 같다.

그렇게 생각하신 이유는 무엇인가요?

11. [그림 11]의 (가)는 직렬연결한 전지 2개에 전구와 집게전선을 연결한 전기회로이며, (나)는 병렬연결한 전지 2개에 전구와 집게전선을 연결한 전기회로이다. 두 전기회로의 전선 밑에 나침반을 두어 나침반 바늘이 회전하는 각도로 전류의 세기를 비교하였다. 이 때, 두 전기회로에 사용된 전지, 나침반, 집게전선은 모두 동일하다.

스위치를 닫을 때, 두 전기회로 (가)와 (나)에 흐르는 전류의 세기를 비교하면 어떻게 되겠는가?



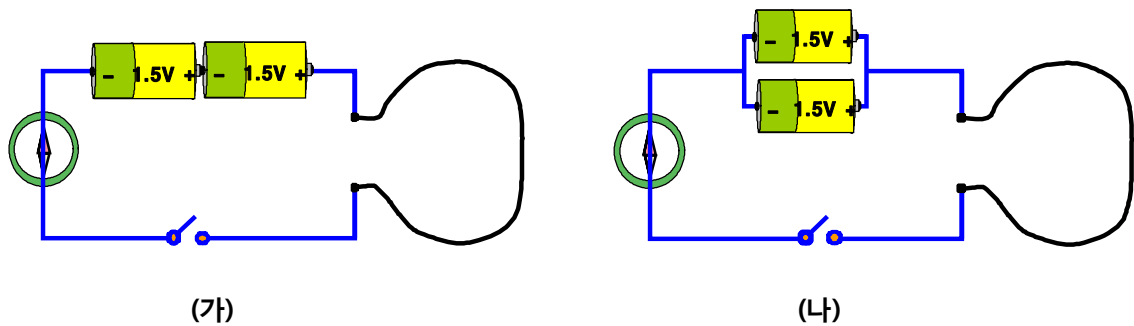
[그림 11]

- ① (가) > (나) ② (가) < (나) ③ 비슷하다. ④ 비교할 수 없다.

그렇게 생각하신 이유는 무엇인가요?

12. [그림 12]의 (가)는 직렬연결한 전지 2개에 50cm 길이의 전선(㉠)과 집게전선을 연결한 전기회로이며, (나)는 병렬연결한 전지 2개에 50cm 길이의 전선(㉠)과 집게전선을 연결한 전기회로이다. 두 전기회로의 전선 밑에 나침반을 두어 나침반 바늘이 회전하는 각도로 전류의 세기를 비교하였다. 이 때, 두 전기회로에 사용된 전지, 나침반, 집게전선은 모두 동일하다.

스위치를 닫을 때, 두 전기회로 (가)와 (나)에 흐르는 전류의 세기를 비교하면 어떻게 되겠는가?



[그림 12]

- ① (가) > (나) ② (가) < (나) ③ 비슷하다. ④ 비교할 수 없다.

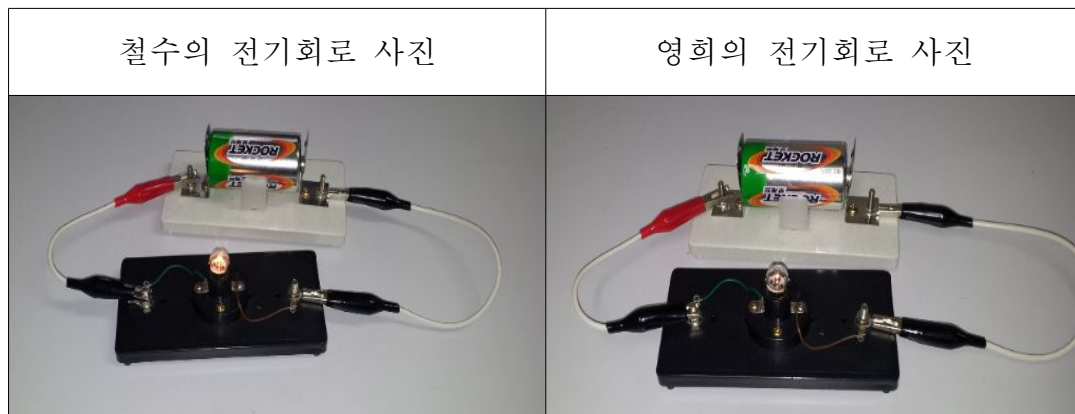
그렇게 생각하신 이유는 무엇인가요?

- 설문에 응해 주셔서 진심으로 감사드립니다. -

(부록 2) 전지의 연결방법에 따른 전류의 특성에 대한 동형검사지

전지의 직렬연결과 병렬연결 회로에서 전류의 크기 예상 기록지

철수와 영희는 과학실에서 아래의 사진처럼, 비슷한 전기회로를 만들었습니다. 이 때, 두 친구가 사용한 전지와 전구의 규격은 같고, 전선은 규격과 길이가 같았습니다. 그런데 철수의 전기회로에서의 불빛이 영희의 전기회로에서의 불빛보다 밝았습니다. 왜 이 두 회로에서의 불빛이 차이가 났을까요? 그 이유를 아래에 써주세요.

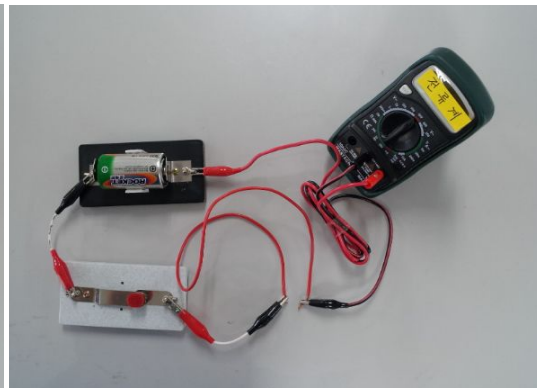
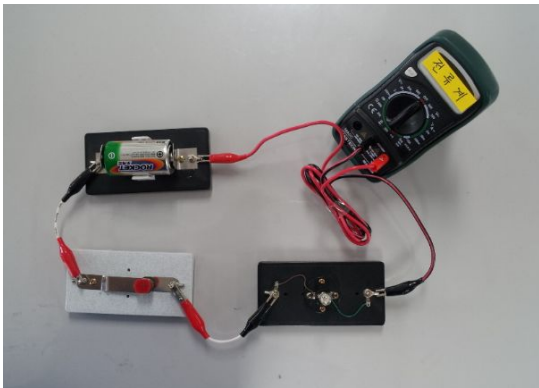


이유:

아래의 사진처럼 전구를 연결한 회로에서 전지를 직렬과 병렬로 1개에서 6개까지 연결했을 때, 전류의 크기를 아래에 예상하여 기록해주세요.

아래의 사진처럼 전구 대신 50cm 길이의 전선을 연결한 회로에서 전지를 직렬과 병렬로 1개에서 6개까지 연결했을 때, 전류의 크기를 아래에 예상하여 기록해주세요.

※ 이 때 두 전기회로에 사용된 전지, 집게전선, 스위치는 모두 동일합니다.



전지수 (개)	직렬연결 전류 (A)	병렬연결 전류 (A)
1	()	
2		
3		
4		
5		
6		

전지수 (개)	직렬연결 전류 (A)	병렬연결 전류 (A)
1	()	
2		
3		
4		
5		
6		

전지의 연결방법에 따른 전류의 특성 개념향상 프로그램

■ 전류가 흐르는 전선 부근의 자기장 관찰 실험의 실제

① 지금까지 초등학교 과학과 교과서에 ‘전류와 자기장’ 단원의 ‘전류가 흐르는 전선 부근의 자기장’ 소단원의 학습 목표는 전류 주위의 자기장을 나침반으로 확인하며, 전류의 방향과 나침반 자침의 회전방향을 관찰함에 의하여 전류에 의하여 형성된 자기장의 방향과 전류의 방향의 관계를 인식하게 하는 것이다.

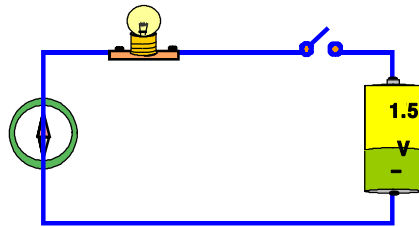


[그림 1]

② 또한 전기회로의 전원으로 사용되는 전지를 직렬연결하는 그 개수를 증가시켜 전선에 흐르는 전류를 크게 하여, 나침반의 자침의 회전각도를 비교하게 하여 전류가 커짐에 따라 전선 주변의 자기장의 세기가 커짐을 인식하게 하는 활동도 포함되어 지도하기도 하였다.

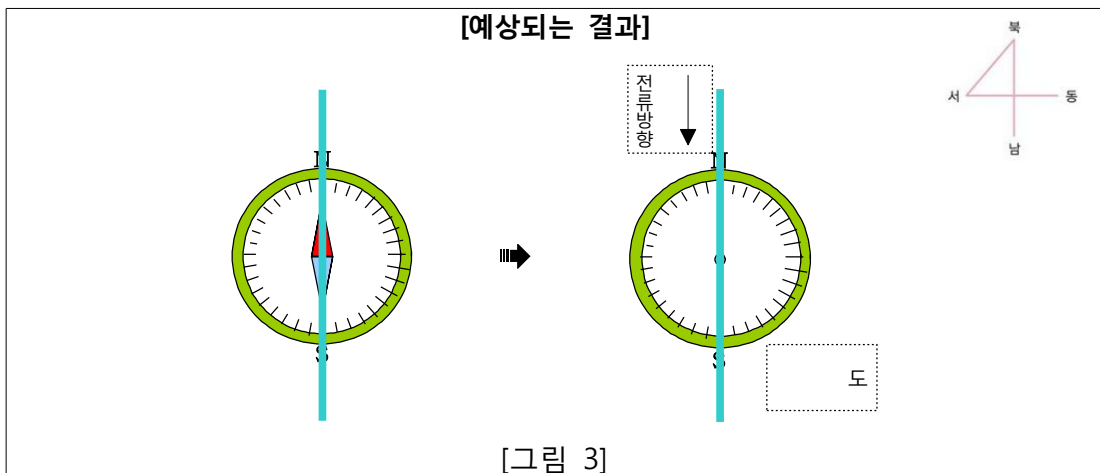
③ 전류와 자기장의 관찰 실험에서 기본적인 전기회로는 [그림 1]에서 보여주는 것과 같이 전지 1개, 전구 1개, 스위치, 그리고 여러 개의 연결전선으로 구성되어 있다.

④ [그림 1]에서 보여주는 전기회로를 전기회로도 나타내면 [그림 2]와 같다.



[그림 2]

⑤ 위의 전기회로에서, 전선이 나침반의 자침의 방향과 일치하는 방향으로 일직선으로 나침반의 위를 지나도록 하고 스위치를 닫아 전선에 북남방향으로 전류가 흐를 때, 나침반에 자침의 움직임을 아래 [그림 3]에 자침이 없는 나침반 그림에 자침을 그려 그림으로 나타낸다.



■ 전류가 흐르는 전선 부근의 자기장 관찰 실험에서의 어려움 확인

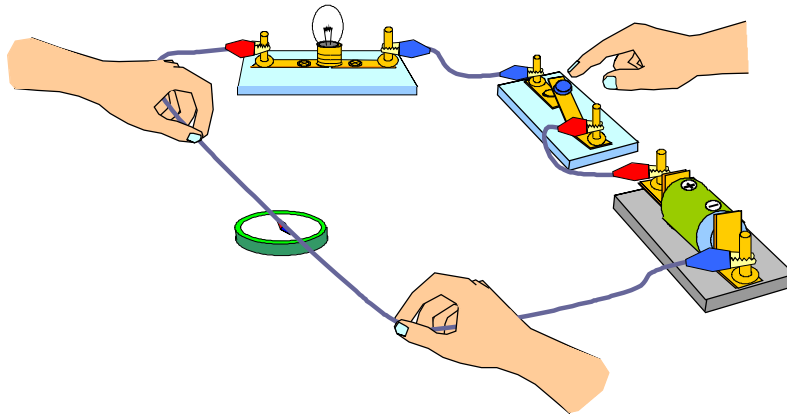
1. 전류가 흐르는 전선 부근의 자기장 관찰 실험에서의 어려움의 문제 제기

가. 준비물

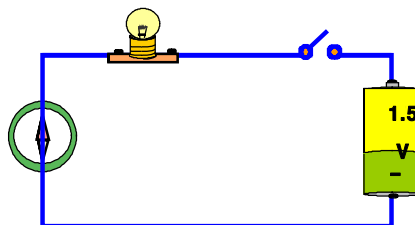
전지(1.5 V)와 전지 소켓 1조, 전구와 전구 소켓 1조, 스위치 1개, 나침반 1개, 집게전선 다수

나. 활동 과정 및 절차

① 전지 1개, 스위치, 전구 1개, 긴 집게전선, 그리고 다수의 짧은 집게전선을 사용하여 [그림 4]와 같은 전기회로를 구성한다. 이때 전류는 북쪽에서 남쪽 방향, 즉 북남방향으로 흐르게 된다. 이 회로를 회로도로 나타내면 [그림 5]와 같다.



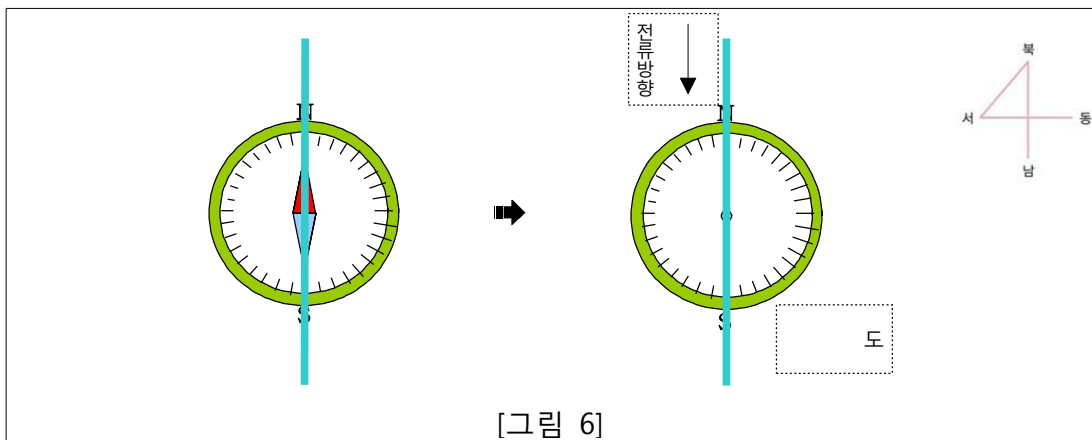
[그림 4]



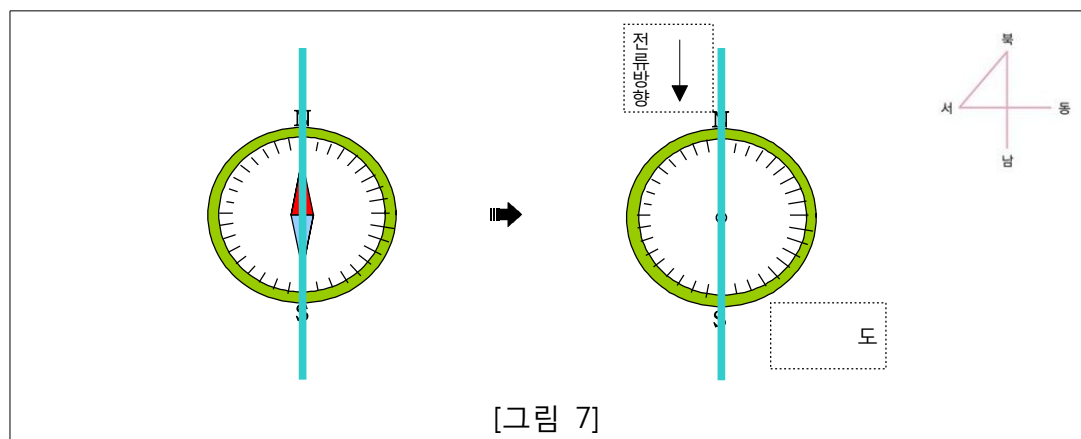
[그림 5]

② [그림 4]에서 보여주는 것과 같이 긴 집게전선을 양 끝부분을 양 손으로 잡고 나침반의 자침의 방향과 일치하는 방향으로 일직선으로 뻗히고 나침반의 위를 지나도록 한다. 이 때 자침이 나침반의 남북방향 지시표와 일치하도록 나침반의 위치를 정확히 조정한다.

③ [그림 4]의 전기회로의 스위치를 닫았을 때 전류는 북남방향으로 흐른다. 나침반 자침의 움직임을 관찰하고, 나침반 자침의 움직임을 그 각도의 변화로 측정한다. 변화된 각도를 측정한 결과를 아래 [그림 6]에 전류의 방향과 나침반에 자침의 움직임을 자침이 없는 나침반 그림에 자침을 그려 그림으로 나타낸다. 그리고 각도의 변화량을 기록한다.

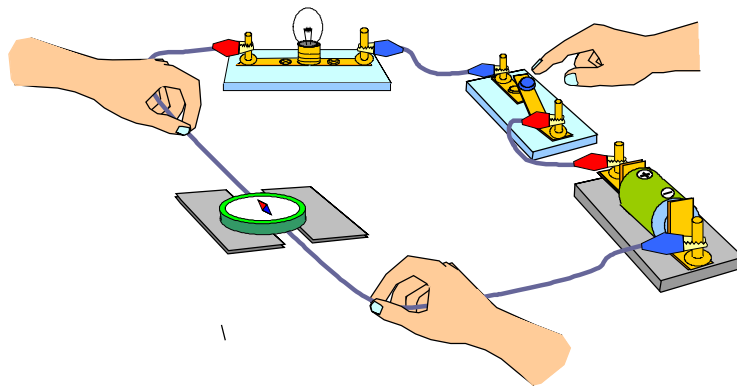


④ [그림 4]의 전기회로에서 전류의 방향을 반대방향인 남북 방향으로 흐르게 하였을 때, 나침반의 자침의 움직임을 관찰하고, 자침의 각도 변화를 측정한 결과를 아래 [그림 7]에 전류의 방향과 나침반에 자침의 움직임을 자침이 없는 나침반 그림에 자침을 그려 그림으로 나타낸다. 그리고 각도의 변화량을 기록한다.



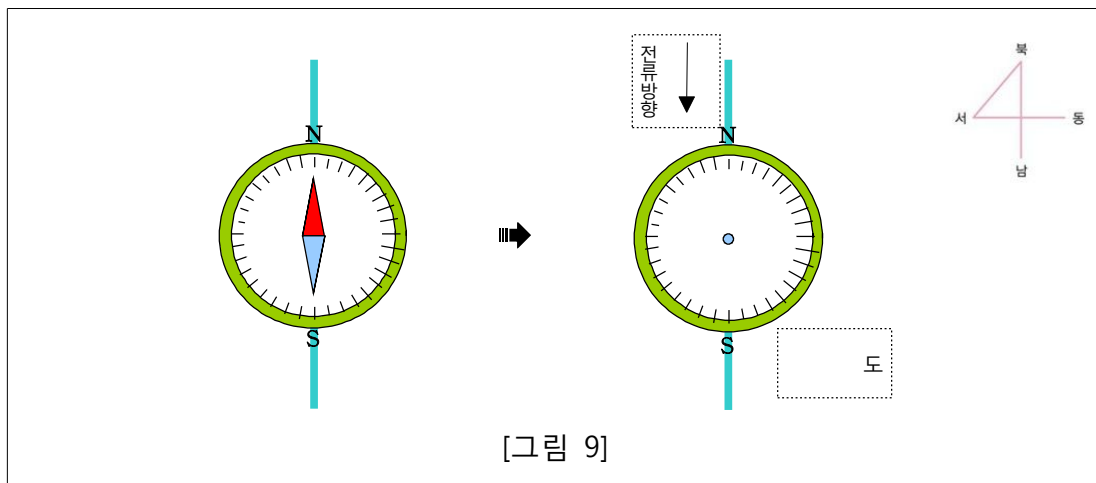
⑤ [그림 8]에서 보여주는 것과 같이 긴 집게전선을 양 끝부분을 양 손으로 잡고 전선이 바닥에 접촉한 상태에서 남북 방향으로 일직선으로 뻗힌다. 나침반을 그 위에 올려놓을 수 있도록 일직선으로 뻗혀진 전선의 중간에 양쪽에 놓는다. 그리고 나침반을 종이 조각위에 올려놓고 나침반 자침의 방향과 일치하는 방향으로 나침반의 밑을 지나도록 한다. 이 때 자침이 나침반의 남북방향 지시표와 일치하도록 나침반의 위치를 정확히 조정한다.

전기회로의 스위치를 닫았을 때, 전구의 불이 켜짐과 나침반들의 자침의 움직임을 관찰하고, 자침의 움직임을 나침반의 각도로 측정한다.



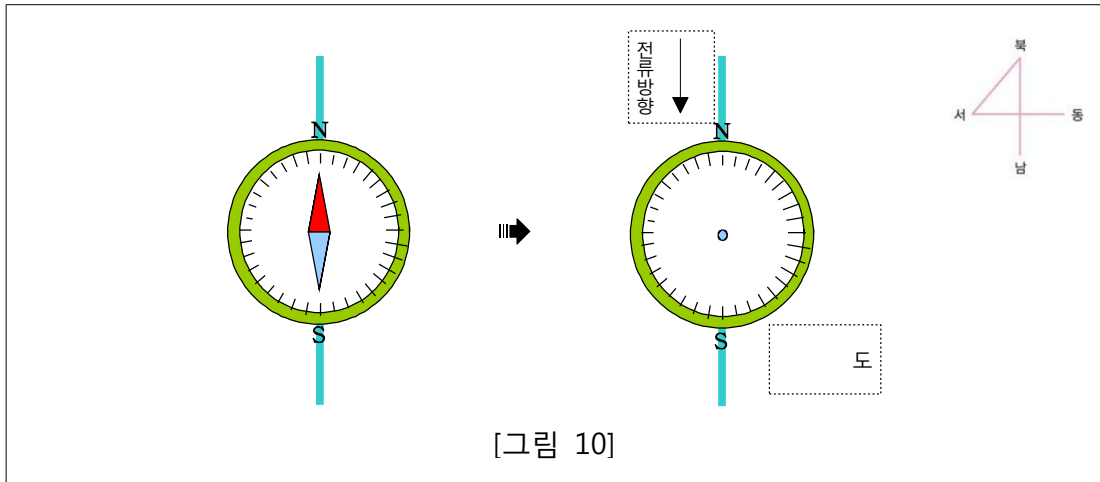
[그림 8]

⑥ [그림 8]의 전기회로의 스위치를 닫았을 때 전류는 북남방향으로 흐른다. 이 때, 나침반의 자침의 움직임을 관찰한 결과를 아래 [그림 9]에 전류의 방향과 나침반에 자침의 움직임을 자침이 없는 나침반 그림에 자침을 그려 그림으로 나타낸다. 그리고 각도의 변화량을 기록한다.



[그림 9]

⑦ [그림 8]의 전기회로에서 전류의 방향을 남북방향으로 흐르게 하였을 때, 나침반의 자침의 움직임을 관찰하고 자침의 변화를 측정한 결과를 아래 [그림 10]에 전류의 방향과 나침반에 자침의 움직임을 자침이 없는 나침반 그림에 자침을 그려 그림으로 나타낸다. 그리고 각도의 변화량을 기록한다.



다. 결과 및 고찰

① 나침반 자침 각도 변화 실험에서 얻은 결과와 예상한 결과를 비교하여 설명한다.

② 위의 실험의 결과가 예상한 결과와 같은 결과를 얻을 수 없는 이유는 무엇이라고 생각하는가?

■ 자기장 관찰 실험에서의 어려움 극복을 위한 시도(I)

가. 어려움의 문제

- ① 지금까지 초등학교 과학과 교과서 ‘전류와 자기장’ 단원의 ‘전류가 흐르는 전선 부근의 자기장의 관찰’에서 교과서에 제시된 실험에서 전류가 도선에 흐름에도 불구하고 나침반의 자침의 움직임이 크지 않은 경우가 많다. 그래서 나침반 자침의 움직임을 관찰하는데 많은 어려움을 겪어 왔다.
- ② 전류가 흐르는 전선 부근의 자기장을 확인하는 전기회로는 전지 1개, 전구 1개, 스위치, 그리고 집게전선으로 구성되어 있다.
- ③ 나침반을 전류가 흐르는 전선 밑과 위에 놓고, 전선에 흐르는 전류로 인해 형성된 자기장에 의하여 나침반의 자침이 움직임을 관찰함으로써 전선에 흐르는 전류에 의하여 전선 부근에 자기장이 형성됨을 인식하는 것이 본 실험의 목적이다.



[그림 11]

- ④ 전선에 흐르는 전류에 의하여 형성되는 자기장의 세기는 전류에 비례한다.

⑤ ‘전지의 직렬연결에 의하여 보다 큰 전류를 얻을 수 있다’는 것은 이미 ‘전구와 전지’와 ‘전기회로’ 단원에서 학습되었다.

⑥ 나침반의 자침의 움직임이 작아 이를 관찰하기 어렵다는 문제를 해결하는 것은 나침반의 자침의 움직임을 크게 하여 보다 충분히 관찰하는 것이다. 이는 큰 전류를 전기회로에 흐르게 하는 것이며, 구성주의 학습의 관점에서 큰 전류를 얻기 위하여 전지를 직렬연결하는 방법을 생각할 수 있다.

나. 준비물

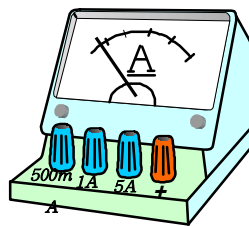
전지(1.5V)와 전지 소켓 6조, 전구와 전구 소켓 1조, 스위치 1개, 나침반 1개, 집계전선 다수, 직류 전류계, 직류 전압계

다. 활동 과정 및 절차

① 전류계의 사용법은 아래와 같다.

· 전하의 흐름을 전류라고 하며, 'I'라고 표시한다. 전류는 전지의 (+)극쪽에서 전지의 (-)극쪽으로 흐르며, 전류의 크기는 ‘암페어’ 또는 ‘밀리암페어’라는 단위를 사용하여 나타낸다. 이들은 'A' 또는 'mA'으로 표시하는데, 1 A는 1000 mA이다.

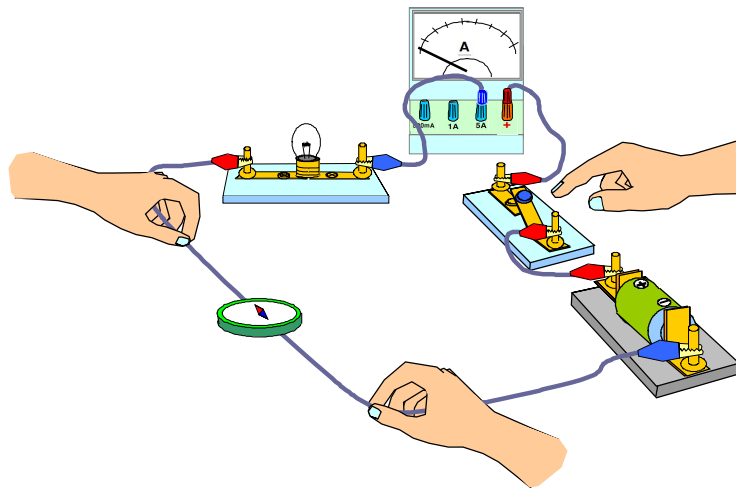
· 전류의 양을 측정하는 기기를 전류계라고 하는데, 다음의 [그림 12]와 같은 모양을 가지고 있다. 전류계는 직류전류를 측정하는 전류계와 교류전류를 측정하는 전류계가 있다. 직류전류계는 A로 표시되어 있고 교류전류계인 경우는 밑에 웨이브가 있는 \tilde{A} 자로 표시되어 있다.



[그림 12]

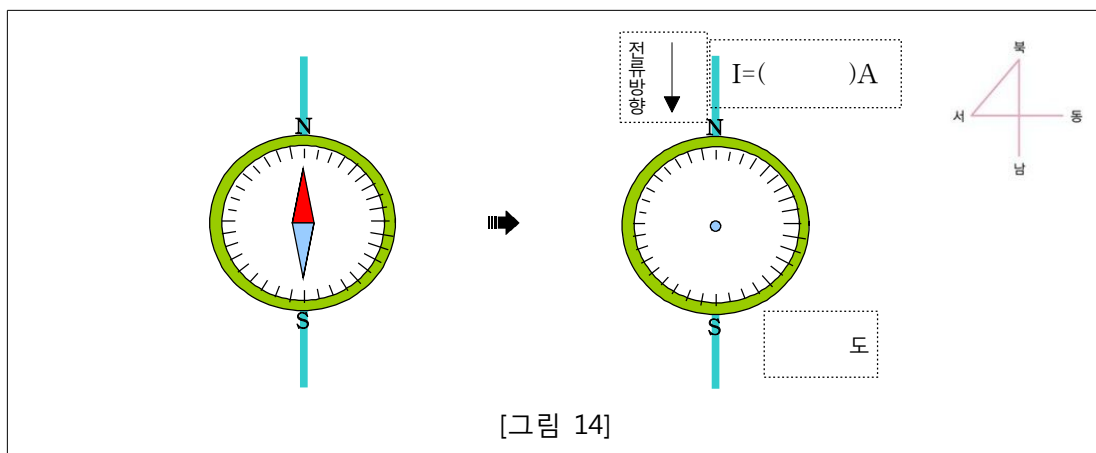
· 전류를 측정할 때는 전류를 측정하고자 하는 회로의 부분을 분리한 다음, 직렬로 연결한다. 그리고 전류계의 (+)단자는 전지의 (+)극이 나오는 도선에, (-)단자는 전지의 (-)극에서 나오는 단자에 연결한다.

② 전지 1개, 스위치, 전구 1개, 다수의 집게전선, 그리고 직류전류계를 사용하여 [그림 13]와 같이 1개의 전지에 스위치, 직류 전류계, 그리고 전구를 연결한 전기 회로를 구성한다. 긴 집게전선을 양 끝부분을 양 손으로 잡고 나침반의 자침의 방향과 일치하는 방향으로 일직선으로 뻗치고 나침반의 아래를 지나도록 한다. 이 때 자침이 나침반의 남북방향 지시표와 일치하도록 나침반의 위치를 정확히 조정한다.



[그림 13]

③ 전기회로의 스위치를 닫았을 때, 전류는 북남방향으로 흐른다. 이 때, 나침반의 자침의 움직임과 전류의 크기를 관찰하고 측정된 결과를 아래 [그림 14]에 전류의 방향과 나침반에 자침의 움직임을 자침이 없는 나침반 그림에 자침을 그려 그림으로 나타낸다. 그리고 전류의 크기와 각도의 변화량을 기록한다.



[그림 14]

④ 전류가 나침반 아래에서 흐르게 할 때, 위의 단일전지를 연결하여 얻은 결과를 근거로 하여 전지 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 직렬연결할 경우 나침반 자침의 각도 변화량을 예상하고 기록한다. (개인별 예상 기록지 제공)

전지의 연결	전류크기	자침 변화량
전지 1개(단일전지)		
전지 2개의 직렬연결		
전지 3개의 직렬연결		
전지 4개의 직렬연결		
전지 5개의 직렬연결		
전지 6개의 직렬연결		

⑤ [그림 16]에서 전기회로에서 스위치가 열린 상태에서 측정한 전지양단의 전압은 전지 내에 있는 물질들이 화학반응으로 생성되는 화학에너지에 의하여 형성되는 전기적 위치에너지를 나타내는 전위차이다. 전지의 양극에 도체로 연결할 경우 도체에 전위차를 발생시켜 전하를 이동하게 하여 전류가 통하게 하는 원동력이 되므로, 이를 전지의 기전력(electromotive force, emf(E))이라고 한다. 기전력의 단위는 전압차와 마찬가지로 V(volt)로 나타낸다.

⑥ 전지란 물질의 화학적 또는 물리적 반응에서 생기는 에너지를 전기에너지로 변환하여 전기회로에 에너지를 공급하는 소형 장치이다. 가장 널리 사용되는 망간 전지는 음극에 아연, 양극에 탄소봉, 전해액을 염화암모늄과 염화아연의 혼합물을 사용하는 전극에서 전지의 음극인 (-)극으로 흐른다.

⑦ [그림 16]에서 전기회로에서 스위치를 닫았을 때, 전기회로의 전압원인 전지의 양단전압은 전기회로에서 전지 외부에 존재하는 모든 외부저항 R에 의하여 강하되는 전압을 의미한다. 이를 단자전압이라고 한다.

⑧ [그림 16]의 회로와 같이 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 자침의 회전각도를 측정할 수 있도록 전기회로에 전지를 1개부터 6개까지 직렬연결하고 스위치, 전구 1개, 다수의 집게전선, 직류전압계와 직류전류계, 나침반을 사용하여 전기회로를 구성한다. 여기에서 전류계는 직렬로 연결하고, 전압계는 병렬로 연결하여 측정한다. 이 회로를 회로도 표현하면 [그림 17]와 같다.

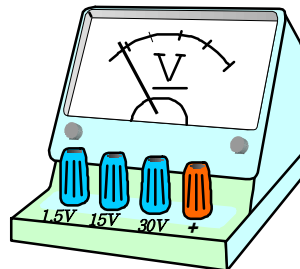
⑨ 전압계의 사용법은 다음과 같다.

- 전기회로에 전류를 흐르게 하는 전기적인 압력을 전압이라고 하며, 'V'로 표시한다. 그리고 전압의 양은 V(볼트) 또는 mV(밀리볼트)의 단위로 나타내는데, 1V는 1000 mV이다. 전압은 전압의 차를 의미하는데, 1.5 V의 전지라는 것은 전지의 (-)극에 비하여 전지의 (+)극이 전압이 1.5 V 높다는 것이다.

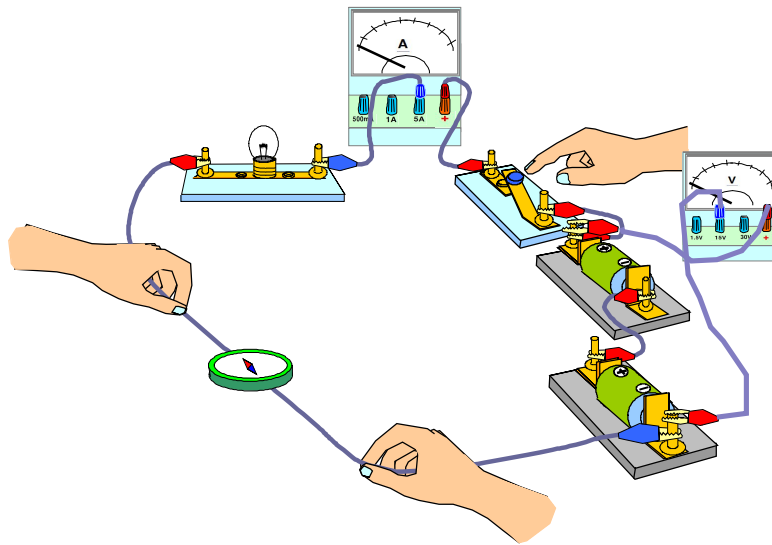
- 전압의 양은 전압계를 사용하여 측정한다. 전압계는 다음의 [그림 15]와 같은 모양을 가지고 있다. 전압계는 직류전압을 측정하는 직류전압계와 교류전압을 측정하는 교류전압계가 있다. 직류전압계는 \underline{V} 로 표시하고 교류전압계인 경우는 웨이브가 있는 \tilde{V} 자로 표시되어 있다.

- 전압을 측정할 때는 전압의 크기를 대략 예상하여 큰 값인 단자부터 선택하여 눈금판에 표시된 허용값이 넘지 않는 범위에서 측정한다.

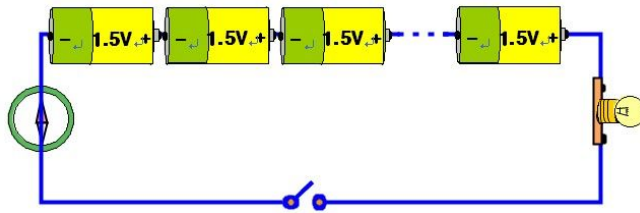
- 전압계는 전압을 측정하고자 하는 전기부품과 병렬로 전기회로에 연결하며, (+)단자는 전지의 (+)극이 나오는 도선에, (-)단자는 전지의 (-)극에서 나오는 단자에 연결한다.



[그림 15]



[그림 16]



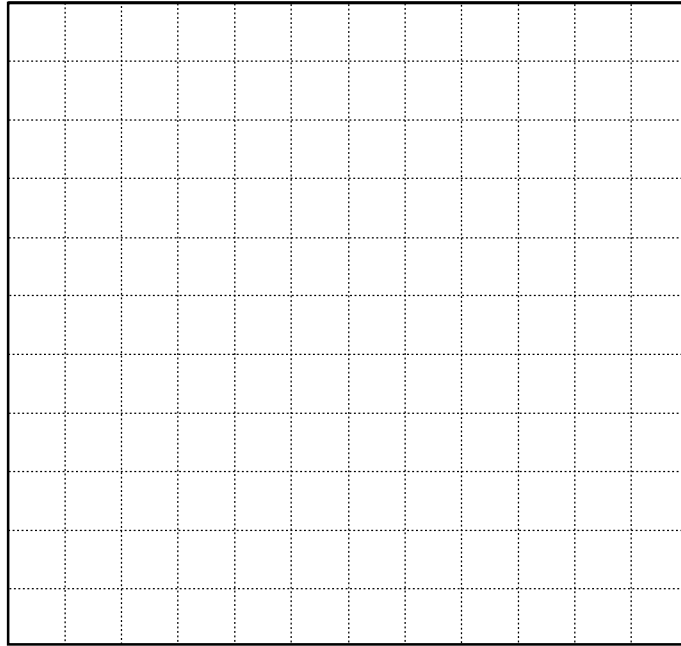
[그림 17]

⑩ [그림 16]의 전기회로에서 스위치를 열었을 때 전지의 기전력을 측정하고, 스위치를 닫았을 때 나침반의 자침의 움직임과 전류, 단자전압 측정하고 아래의 표에 기록한다.

전지수	측정				전류 증가 여부	
	기전력	단자전압	전류	각도	전류증가량	전류증가비율(%)
1						
2						
3						
4						
5						
6						

라. 결과 및 고찰

① 직렬연결한 전지의 수에 따른 측정한 전류와 자침 각도의 변화량과 직렬연결한 전지의 수에 따른 예상한 전류의 크기와 각도의 변화량을 그래프로 나타낸다. 측정한 전류와 자침 각도의 변화량은 ■와 ●로, 예상한 전류의 크기와 각도의 변화량은 □와 ○로 각각 표시한다.



② 위의 전류 변화 그래프를 보고 예상한 결과와 위의 실험에서 얻은 결과를 비교하여 설명한다.

③ 위의 실험의 결과가 예상한 결과와 달랐다면, 예상한 결과를 얻을 수 없었던 이유는 무엇이라고 생각하는가?

④ 결국 전구를 연결한 회로에서 전지를 계속 직렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지 전류변화 그래프와 표의 전류 증가량과 증기비율을 바탕으로 아래에 설명한다.

■ 자기장 관찰 실험에서의 어려움 극복을 위한 시도(II)

가. 어려움의 문제

① ‘전지를 병렬연결 하면 전지 1개의 전류 크기와 비슷하다’는 것은 이미 ‘전구와 전지’와 ‘전기회로’ 단원에서 학습되었다. 그래서 전지를 병렬연결하여도 전류의 크기는 변하지 않을 것이라고 생각한다.

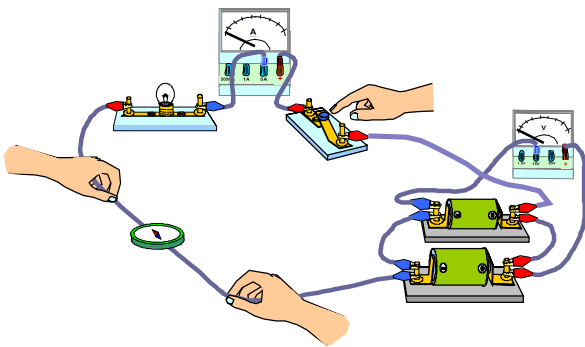
② 그러나 요즘 과학교육과정에서 강조하고 있는 자유탐구 등의 과학적 탐구의 단계 중 실험설계 단계에서는 종속변인에 영향을 줄 것이라고 믿는 변인만 조작(예상확인전략 중 확증전략)할 수도 있으나, 과학적 사고력과 탐구력이 신장되어 가면 종속변인에 영향을 주지 않는 변인까지 모두 실험을 통해 확인(예상확인전략 중 반증전략)하게 된다. 바로 이 반증주의의 관점으로 전지를 병렬연결하여 전류의 크기가 정말 일정한지를 확인해 보도록 하자.

나. 준비물

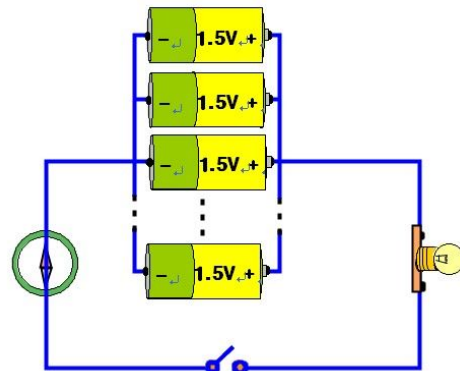
전지(1.5V)와 전지 소켓 6조, 전구와 전구 소켓 1조, 스위치 1개, 나침반 1개, 집게전선 다수, 직류 전류계, 직류 전압계

다. 활동 과정 및 절차

① [그림 18]의 회로는 전지를 병렬연결하여 나침반의 각도변화를 확인하는 회로이다. 이 회로를 회로도로 표현하면 [그림 19]와 같다.



[그림 18]



[그림 19]

② [그림 18]에서는 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 자침의 회전각도를 측정할 수 있도록 전기회로에 전지를 1개부터 6개까지 병렬연결하고 스위치, 전구 1개, 다수의 집게전선, 직류전압계와 직류전류계, 나침반, 전구를 사용하여 전기회로를 구성한다. 여기에서 전류계는 직렬로 연결하고, 전압계는 병렬로 연결하여 측정한다.

③ 전류가 나침반 아래에서 흐르게 할 때, 위의 단일전지를 연결하여 얻은 결과를 근거로 하여 전지 2개, 3개, 4개, 5개, 6개를 병렬연결할 경우 나침반 자침의 각도 변화량을 예상하고 기록한다. (개인별 예상 기록지 제공)

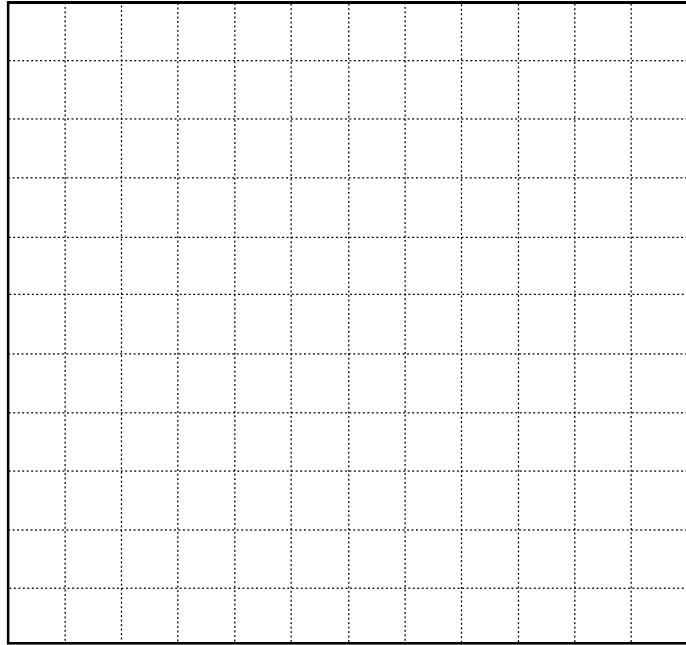
전지의 연결	전류크기	자침 변화량
전지 1개(단일전지)		
전지 2개의 병렬연결		
전지 3개의 병렬연결		
전지 4개의 병렬연결		
전지 5개의 병렬연결		
전지 6개의 병렬연결		

④ [그림 18]의 전기회로에서 스위치를 열었을 때 전지의 기전력을 측정하고, 스위치를 닫았을 때 나침반의 자침의 움직임과 전류, 단자전압 측정한 결과를 아래의 표에 기록한다.

전지수	측정				전류 증가 여부	
	기전력	단자전압	전류	각도	전류증가량	전류증가비율(%)
1						
2						
3						
4						
5						
6						

라. 결과 및 고찰

① 직렬연결한 전지의 수에 따른 측정한 전류와 자침 각도의 변화량과 직렬연결한 전지의 수에 따른 예상한 전류의 크기와 각도의 변화량을 그래프로 나타낸다. 측정한 전류와 자침 각도의 변화량은 ■와 ●로, 예상한 전류의 크기와 각도의 변화량은 □와 ○로 각각 표시한다.



② 위의 전류 변화 그래프를 보고 예상한 결과와 위의 실험에서 얻은 결과를 비교하여 설명한다.

③ 위의 실험에서 예상한 결과를 얻을 수 있는 이유는 무엇이라고 생각하는가?

■ 자기장 관찰 실험에서의 어려움 극복을 위한 시도(Ⅲ)

가. 어려움의 문제

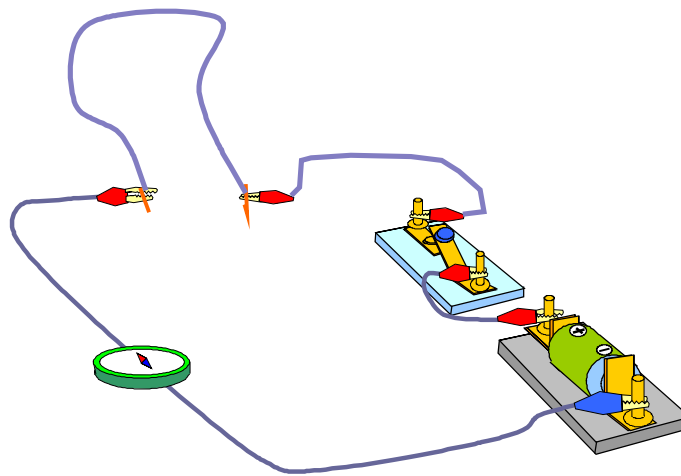
① 지금까지 초등학교 과학과 교과서 및 교사용 지도서에서는 전선에 흐르는 전류에 의하여 나침반의 자침이 움직이는 현상으로 자기장을 설명해왔다. 그런데 전선에 전류가 흐르고 있다는 것을 확인하기 위해서, 그리고 회로의 합선으로 인한 전지 소모를 방지하기 위하여 전구를 사용해왔다.



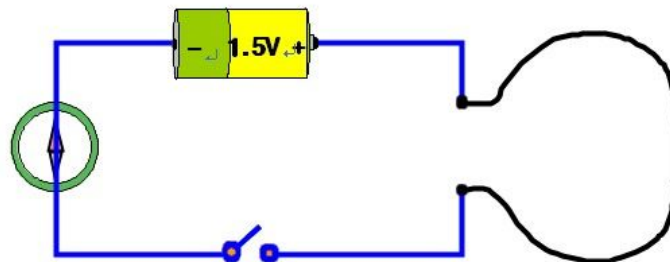
[그림 20]

② 그러나 전구를 연결하지 않고 실험을 할 때에도 각도를 측정할 때에만 회로의 스위치를 닫아주면 전지의 소모가 크지 않으며, 나침반의 자침이 움직이는 것을 통해 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다. 또한 국제전기기술위원회의 기준에 따르면 전압이 약 20V 이하인 경우에는 인체가 감전이 일어나지 않는 안전한 전압이라고 규정하고 있어서 인체의 안전에 영향을 주지 않는다.

③ 전구 대신 50cm 길이의 전선을 연결한 회로에서 나침반을 전류가 흐르는 전선 밑과 위에 놓고, 전선에 흐르는 전류로 인해 형성된 자기장에 의하여 나침반의 자침이 움직임을 관찰함으로써 전구가 아닌 전선으로만 연결된 회로에서 전선에 흐르는 전류의 크기 변화로 인해 나침반의 각도 변화가 어떻게 일어나는지를 인식하는 것이 본 실험의 목적이다. [그림 20]은 [그림 21], [그림 22]처럼 표현할 수 있다. 즉 [그림 20], [그림 21], [그림 22]는 같은 전기회로이다.



[그림 21]



[그림 22]

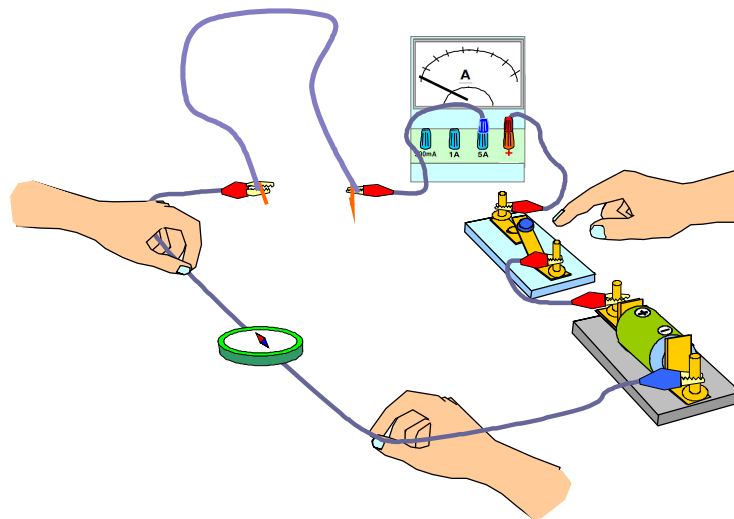
- ④ 전선에 흐르는 전류에 의하여 형성되는 자기장의 세기는 전류에 비례한다.
- ⑤ 위의 전기회로에서 전지를 직렬연결하면 전류의 크기가 어떻게 되는지 알아본다.

나. 준비물

전지(1.5V)와 전지 소켓 6조, 50cm 길이의 전선, 스위치 1개, 나침반 1개, 집게전선 다수, 직류 전류계, 직류 전압계

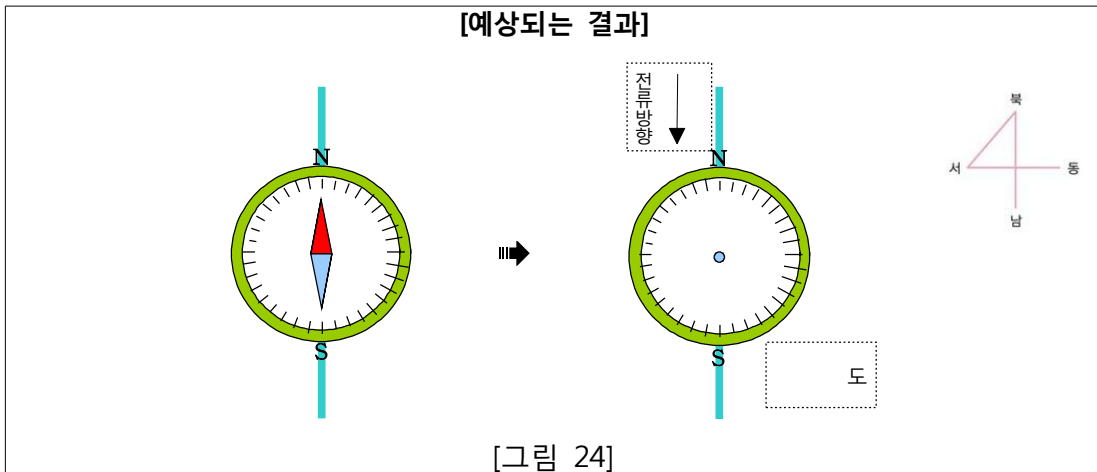
다. 활동 과정 및 절차

① 전지 1개, 스위치, 전구 1개, 다수의 집게전선, 그리고 직류전류계를 사용하여 [그림 23]과 같이 1개의 전지에 스위치, 직류 전류계, 그리고 전구를 연결한 전기 회로를 구성한다. 긴 집게전선을 양 끝부분을 양 손으로 잡고 나침반의 자침의 방향과 일치하는 방향으로 일직선으로 뻗히고 나침반의 아래를 지나도록 한다. 이 때 자침이 나침반의 남북방향 지시표와 일치하도록 나침반의 위치를 정확히 조정한다.

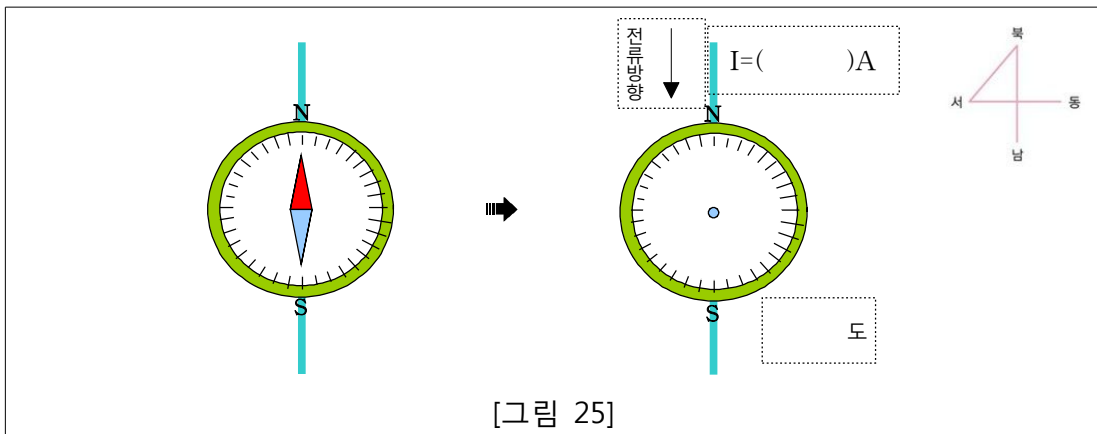


[그림 23]

② 위의 전기회로에서, 전선이 나침반의 자침의 방향과 일치하는 방향으로 일직선으로 나침반의 아래를 지나도록 하고 스위치를 닫아 전선에 전류가 흐를 때, 전류는 북남방향으로 흐른다. 이 때, 나침반에 자침의 움직임을 아래 [그림 24]에 자침이 없는 나침반 그림에 자침을 그려 그림으로 나타낸다.



③ 전기회로의 스위치를 닫아 전류가 북남방향으로 흐를 때, 나침반의 자침의 움직임과 전류의 크기를 관찰하고 측정된 결과를 아래 [그림 25]에 전류의 방향과 나침반에 자침의 움직임을 자침이 없는 나침반 그림에 자침을 그려 그림으로 나타낸다. 그리고 전류의 크기와 각도의 변화량을 기록한다.



④ 예상값과 측정값의 크기를 비교해보세요.

⑤ 만약 예상값과 측정값이 차이가 난다면 그 이유는 무엇일까요?

⑥ 전선에 흐르는 전류에 의하여 형성되는 자기장의 세기는 전류에 비례한다.

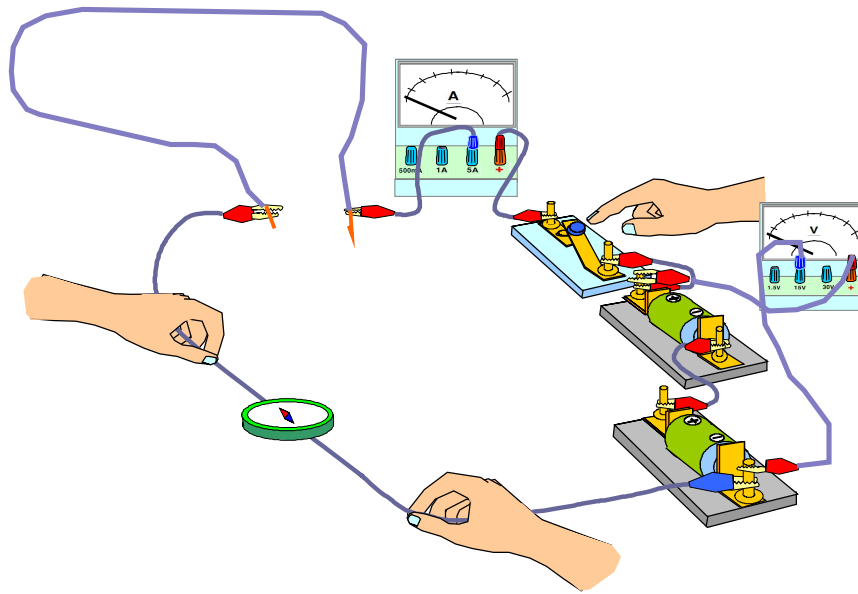
⑦ 전지의 직렬연결에 의하여 보다 더 큰 전류를 얻을 수 있다는 것은 이미 전구와 전지의 연결 전기회로 단원에서 학습되었다.

⑧ 따라서 나침반 자침의 변화량을 더 크게 하기 위하여, 즉 큰 전류가 전기회로에 흐르게 하기 위해서 구성주의 학습의 관점에서 전지를 직렬연결하는 방법을 생각할 수 있다.

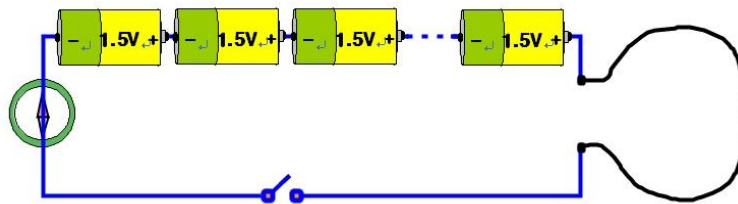
⑨ 전류가 나침반 아래에서 흐르게 할 때, 위의 단일전지를 연결하여 얻은 결과를 근거로 하여 전지 2개와 3개, 4개를 직렬연결할 경우 나침반 자침의 각도 변화량을 예상하고 기록한다. (개인별 예상 기록지 제공)

전지의 연결	전류크기	자침 변화량
전지 1개(단일전지)		
전지 2개의 직렬연결		
전지 3개의 직렬연결		
전지 4개의 직렬연결		
전지 5개의 직렬연결		
전지 6개의 직렬연결		

⑩ [그림 26]의 회로에서는 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 자침의 회전 각도를 측정할 수 있도록 전기회로에 전지를 1개부터 6개까지 직렬연결하고 스위치, 전구 1개, 다수의 집계전선, 직류전압계와 직류전류계, 나침반, 전구를 사용하여 전기회로를 구성한다. 여기에서 전류계는 직렬로 연결하고, 전압계는 병렬로 연결하여 측정한다. 이 회로를 회로도도 표현하면 [그림 27]과 같다.



[그림 26]



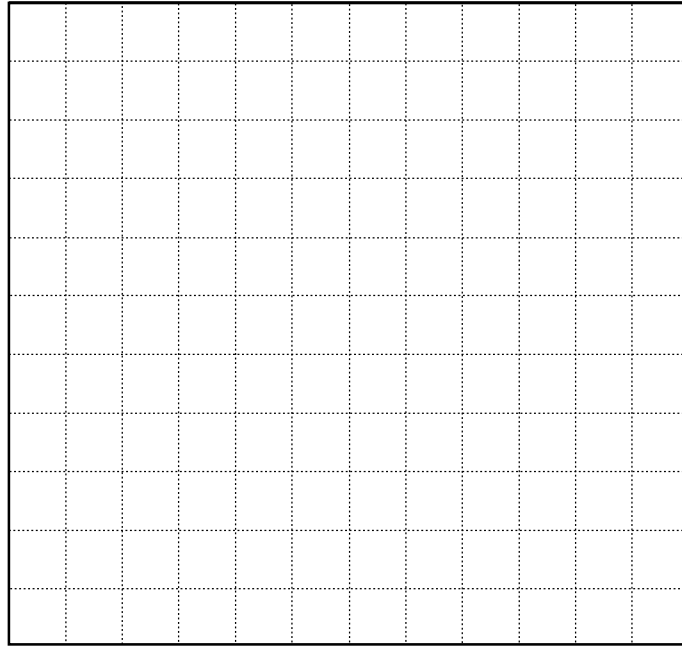
[그림 27]

① [그림 26]의 전기회로에서 스위치를 열었을 때 전지의 기전력을 측정하고, 스위치를 닫았을 때 나침반의 자침의 움직임과 전류, 단자전압 측정된 결과를 아래의 표에 기록한다.

전지수	측정				전류 증가 여부	
	기전력	단자전압	전류	각도	전류증가량	전류증가비율(%)
1						
2						
3						
4						
5						
6						

라. 결과 및 고찰

① 직렬연결한 전지의 수에 따른 측정된 전류와 자침 각도의 변화량과 직렬연결한 전지의 수에 따른 예상한 전류의 크기와 각도의 변화량을 그래프로 나타낸다. 측정된 전류와 자침 각도의 변화량은 ■와 ●로, 예상한 전류의 크기와 각도의 변화량은 □와 ○로 각각 표시한다.



② 위의 전류 변화 그래프를 보고 예상한 결과와 위의 실험에서 얻은 결과를 비교하여 설명한다.

③ 위의 실험의 결과가 예상한 결과와 달랐다면, 예상한 결과를 얻을 수 없는 이유는 무엇이라고 생각하는가?

④ 결국 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 회로에서 전지를 계속 직렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지 전류변화 그래프와 표의 전류 증가량과 증가비율을 바탕으로 아래에 설명한다.

■ 자기장 관찰 실험에서의 어려움 극복을 위한 시도(IV)

가. 어려움의 문제

① ‘전지를 병렬연결 하면 전지 1개의 전류 크기와 비슷하다’는 것은 이미 ‘전구와 전지’와 ‘전기회로’ 단원에서 학습되었다. 그래서 전지를 병렬연결하여도 전류의 크기는 변하지 않을 것이라고 생각한다.

② 그러나 요즘 과학교육과정에서 강조하고 있는 자유탐구 등의 과학적 탐구의 단계 중 실험설계 단계에서는 종속변인에 영향을 줄 것이라고 믿는 변인만 조작(예상확인전략 중 확증전략)할 수도 있으나, 과학적 사고력과 탐구력이 신장되어 가면 종속변인에 영향을 주지 않는 변인까지 모두 실험을 통해 확인(예상확인전략 중 반증전략)하게 된다. 바로 이 반증주의의 관점에서 전지를 병렬연결하여 전류의 크기가 정말 일정한지를 확인해 보도록 하자.

나. 준비물

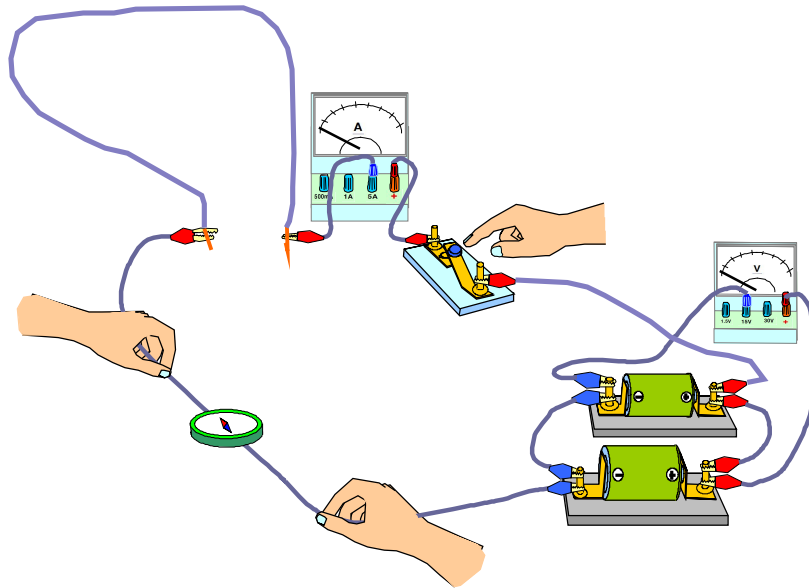
전지(1.5V)와 전지 소켓 6조, 50cm 길이의 전선, 스위치 1개, 나침반 1개, 집계전선 다수, 직류 전류계, 직류 전압계

다. 활동 과정 및 절차

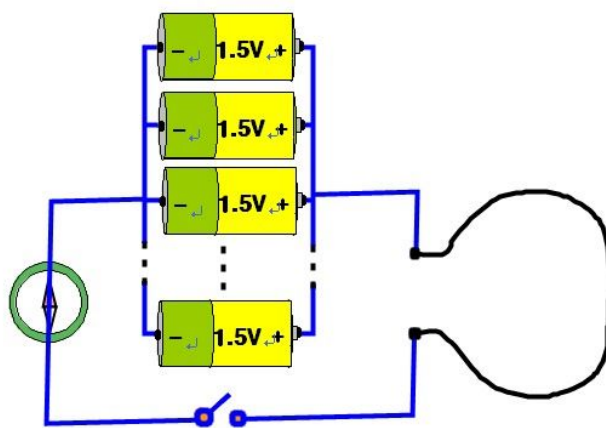
① 전류가 나침반 아래에서 흐르게 할 때, 위의 단일전지를 연결하여 얻은 결과를 근거로 하여 전지 2개와 3개, 4개를 병렬연결할 경우 나침반 자침의 각도 변화량을 예상하고 기록한다. (개인별 예상 기록지 제공)

전지의 연결	전류크기	자침 변화량
전지 1개(단일전지)		
전지 2개의 병렬연결		
전지 3개의 병렬연결		
전지 4개의 병렬연결		
전지 5개의 병렬연결		
전지 6개의 병렬연결		

② [그림 28]의 회로에서는 전지의 기전력, 단자전압, 전류, 나침반 자침의 회전 각도를 측정할 수 있도록 전기회로에 전지를 1개부터 6개까지 병렬연결하고 스위치, 전구 1개, 다수의 집게전선, 직류전압계와 직류전류계, 나침반, 전구를 사용하여 전기회로를 구성한다. 여기에서 전류계는 직렬로 연결하고, 전압계는 병렬로 연결하여 측정한다. 이 회로를 회로도도로 표현하면 [그림 29]과 같다.



[그림 28]



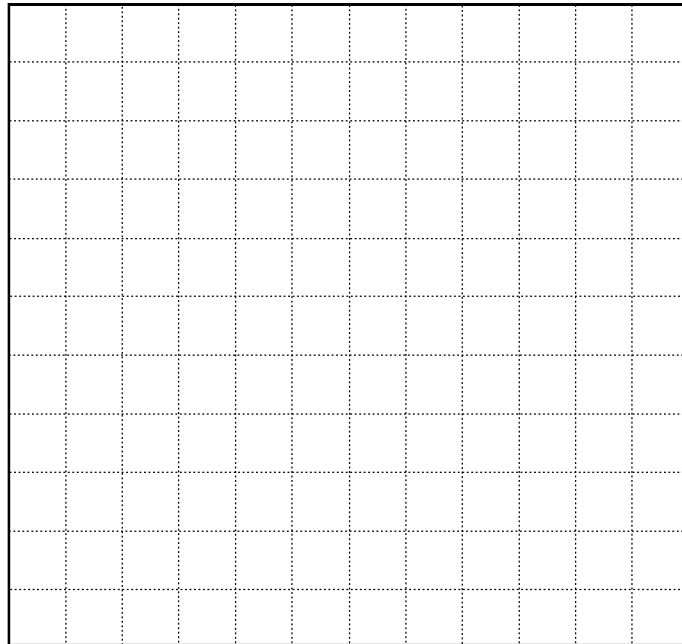
[그림 29]

③ [그림 28]의 전기회로에서 스위치를 열었을 때 전지의 기전력을 측정하고, 스위치를 닫았을 때 나침반의 자침의 움직임과 전류, 단자전압 측정한 결과를 아래의 표에 기록한다.

전지수	측정				전류 증가 여부	
	기전력	단자전압	전류	각도	전류증가량	전류증가비율(%)
1						
2						
3						
4						
5						
6						

라. 결과 및 고찰

① 직렬연결한 전지의 수에 따른 측정된 전류와 자침 각도의 변화량과 직렬연결한 전지의 수에 따른 예상한 전류의 크기와 각도의 변화량을 그래프로 나타낸다. 측정된 전류와 자침 각도의 변화량은 ■와 ●로, 예상한 전류의 크기와 각도의 변화량은 □와 ○로 각각 표시한다.



② 위의 전류 변화 그래프를 보고 예상한 결과와 위의 실험에서 얻은 결과를 비교하여 설명한다.

③ 위의 실험의 결과가 예상한 결과와 달랐다면, 예상한 결과를 얻을 수 없는 이유는 무엇이라고 생각하는가?

④ 결국 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결한 회로에서 전지를 계속 병렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지 전류변화 그래프와 표의 전류 증가량과 증가비율을 바탕으로 아래에 설명한다.

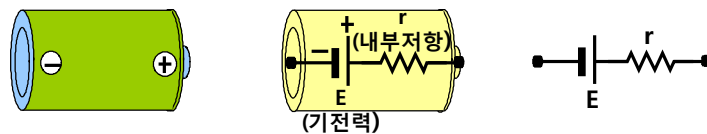
■ 회로에서 전지의 내부저항과 부하저항 비교하기

1. 내부저항과 부하저항의 개념

① 부하저항(R)은 전지에서 나오는 전기에너지가 아닌 다른 에너지(예: 열에너지, 빛에너지, 운동에너지 등)의 형태로 바꾸어 주는 저항으로, 간단하게 말하면 전기회로에서 전지를 제외한 나머지 모든 전기소자(전선, 전구, 모터, 발광다이오드 등)들은 모두 부하저항이다.

② 전지는 화학에너지를 전기에너지로 전환시켜 전기회로에 에너지를 공급하는 전기회로의 에너지원으로서, 화학반응에 의하여 생겨난 물질이 빠르게 확산되지 못하고 전극 주변에 쌓여서 전극 주변의 이온의 움직임이 느려지게 되어 전해질과 양쪽 극 사이의 전위차가 처음보다 작아지게 되고 이로 인해 전류의 크기도 작아지게 된다. 따라서 전지의 내부저항은 전지 재료 물질의 고유의 저항에 화학반응에 의해 생긴 저항이 합쳐져 나타난다.

전지는 일반적으로 [그림 30]과 같이 전류를 흐르게 하는 전압원으로 기전력과 내부저항의 연결로 표현된다. 이상적인 전압원이란 내부저항이 없는 전압원을 말한다.

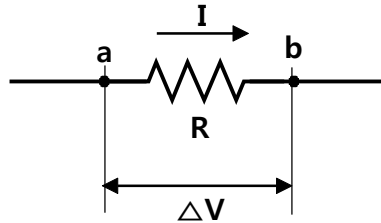


[그림 30]

③ [그림 31]과 같이 부하저항 R 을 통하여 전류 I 가 흐를 때, 전류 I 와 부하저항 R 의 곱인 IR 만큼의 전압강하가 일어나게 된다. 이렇게 전압과 전류 및 저항 사이의 관계를 나타내는 옴의 법칙을 식으로 표현하면,

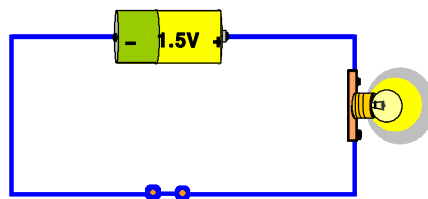
$$V=IR \text{-----(1)}$$

이 된다.



[그림 31]

④ 어떤 폐회로에서도 전압의 합은 0이 된다는 키르히호프의 전압법칙 (KVL)에 따라 부하저항에서 걸리는 전압과 전지의 내부저항에서 걸리는 전압의 합은 기전력 E와 같아야 한다. [그림 32]와 같은 전기회로에서 스위치를 닫아 전기회로에 전류 I가 흐를때 [그림 33]에서 보여주는 바와 같이 기전력 E는 전류의 방향이 -극에서 +극으로 되어 있으므로 음수가 되며, 부하저항과 전지의 내부저항의 전류의 방향은 +극에서 -극으로 되어 있으므로 부하저항과 전지의 내부저항에서 걸리는 전압은 양수가 된다. 이 내용을 식으로 정리하면 아래와 같다.



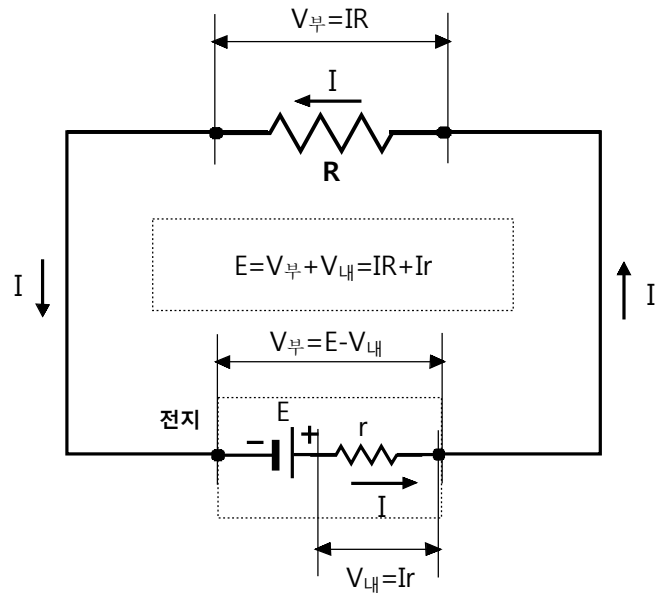
[그림 32]

$$-E+V_{부}+V_{내}=0 \text{-----(2)}$$

$$E=V_{부}+V_{내} \text{-----(3)}$$

$$E = V_{부} + V_{내} = IR + Ir \text{ -----(4)}$$

여기에서 $V_{부}$ 는 부하저항에서의 전압강하를 의미하고, $V_{내}$ 는 전지의 내부 저항에서의 전압강하를 의미한다. 이를 전기회로로 나타내면 [그림 33]과 같이 표현한다. 그리고 옴의 법칙에 의하여 부하저항 R 에서의 전압강하는 $V_{부} = IR$ 이고, 전지의 내부저항에서의 전압강하는 $V_{내} = Ir$ 이므로 식(3)는 식(4)으로 표현할 수 있다.



[그림 33]

⑤ [그림 33]는 내부저항 r 이 있는 실제의 전지에 외부저항 R 이 연결된 경우에 전기회로를 분석한 그림이다.

2. 부하저항과 내부저항을 구하는 계산식

① 전지에 연결된 전기회로가 열려 있을 경우에는 내부저항 r 에 전류가 흐

르지 않아 내부저항에 의한 전압강하가 없으므로 전지의 양단전압은 기전력과 같다. 그러나 전지가 닫힌 전기회로에 연결되어 있을 경우에는 내부저항 r 에 전류가 흐르면서 내부저항에 의한 전압강하 $V_{내}$ 가 생긴다. 즉

$$V_{내} = Ir \quad \text{-----}(5)$$

② 전지의 양단전압은 내부저항에 의하여 강하된 전압만큼 기전력보다 적은 전압을 전기회로에 공급하게 된다. 전기회로에 전류가 흐르는 상태에서 전지의 양단전압을 단자전압 V 이라고 하며, 이는 다음 식과 같이 표현된다.

$$V_{부} = E - V_{내} \quad \text{-----}(6)$$

또한 이것은 외부저항에 의하여 강하되는 전압과 같다.

$$V_{부} = IR \quad \text{-----}(7)$$

이때 부하저항 R 은

$$R = \frac{V_{부}}{I} \quad \text{-----}(8)$$

로 표현된다.

즉 부하저항 R 은 단자전압 $V_{부}$ 를 전류 I 로 나누면 구할 수 있다.

따라서 내부저항 r 에 의한 전압강하 $V_{내}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{내} = E - V_{부} \quad \text{-----}(9)$$

$$Ir = E - V_{부} \text{ -----(10)}$$

이때 내부저항 r 은

$$r = \frac{E - V_{부}}{I} \text{ -----(11)}$$

로 표현된다.

즉 내부저항 r 은 기전력에서 단자전압을 뺀 양인 $(E - V_{부})$ 을 전류 I 로 나누면 구할 수 있다.

③ 또한 저항은 직렬연결하면 증가하게 되고 병렬연결하면 감소하게 된다.

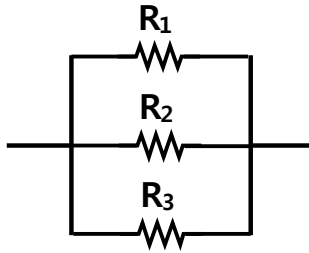
저항의 직렬연결을 살펴보면, 전체저항을 R 이라고 하고 부분저항을 R_1, R_2, R_3 이라고 할 때 저항을 직렬연결하면 아래의 식과 같이 전체저항은 부분저항의 합과 같게 된다.



[그림 34]

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \text{ -----(12)}$$

저항의 병렬연결을 살펴보면, 전체저항을 R 이라고 하고 부분저항을 R_1, R_2, R_3 이라고 할 때 저항을 병렬연결하면 아래의 식과 같이 전체저항 R 의 역수는 부분저항들의 역수의 합과 같게 된다.



[그림 35]

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{-----(13)}$$

3. 자료변환과 자료해석

① 앞에서 전구를 연결하여 전지를 직렬연결한 회로에서의 기전력, 단자전압, 전류값을 이용하여 아래에 표에 부하저항과 전지 1개의 평균 내부저항을 계산하여 기록합니다.

전지수	기전력	단자전압	측정전류	부하저항	전지 전체 내부저항	전지 1개 평균 내부저항
1						
2						
3						
4						
5						
6						

② 전구가 연결된 전지의 직렬회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 비교해 보세요.

③ 앞에서 전구를 연결하여 전지를 병렬연결한 회로에서의 기전력, 단자전압, 전류값을 이용하여 아래에 표에 부하저항과 전지 1개의 평균 내부저항을 계산하여 기록합니다.

전지수	기전력	단자전압	측정전류	부하저항	전지 전체 내부저항	전지 1개 평균 내부저항
1						
2						
3						
4						
5						
6						

④ 전구가 연결된 전지의 병렬회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 비교해 보세요.

⑤ 전구가 연결된 모든 회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 아래 부등호로 나타내보세요.

부하저항 () 전지 1개의 내부저항

⑥ 전구가 연결된 회로는 항상 ()이 ()보다 큽니다. 이런 회로에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기는 어떨까요?

○ 전지의 개수가 증가할수록 전류의 증가량이 감소하는 이유를 파악할 수 있는 보충자료


※ 내부저항이 없는 전지를 직렬연결한 전기회로의 전류계산값

기전력(V)	총저항(Ω)	부하저항(Ω)	전류(A)	전류증가량(A)	전류증가비율(%)
1.5	40	40	0.038		
3.0	40	40	0.075	0.038	100.0
4.5	40	40	0.113	0.038	100.0
6.0	40	40	0.150	0.038	100.0
7.5	40	40	0.188	0.038	100.0
9.0	40	40	0.225	0.038	100.0

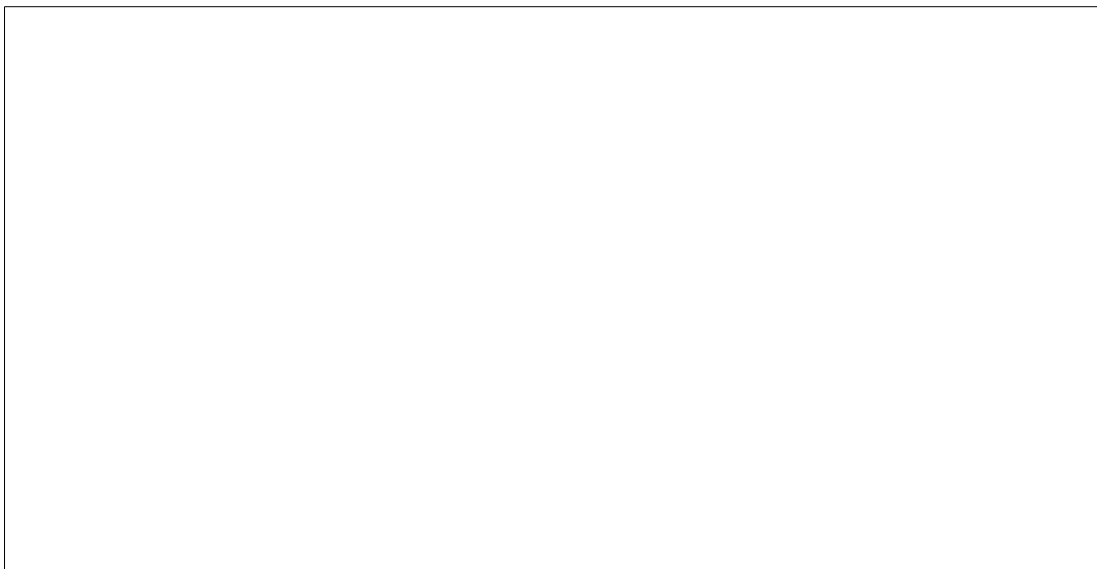
※ 내부저항이 있는 전지를 직렬연결한 전기회로의 전류계산값

기전력(V)	부하저항(Ω)	내부저항(Ω)	총저항(Ω)	전류(A)	전류증가량(A)	전류증가비율(%)
1.5	40	0.5	40.5	0.037		
3.0	40	1.0	41.0	0.073	0.036	97.6
4.5	40	1.5	41.5	0.108	0.035	95.2
6.0	40	2.0	42.0	0.143	0.034	92.9
7.5	40	2.5	42.5	0.176	0.034	90.8
9.0	40	3.0	43.0	0.209	0.033	88.6

- 전지를 계속 직렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지를 아래에 기록한다. 그리고 엑셀파일에서 자동 작성된 전지의 기전력, 전류, 총저항, 부하저항, 전지 전체 내부저항의 값과 엑셀파일에 제시된 전지의 개수가 증가할수록 전류증가량이 감소하는 이유를 파악할 수 있는 보충자료를 보면서 그 이유도 기록한다.



- 전지를 계속 병렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지 아래에 기록한다. 그리고 엑셀파일에서 자동 작성된 전지의 기전력, 전류, 총저항, 부하저항, 전지 전체 내부저항의 값을 보면서 그 이유도 기록한다.



⑦ 앞에서 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 전지를 직렬연결한 회로에서의 기전력, 단자전압, 전류값을 이용하여 아래에 표에 부하저항과 전지 1개의 평균 내부저항을 계산하여 기록합니다.

전지수	기전력	단자전압	측정전류	부하저항	전지 전체 내부저항	전지 1개 평균 내부저항
1						
2						
3						
4						
5						
6						

⑧ 전구대신 50cm 길이의 전선이 연결된 전지의 직렬회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 비교해 보세요.

⑨ 앞에서 전구대신 50cm 길이의 전선을 연결하여 전지를 병렬연결한 회로에서의 기전력, 단자전압, 전류값을 이용하여 아래에 표에 부하저항과 전지 1개의 평균 내부저항을 계산하여 기록합니다.

전지수	기전력	단자전압	측정전류	부하저항	전지 전체 내부저항	전지 1개 평균 내부저항
1						
2						
3						
4						
5						
6						

⑩ 전구대신 50cm 길이의 전선이 연결된 전지의 병렬회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 비교해 보세요.

⑪ 전구 대신 50cm 길이의 전선이 연결된 모든 회로에서 부하저항과 전지 1개의 내부저항의 크기를 아래에 부등호로 나타내보세요.

부하저항 () 전지 1개의 내부저항

⑫ 전구 대신 50cm 길이의 전선이 연결된 회로는 항상 ()이 ()보다 큽니다. 이런 회로에서 전지의 직렬연결과 병렬연결시 전류의 크기는 어떨까요?

- 전지를 계속 직렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지 아래에 기록한다. 그리고 엑셀파일에서 자동 작성된 전지의 기전력, 전류, 총저항, 부하저항, 전지 전체 내부저항의 값을 보면서 그 이유도 기록한다.

- 전지를 계속 병렬연결하면 전류의 크기는 어떻게 되는지를 아래에 기록한다.
그리고 엑셀파일에서 자동 작성된 전지의 기전력, 전류, 총저항, 부하저항, 전지
전체 내부저항의 값을 보면서 그 이유도 기록한다.



(개인별 예상 기록지 제공)

⑬ 전구가 연결된 회로와 전구 대신 50cm 길이의 전선이 연결된 회로의 전류의 크기와 나침반 자침의 회전각도를 비교해보세요.

⑭ 전구가 연결된 회로와 전선이 연결된 회로의 전류의 크기가 차이가 난다면 그 이유는 무엇인지 앞에서 계산된 부하저항을 보면서 아래에 기록해주세요.

⑮ 지금까지 전선 주위의 자기장을 확인하는 나침반 실험이 잘 되지 않는 이유는 무엇이었을까요?

■ 나침반 자침 각도 조정 자료

전구를 연결하지 않고, 기전력이 1.5 V로 비슷한 건전지 6개를 전기회로에 하나씩 추가로 연결하며 자기장 센서가 있는 디지털 나침반으로 측정한 전류와 나침반 변화 각도는 아래의 표와 같다.

표의 내용을 살펴보면, 전지의 직렬연결에서는 전류의 크기는 약 3 A 정도의 크기에서 비슷한 값을 나타내고 있고, 나침반 자침의 변화 각도도 약 40°의 크기에서 비슷한 크기를 보이고 있다. 전지의 병렬연결에서는 전류의 크기가 2.7 A에서부터 9.3 A까지 증가하고 있고, 나침반 자침의 변화 각도도 36°에서 77°까지 증가하고 있다.

전지연결 방법	직렬연결		병렬연결	
	전류(A)	나침반 자침 변화 각도(°)	전류(A)	나침반 자침 변화 각도(°)
1	2.7	36	2.7	36
2	3.2	42	4.5	50
3	3.4	45	6.0	63
4	3.6	45	7.5	71
5	3.7	46	8.7	74
6	3.7	46	9.3	77

이렇게 자기장 센서가 있는 디지털 나침반의 각도 변화는 90°를 넘지 않는다. 그런데 프로그램에서 사용하는 일반적인 나침반에서는 각도가 100°를 넘기도 한다. 그 이유는 실제 초등학교에서 사용하고 있는 일반적인 나침반에서는 나침반 고유의 기계적 특성으로 큰 전류로 인해 나침반 자침에 강한 힘이 작용하기 때문이다. 즉, 나침반 바늘이 회전관성으로 인하여 전선에 흐르는 전류로 형성된 자기장에 의한 회전력과 지구자기장에 의한 회전력이 평형이 되는 각도에서 멈추지 않고 계속 회전하여 나침반의 각도 변화가 90°이상이 측정되는 현상이 나타나게 되는 것이다. 그러나 실제 자기장만을 측정하는 디지털 나침반을 사용하면 위의 표와 같이 9 A 정도의 큰 전류가 흐르더라도 나침반 자침의 변화각도는 90°를 넘지 않는다.

감사의 글

먼저 지금의 결실을 맺도록 도와주신 모든 분들에게 진심으로 감사드립니다.

여기까지 올 수 있도록 항상 따뜻하고 세심하게 논문을 지도해주시고 참다운 스승의 모습을 보여주신 신애경 지도교수님께 진심으로 감사의 인사를 드립니다. 그리고 항상 용기를 주시며 논문을 쓸 수 있도록 방향을 잡아주신 현동걸 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 이 논문이 기본 틀을 잡아주시고 좀 더 나은 논문이 되도록 세심하게 지도해주신 박상우 교수님, 김두철 교수님, 강동식 교수님께도 감사의 인사를 드립니다.

바쁜 학교생활 속에서도 논문에 대해 같이 의논하고 고민해준 문미희, 김은영, 이명수, 변문희, 김승현, 김덕호, 김석주 선생님께 감사드립니다. 또한 바쁘신 시간 중에서도 흔쾌히 프로그램에 참여해주시고 열심히 활동을 해주신 많은 선생님들께 진심으로 감사드립니다. 박사과정의 어려운 여정에서 힘들어할 때, 옆에서 응원해주고 힘이 되어준 양문창, 허기용, 김남용, 강성기, 홍자영 선생님에게도 감사드립니다. 그 외에 일일이 열거하지는 못하였지만 내 일처럼 같이 걱정해주고 도와주신 많은 분들께 진심으로 감사드립니다.

항상 자식들을 위해 애써주시는 고마우신 아버지와 어머니, 항상 우리 가족을 생각해주시는 장인어른, 장모님, 사랑하는 동생, 나머지 가족들과도 이 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.

아빠를 응원하고 자랑스러워하는 아들 성현이와 딸 효빈이, 쉽지 않았던 학업의 과정에서 어렵고 힘들 때마다 따뜻하게 격려해주고, 믿어주었던 아내 은실과 이 기쁨을 함께 하고 싶습니다. 감사합니다. 그리고 사랑합니다.

2012 년 8 월

강 민 석