

초등교사들의 전지 이해도 및 오개념 분석

최은정 · 흥석인*

경인교육대학교 과학교육과, 인천 407-753

이강영

한국과학기술원 물리학과, 대전 305-701

(2006년 6월 12일 받음, 최종본 2006년 9월 8일 받음)

본 논문의 목적은 초등교사들의 전지에 대한 이해도를 알아보고, 이와 관련된 오개념을 조사하는 것이다. 기존의 전기 이해도 조사에서는 전지를 기전력 원으로만 간주하였는데 이 모형으로는 많은 실험결과를 올바르게 설명할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 기전력 원과 내부저항이 직렬 연결된 정확한 모형을 채택하였다. 초등학교 과학 교과서 분석을 통하여 전지와 관련된 필수적인 개념들을 추출하고 이를 바탕으로 15 문항의 선택후 설명식 검사도구를 개발하였다. 인천 S 초등학교 교사 37명을 대상으로 검사도구의 신뢰도 및 변별도, 전지에 대한 이해도와 오개념을 조사한 결과는 다음과 같다: 첫째, 신뢰도의 측정방법으로서 Cronbach α 는 선다형과 서술형 검사에 대하여 각각 0.65 와 0.75 가 얻어졌다. 문항 변별도는 연구 대상자들의 총점과 그 문항 점수간의 Pearson 상관계수에 의하여 평가하였다. 선다형 및 서술형 검사도구의 평균 상관계수는 각각 0.42 와 0.46 으로 변별력이 높은 것으로 파악되었다. 둘째, 전체 문항에 대한 선다형 (서술형) 평균 점수는 15 점 만점에 6.16 (2.89) 점이 얻어져 정답률은 41.1% (19.3%)로 나타났다. 선다형 응답의 이유를 통하여 오개념을 분석한 결과, 전지들의 역병렬 연결과 역직렬 연결에서 거꾸로 연결된 전지로는 전류가 흐르지 않는다는 오개념과 음의 법칙의 적용 실수가 가장 높은 비중을 차지하였다. 셋째, 집단 변인인 성, 학력, 교직 경력, 고등학교 출신계열(문과, 이과), 고등학교에서 물리 수강여부, 대학교 출신학과, 과학교과 흥미도에 따라 전지 이해도에 차이가 있는지 ANOVA를 사용하여 검정한 결과, 선다형의 경우는 과학교과 흥미도에 대해서만 1% 수준에서 유의미한 차이가 있었고 서술형의 경우는 과학교과 흥미도에서 1% 수준의 유의차가 나타났을 뿐만 아니라 교직 경력과 고등학교 출신계열에서도 5% 수준의 유의차가 발견되었다. 제언으로서, 초등교사들의 오개념은 예비교사 교육과정에서 전지에 대한 깊이 있는 지식이 다루어지지 않기 때문이므로 초등학교 전기 관련 실험의 정확한 이해를 위하여 예비·현직 교사들의 흥미를 유발할 수 있는 전지 교육 프로그램의 개발이 절실히 요구된다.

PACS numbers: 01.40.Fk, 01.55.+b, 07.50.Ek, 82.47.Cb

Keywords: 물리교육, 전지, 전기회로, 오개념

I. 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

건전지는 초등학교 과학교과서 전기관련 실험에서 전원으로 항상 사용된다. 보통 건전지들은 같은 방향으로 직렬 또는 병렬 연결되어 사용되지만 때로는 반대 방향을 향하는 것이 포함되는 경우(역직렬, 역병렬 연결)

도 있다. 또한 아동들은 교과서에서 주어진 연결뿐만 아니라 보다 복잡하고 다양한 연결을 임의로 구성할 수도 있다. 초등과학에서 전전지의 폭넓은 사용에도 불구하고 교육대학교 교육과정 또는 초등학교 교사용 지도서에서 전지에 대한 교육은 충분히 이루어지지 않고 있다. Saslow [1] 등을 제외하고는 보통 물리학 교재에서 전지는 본문의 내용으로 자세히 다루어지지 않으며 보통 연습문제로서만 약간 나타난다 [2-4]. 이와 같은 부족한 전지 교육은 초등교사들의 전기회로에 대한 이해에 부정적인 영향을 미치고 있다.

*E-mail: sihong@gin.ac.kr

전지는 기전력원과 내부저항이 직렬 연결된 것으로 모형화할 수 있다. 물리교육에서 전지의 연구는 두 가지 방향, 즉 내용학적인 측면과 교육학적인 측면에서 고려할 수 있다. 먼저 내용학적인 연구로서 Hinrichsen [5]은 인터페이스와 센서를 사용하여 실험적으로 전지의 기전력, 내부저항, 전력 등을 연구하였고, 홍석인 등 [6]은 회로 속의 전지들의 연결에서 각 전지의 역할을 전력의 관점에서 상세하게 분류하였다.

한편, 교육학적인 연구에서 전지의 올바른 모형을 사용한 전기개념 조사연구는 물리교육 문헌에서 좀처럼 발견되지 않는다. 직류 전기회로에 관한 기존의 조사 연구들은 전지, 전구, 저항으로 이루어진 회로들을 다루는데 전지를 내부저항이 없는 이상적인 기전력원으로 취급한다 [7]. 이 경우 초등과학실험에서 관찰되는 많은 현상들을 설명할 수 없다는 심각한 문제를 유발한다. 따라서 본 논문에서는 전지의 올바른 모형을 채택한 검사도구를 제작하여 초등교사들의 전지 이해도를 심도있게 조사하고자 한다. 본 연구의 결과는 초등교사와 교육대학생들을 위한 전기 및 전지 교육 프로그램을 개발하고자 할 때에 참고자료로 사용될 수 있을 것이다.

2. 연구 문제

초등교사들이 전지에 대하여 올바른 지식을 가지고 있을 때에 전기회로를 충분히 이해할 수 있고 자신감을 가지고 아동들을 지도할 수 있을 것이다. 이에 본 논문에서는 초등교사들의 전지에 대한 이해도를 조사하기 위하여 올바른 전지 모형을 채택하고 다음과 같은 연구문제를 설정하였다.

- 초등교사들의 전지에 대한 이해도를 적절히 측정 할 수 있는 검사도구를 개발할 수 있는가?
- 초등교사들이 전지에 대하여 가지고 있는 오개념 들은 무엇인가?
- 초등교사들의 다양한 집단변인들에 대하여 각각 구성 집단간에 전지 이해도의 차이가 있는가?

3. 연구의 제한점

본 연구의 대상은 인천 S 초등학교 교사들로 한정되어 있으므로 연구 결과를 일반화하기에는 어려움이 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 전지 이해도를 측정하기 위한 검사도구를 개발하여 인천 S 초등학교에 재직 중인 초등교사 52 명에게 투입하였다. 검사도구가 이유서술을 요구하는 선다형 문항임을 고려하여, 선다형 응답을 하지 않은 문항이 있거나 선다형 답의 선택 이유를 전혀 서술하지 않은 경우에는, 불성실 응답자로 간주하여 연구 대상에서 제외하였다. 그 결과, 이해도 조사 및 오개념 분석을 위하여 실제로 선택된 연구 대상은 남자 교사 15 명과 여자 교사 22 명으로 총 37 명의 초등교사이다.

2. 연구 절차

먼저 초등학교 과학 교과서 및 교사용 지도서, 전지에 관한 선행 연구 및 대학교 물리학 교재를 분석·검토하여 이유서술을 요구하는 15 문항의 선다형 검사도구를 작성하였다. 그리고 물리학 및 물리교육 전문가가 문항을 수정·보완하고 내용 타당도를 점검하였다. 예비조사로서, 과학교육을 전공하였고 인천 S 초등학교 교사가 아닌 타 초등학교 교사 11 명에게 검사도구를 투입하였다. 검사도구의 신뢰도, 문항별 변별도와 평균 점수를 고려하여 문항을 재수정 또는 삭제·추가하였다. 완성된 검사도구를 인천 S 초등학교 교사 52 명에게 투입하였고 불성실 응답자를 제외한 37 명을 분석대상으로 확정하고 선다형 및 서술형 응답의 채점 결과를 통계처리 하였다. 여기에서 서술형 응답이란 선다형 응답과 그에 대한 이유서술을 의미한다. 선다형 정답에 대한 이유서술이 맞을 경우에 한하여 서술형 정답으로 간주하였다. 또한 선다형 응답의 이유서술을 근거로 초등교사들이 전지에 대하여 가지고 있는 오개념을 추출하였다.

3. 검사 도구

초등교사들의 전지에 대한 이해도를 조사하기 위한 검사도구는 전지 기초, 전지 연결, 전기 일반의 3 가지 영역으로 구성되었다. 전지 기초 영역은 전지의 기전력과 내부저항의 변화(문항 4), 병렬연결된 전구의 밝기에 대한 전지 내부저항의 효과(문항 6), 단자전압에 관련된 기본적인 지식을 묻는 문항들(문항 7, 8, 9)로 구성하였고, 전지 연결 영역에서는 초등학교 과학 교과서에서 다루

어지고 있는 전지들의 직렬 또는 역직렬, 병렬 또는 역병렬 연결에서 등가전지(등가 기전력과 등가 내부저항) [8]에 관한 내용(문항 2, 3, 5, 10, 12, 13, 14, 15)과 이러한 연결에서 전지의 역할(전력 공급 및 소비, 방전 및 충전)에 관한 내용(문항 5)을 취급하였다. 전기 일반 영역은 전지를 전원으로 사용하지만 전지 고유의 문제는 아닌 경우로서 직렬연결된 전구의 밝기에 관한 문항(문항 1)과 전지의 병렬연결을 식별하는 문항(문항 11)으로 구성하였다. 검사도구의 구체적인 내용은 부록에 제시하였는데 편의상 각 문항에서 ‘답을 선택한 이유’를 쓰는 란은 생략하였다. 검사시간은 선다형 응답의 이유서술을 위하여 60 분으로 하였다.

4. 분석 방법

먼저 초등교사들의 전지 이해도를 파악하기 위하여 선다형 및 서술형 응답에 대하여 각 문항별 및 검사도구 전체의 정답률(곤란도)을 계산하였다. 검사도구의 신뢰도는 SPSS WIN 11.0 을 사용하여 Cronbach의 α 값으로 산출하였으며, 문항별 변별도는 연구 대상자들의 총점과 그 문항 점수간의 Pearson 상관계수로 해석하였다 [9]. 그리고 선다형 응답에 대한 이유를 분석하여 초등교사들의 오개념을 파악하였다. 또한 연구대상자들의 집단변인[성, 학력, 교직 경력, 고등학교 출신 계열(문과, 이과), 고등학교에서 물리과목 수강여부, 대학교 출신학과, 과학 교과에 대한 흥미 정도]별로 구성집단들의 선다형 및 서술형 평균 점수에 통계적 차이가 있는지 알아보기 위하여 변량분석(ANOVA)을 사용하였다. 본 논문에서 선다형과 서술형의 결과를 함께 제시하고자 할 경우에는 서술형의 결과를 괄호 () 안에 표기할 것이다.

III. 검사도구의 정답률, 신뢰도, 변별도

불성실 응답자를 제외한 인천 S 초등학교 교사 37 명을 대상으로 전체 문항에 대한 선다형(서술형) 평균 점수를 구한 결과 15 점 만점에 6.16(2.89) 점이 얻어져 정답률은 41.1%(19.3%)로 나타났다. Fig. 1 (a)와 1 (b)는 각각 선다형과 서술형에 대한 교사들의 점수분포를 보여준다. 각 문항별 선다형 응답률이 제시된 Table 1 에서 각 문항에 대한 네 개의 보기 [또는 선택지(alternatives)] 중 응답률이 진한 숫자로 표시된 보기는 정답을 의미한다. Table 1 에서 괄호 안의 내용은 서술형에 대한 결과이다. 예를 들어, 선다형 정답률 바로 옆 괄호 안의 수치

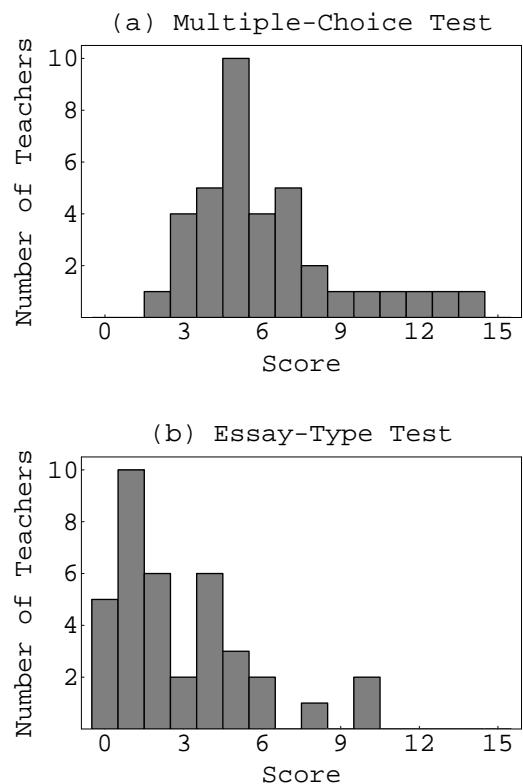


Fig. 1. Score distributions for (a) multiple-choice test and (b) essay-type test. The mean multiple-choice (essay-type) score is 6.16 (2.89) points out of a possible 15 points.

는 서술형 정답률을 의미한다. 이유서술까지 고려하여 채점할 경우 선다형 답이 맞았다 할지라도 비과학적인 이유서술을 하거나 이유를 쓰지 않은 교사들이 상당수 있으므로 정답률이 훨씬 낮아짐을 알 수 있다. 그러나 서술형 정답률이 선다형 정답률보다 더 정확하게 전지 이해도를 측정하므로 더 중요시 되어야 할 것이다.

선다형과 서술형 응답 결과를 사용하여 검사도구의 신뢰도를 검증한 결과 Cronbach α 는 각각 0.65 와 0.75로서 전지 이해도를 측정하기에 무난한 것으로 판명되었다. Table 1 의 Correlation 항목에는 각 문항별로 변별도 평가를 위하여 수행된, 연구 대상자들의 총점과 그 문항 점수간의 Pearson 상관계수를 제시하였다. 상관계수가 0.40 이상이면 변별력이 높은 문항, 0.30~0.39 이면 변별력이 있는 문항, 0.20~0.29 이면 변별력이 낮은 문항, 0.20 미만이면 변별력이 매우 낮거나 변별력이 없는 문항으로 판정한다 [9]. 이에 따른 각 문항별 변별도 판정 결과는 Table 1 의 Discrimination 항목에 정리하였다. 여기에서 H, M, L, N 은 각각 변별도가 높음, 보통, 낮음, 없음(매우 낮음)을 의미한다. 선다형에서 9 개 문

Table 1. Percentages picking 4 alternatives, correlation, and discrimination for each question. The alternative of which percentage is written in boldface indicates the correct answer. The contents in parentheses in this table are the results for essay-type test, the counterparts of the multiple-choice results. For example, the number in the parenthesis next to the percentage of correct multiple-choice answer is that of correct essay-type answer. Here the ‘Correlation’ means the Pearson correlation coefficient(PCC) between total scores and the item scores of the teacher sample through which the item discrimination is assessed. An item (question) is highly discriminating (H) if PCC ≥ 0.40 , moderately discriminating (M) if PCC is 0.30 ~ 0.39, low discriminating (L) if PCC is 0.20 ~ 0.29, and poorly or non-discriminating (N) if PCC < 0.20 [9]. In the ‘Discrimination’ given is the item discrimination according to this criterion. The mean correlation coefficients for multiple-choice test and essay-type test are 0.42 and 0.46 respectively, indicating the questionnaire is highly discriminating.

Question	Alternatives [%]				Correlation	Discrimination
	①	②	③	④		
1	8.1	5.4	67.6(48.6)	18.9	0.18(0.37)	N(M)
2	13.5	45.9	5.4	35.1(21.6)	0.53(0.55)	H(H)
3	10.8	32.4(13.5)	43.2	13.5	0.50(0.20)	H(L)
4	29.7	27.0(24.3)	43.2	0	0.24(0.65)	L(H)
5	8.1	2.7	13.5	75.7(29.7)	0.37(0.62)	M(H)
6	67.6(24.3)	10.8	0	21.6	0.25(0.73)	L(H)
7	21.6(8.1)	24.3	40.5	13.5	0.51(0.66)	H(H)
8	54.1	2.7	43.2(10.8)	0	0.38(0.42)	M(H)
9	45.9	24.3(2.7)	27.0	2.7	0.59(0.46)	H(H)
10	21.6	54.1	18.9(2.7)	5.4	0.46(0.46)	H(H)
11	13.5	16.2	62.2(45.9)	8.1	0.56(0.56)	H(H)
12	24.3(10.8)	32.4	35.1	8.1	0.61(0.52)	H(H)
13	29.7(13.5)	29.7	24.3	16.2	0.15(0.05)	N(N)
14	2.7	18.9	48.6(32.4)	29.7	0.44(0.70)	H(H)
15	8.1(0)	29.7	48.6	13.5	0.55(0.00)	H(N)

항(2, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 15)과 서술형에서 11 개 문항(2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14)이 변별력이 높은 것으로 파악되었다. 선다형과 서술형 검사도구의 평균 상관계수는 각각 0.42 와 0.46 이 얻어져 검사도구의 변별도가 높은 것으로 나타났다.

선다형에서 서술형으로 이동할 때에 각 문항의 상관계수의 변화를 관찰하면 변별력이 대부분 향상되는 자연스러운 경향을 볼 수 있다. 이는 과학적 개념을 가지고 있지 않은 선다형 정답자는 서술형 정답자가 되기 어렵기 때문이다. Table 1 을 보면 상관계수와 4 단계로 구분된 변별도가 각각 10 개 문항과 13 개 문항에서 상승하거나 동일한 수준을 유지하였음을 알 수 있다. 반면, 문항 3 과 15 는 오히려 변별도가 낮아졌고 문항 13 은 선다형과 서술형 모두 변별력이 없었다.

문항 15 는 전지의 기전력과 내부저항을 고려하여 전구가 소모하는 전력 값을 정량적으로 비교해야 하는 문항이다. 그러나 대부분의 교사들이 전력 값을 계산하기보다는 ‘(단일 전지의 경우와 비교하였을 때에) 전지가 직렬 연결되면 전구가 더 밝아지고, 병렬 연결되면 밝기의 변화가 없다’라는 이미 알고 있는 부정확한 사실을 바탕으로 답을 선택하였기 때문에 정답률이 매우 낮게 나

타났다. 그럼에도 불구하고 선다형 정답자들이 선다형 상위집단에 소속되어 있어서 선다형 변별도는 높게 나타났다. 그러나 서술형의 경우에는 정답자가 없어서 변별력이 전혀 없었다. 문항 3 은 선다형 변별도는 높으나 서술형 변별도는 낮았다. 이는 서술형 정답자들이 주로 서술형 중하위집단에 속하기 때문으로 확인되었다. 문항 13 은 선다형의 경우 모든 집단에서 골고루 정답자가 나온 반면 서술형의 경우는 정답자가 모두 중위집단에 속함으로써 두 경우 모두 변별도가 매우 낮게 나타났다. 즉, 문항 3 과 13 에서는 서술형 상위집단에서 서술형 정답자가 거의 또는 전혀 나오지 않았다. 문항 3, 13 은 역병렬 연결에서 서로 상반되는 상황을 문제로 제시하고 있다. 동일한 두 전지를 역병렬 연결할 경우, 등가기전력이 0 이 되므로 전구에 불이 들어오지 않는다. 문항 13 은 이러한 특수한 상황을 묻는 문항이었고, 문항 3 의 경우는 내부저항의 큰 차이로 인해 역병렬 연결임에도 불구하고 전구에 불이 들어오는 상황을 가정한 문항이었으나, 많은 교사들이 이 두 문항의 상황을 같은 것으로 생각하여 혼란을 느꼈던 것으로 판단된다 (IV절의 문항 3, 13 의 분석 참조).

IV. 오개념 분석

교사들의 선다형 응답에 대한 이유서술은 과학적 개념(scientific conception; SC), 오개념(misconception; MC), 기타(irrelevant response; IR), 무응답(no response; NR)으로 분류할 수 있다. 기타에는 진위에 관계없이 문제의 본질을 벗어나는 응답들이 포함된다. 이 절에서는 교사들이 가지고 있는 오개념에 초점을 맞추기로 한다. 아래 각 문항 분석에서 나타나는 각 오개념들의 비율은 그 문항의 전체 이유서술(SC, MC, IR, NR)에 대한 비율이다. 각 문항별로 이유서술에서 차지하는 비율이 높은 오개념들을 순서대로 몇 개 제시한다. 응답자가 한 명(2.7%)인 다양한 소수 오개념들이 나타났는데 이러한 경우는 특히 주목할만한 오개념만 제시한다. 덧붙여, 선다형 정답을 택한 서술형 오답자들의 이유서술이 전원 무응답(NR)이 아닌 경우인 문항 1, 2, 3, 5, 6, 8, 12에 대하여 그들의 오개념을 언급하고 그 원인을 분석한다.

1. 문항 1 의 분석

두 꼬마전구가 직렬로 연결되어 있으므로 두 전구에는 같은 양의 전류가 흐른다. 그러므로 두 전구의 밝기를 결정하는 전력은 전구의 저항에 의해 결정된다. 보기 2 번이 오답인 이유는 전지가 너무 오래되면 회로에 흐르는 전류가 매우 작으므로 전구 한 개에만 불이 들어올 수는 없고 두 전구 모두 불이 들어오지 않는다.

- MC 1a (10.8%): 불이 들어오지 않은 전구는 저항이 커서 전류가 적게 흐른다.
- MC 1b (5.4%): 불이 들어온 전구가 전류를 소모하여 두 번째 전구에는 불이 들어오지 않는다.
- MC 1c (2.7%): 같은 양의 전류가 흐르므로 한 전구에만 불이 들어 올 수 없다.

이러한 오개념들로부터 교사들은 전류가 전구의 밝기를 결정한다고 생각하고 있음을 알 수 있다. MC 1a 는 음의 법칙 [10]을 일부만 적용하여 틀린 결과를 도출한 경우이다; 저항이 큰 전구는 전압도 크게 걸리므로 직렬 연결된 두 전구의 전류는 일정하다. 또한 MC 1b 와 같이 전류가 소모된다는 오개념도 나타났는데, 이러한 오개념은 학생 [7,11] 또는 교사 [12,13]를 대상으로 조사한 연구에서 흔히 보고되고 있다. MC 1c 에서는 전구의 밝기를 결정하는 전력이 전류뿐만 아니라 전구의 저항과 관련이 있다는 사실을 간과하고 있다.

전체 연구대상자에 대하여 선다형 정답을 택한 서술형 오답자 비율은 Table 1 으로부터 선다형 정답자 비율에서 서술형 정답자 비율을 빼면 구할 수 있다. 문항 1의 경우는 18.9%로 7 명에 해당된다. 이들 중 무응답(5 명)과 기타 응답(1 명)을 제외하면 나머지 한 명(2.7%)의 교사가 오개념 MC 1b 를 가지고 있었다. 불이 들어온 전구는 저항이 훨씬 큰 전구이므로 불이 들어오지 않은 전구보다 전력소모가 훨씬 많다. 이 교사는 전력에 대한 지식이 부족하여 전력 소모를 전류 소모로 표현한 것으로 보인다.

2. 문항 2 의 분석

전지 두 개를 직렬 연결하였을 때, 꼬마전구의 불빛이 전지가 한 개일 때보다 어두워질 수 있는 경우를 찾는 문제이다. 초등과학실험에서 실제로 발생할 수 있는 상황들을 보기로 제시하고 있다. 전지를 직렬로 연결한 경우, 전지의 기전력뿐만 아니라 내부저항도 직렬로 연결된다. 그러므로 오래되어 내부저항이 아주 큰 전지를 다른 전지와 직렬 연결하면 기전력의 증가보다 내부저항의 증가가 더 큰 영향을 미쳐서 꼬마전구가 어두워질 수 있다.

- MC 2a (29.7%): 전지를 같은 극끼리 마주보게 연결하면 전류가 흐르지 않아 불이 들어올 수 없다.
- MC 2b (21.6%): 오래된 전지는 저항으로(만) 작용하였다.

많은 교사들(45.9%)이 보기 2 번에 응답하였고 MC 2a 와 같은 이유를 들었다. 즉, 전지의 역직렬 연결은 다이오드의 역직렬 연결과 같이 전류가 흐르는 것이 불가능한 연결이라는 관점이다. 그러나 이 관점은 전구에 불이 들어온다는 문제의 가정을 위반하므로 논리성이 결여되는 측면이 있다. MC 2a 에 대한 다른 원인으로는 공칭전압(nominal voltage)이 같은 두 전지를 기전력(EMF)이 같은 것으로 혼동하였을 가능성이 있다. 공칭전압은 전지의 방전곡선에서 가장 오래 유지되는 전압을 의미한다. 공칭전압이 1.5 V 인 새 건전지를 구입하여 기전력을 측정하면 1.5 V 보다 큰 값(약 1.7 V)이 얻어지며 전지마다 값이 다르다. 문제에서는 꼬마전구에 불이 들어왔다고 가정하였으므로 두 전지를 역직렬 연결하였다면 두 전지의 기전력은 서로 상당히 차이 날 것이다. 공칭전압이 모두 1.5 V 인 새 전지와 충분히 방전된 현 전지를 직렬 또는 역직렬 연결하면 꼬마전구의 밝기가 더 어

두워지는 것을 관찰할 수 있다. MC 2b 에는 오래된 전자는 기전력을 상실한다는 의미가 내포되어 있으므로 엄밀한 의미에서는 옳지 않다.

이 문항에 대하여 선다형 정답을 택한 서술형 오답자는 13.5%(5 명)로 무응답(3 명)과 기타(1 명)를 제외한 나머지 한 명이 오개념 MC 2a 를 가지고 있었다. 정답인 보기 4 번을 택한 이유서술로서, 전자를 마주보게 연결하면 항상 전류가 흐르지 않아 불이 들어오지 않는다고 생각하여 전지를 직렬연결하여도 전구가 항상 더 밝아지는 것은 아니라는 논리를 구사한 것으로 보인다.

3. 문항 3 의 분석

병렬 연결된 전자들의 등가 기전력은 내부저항의 역수를 가중치로 하는 기전력들의 평균값(기대값)이다. 두 전자의 내부저항이 크게 차이 나는 경우에 두 전자의 등가 기전력 · 등가 내부저항은 내부저항이 작은 전지의 기전력 · 내부저항과 비슷한 값을 가지므로 내부저항이 훨씬 큰 전자는 없는 것이나 다름이 없고 전구에 불이 들어오는 것이 가능하다.

43.2%의 교사가 보기 3 번 ‘거꾸로 연결된 전지는 회로에 영향을 주지 않는다’를 선택하였다. 그러나 두 전지를 역병렬 연결하였을 때 두 전지의 방향은 동등한 가치를 가지므로 한 전지는 전지로 역할을 하고 그 반대 방향으로 연결된 전지는 회로에 영향을 주지 않는다는 관점은 명백히 옳지 않다.

- MC 3a (21.6%): 거꾸로 연결된 전지로는 전류가 흐르지 않는다. 즉, 전지 하나를 연결한 것과 같으므로 전구에 불이 들어온다.
- MC 3b (18.9%): 두 개의 전지 중 한 개만 바르게 연결되면 불이 들어 올 수 있다.

MC 3a 와 MC 3b 는 모두 전지 연결에 올바른 방향이 있다는 오개념을 포함하고 있다. 전지의 연결 방향을 반대로 하면 내부저항은 변화가 없고 기전력의 부호만 바뀌게 된다. 따라서 문항 13 에서와 같이 동일한 두 전자가 역병렬 연결되었다면 전구에 불이 들어올 수 없다.

문항 3 의 경우 선다형 정답자이면서 서술형 오답자는 18.9%(7 명)로 이 중 6 명은 무응답이었으며 한 명이 오개념 MC 3b 를 가지고 있었다. 이 오개념은 보기 3 번이 정답이라면 더 자연스럽게 나올 수 있는 이유서술이다. MC 3b 가 정답인 보기 2 번에 대한 이유서술이라면 ‘바르게 연결’이라는 말을 전지의 방향성이 아니라 내부저항의 관점에서 보아야 할 것이다. 그러나 이러한 해석은 상당히 부자연스럽기 때문에 보기 2 번에 대한 이유서술이 논리적으로 이루어지지 않은 것 같다.

4. 문항 4 의 분석

전자를 오래 사용하면 기전력은 낮아지고 내부저항은 커진다. 기전력이 떨어지는 이유는 화학반응이 일정하여도 분극 등과 같은 현상이 나타나기 때문이다. 그러나 많은 교사들(43.2%)이 기전력은 일정하고 내부저항은 증가한다는 생각(보기 3 번)을 가지고 있었다. 이는 기전력이 (거의) 일정한 것으로 기술하고 있는 물리학 교재 [14]들이 있고 교사들이 전지의 공칭전압을 기전력으로 오해하였기 때문으로 보인다. MC 4a, MC 9a, MC 12b, MC 15b 에서 오개념이 아닌 부분은 대괄호 []로 표시하였다.

- MC 4a (27.0%): 전위차를 유지시켜주는 기전력은 일정하며 [내부저항의 증가로 인해 전전지를 사용할 수 없게 된다].
- MC 4b (2.7%): 기전력과 내부저항은 반비례한다.

5. 문항 5 의 분석

전기 회로에서 두 개 이상의 전지가 임의의 방식으로 연결되어 있을 때에 각 전지의 역할은 (a) 방전되면서 전력 공급, (b) 방전되면서 전력 소비, (c) 충전(이 경우는 항상 전력 소비)의 세 가지 경우가 있다 [5,6]. 두 전지가 같은 방향으로 직렬 연결된 회로에서는 전지의 기전력에 따르는 방향으로 전류가 흐르므로 충전은 일어나지 않고 두 전지가 모두 방전된다.

- MC 5a (21.6%): 전지끼리는 충전이 되지 않는다.
- MC 5b (5.4%): 새 전지가 오래된 전지를 충전시킨다.

새 전지의 단자전압은 양수이지만, 충분히 오래 사용한 전지의 단자전압은 매우 큰 내부저항으로 인하여 음수가 된다. 이러한 경우에 새 전지는 전력을 공급하고 헌 전지는 전력을 소비한다. 헌 전지의 단자전압이 음수이므로 두 전지의 직렬연결 양단의 전압이 새 전지 양단의 전압보다 작다.

MC 5a 와 같이 상당수의 교사들은 전지 간의 충전이 불가능한 것으로 잘못 알고 있다. 전지 연결에서 전지가 충전되기 위한 조건 [6]이 만족되면 2 차 전지는 방전과 충전 간의 가역반응에 의하여 충전이 원활히 이루어진다. 한편, 건전지(1 차 전지)는 화학반응이 비가역적이므로 엄밀한 의미에서의 충전은 이루어지지 않는다. 그러

나 충전조건이 만족되면, 전해액이 전기분해되고 염화물에서 염소가 발생해 일시적으로 염소전지가 구성되어 기전력이 높아지므로 에너지가 부활한다는 일상적 의미의 충전은 가능하다 [15].

이 문항에서 선다형 정답(보기 4 번)을 택한 서술형 오답자는 45.9%로 17 명에 이른다. 이들 중 10 명은 무응답자였고 7 명은 오개념 MC 5a 를 가지고 있었다. 오래된 전지가 충전되지 않는다는 시각은 전지들끼리 충전되는 것을 본 적이 없다는 논리로 이해된다. 이러한 경험은 또한 이 문항의 선다형 정답률(75.7%)이 매우 높은 원인으로 생각된다.

6. 문항 6 의 분석

전지에 두 전구를 병렬로 연결하여 전구 한 개의 밝기를 관찰해 보면 전지 내부저항의 효과로 인하여 전구 한 개만 연결했을 때 보다 어둡다. 단, 전류가 흐르면 전구의 저항이 크게 증가하므로 전지의 내부저항이 훨씬 작을 경우에는 그 효과가 전구의 밝기에 뚜렷이 나타나지 않을 수도 있다.

- MC 6a (13.5%): 전구를 병렬 연결하면 밝기의 변화는 없다.
- MC 6b (10.8%): 병렬 연결된 두 전구로 전류가 반으로 나뉘어져 흐른다.
- MC 6c (5.4%): 전구 두 개를 연결하면 저항이 커진다.
- MC 6d (2.7%): 전구를 병렬 연결하면 불의 밝기가 $1/2$ 로 어두워진다.

초등교사들은 이유서술에서 전지 내부저항의 효과를 고려하지 못한 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 선다형 정답률이 67.6%로 매우 높은 이유는 직관적으로 MC 6b, MC 6c, MC 6d 와 같은 방식으로 한 전지로 두 개의 전구를 껴니까 전구 (나) 또는 (다)가 전구 (가)보다 어둡다고 생각했기 때문으로 보인다. MC 6a 는 전지의 내부저항을 고려하지 않을 때 병렬연결된 각 전구에 걸리는 전압이 단일 전구의 경우와 동일하다는 사실을 사용한 것으로 보인다. 또한 MC 6c 로부터 저항의 크기를 연결방식에 관계없이 전구의 개수와 연결지어 생각하고 있음을 알 수 있다. 이러한 저항 중첩(resistive superposition) 오개념은 Engelhardt와 Beichner의 연구 [7]에서도 나타난다.

이 문항에서는 43.2%(16 명)의 교사들이 선다형 정답을 택한 서술형 오답자였다. 이들 중 7 명은 무응답(NR) 이었고 5 명은 물리적으로 의미없는 다양한 기타 응답(IR)을 하였다. 나머지 4 명은 오개념 MC 6b 를 나타내었는데, 전지가 일정한 전류의 원천 [7]이라는 다른 오개념이 전제된 상태에서 병렬 연결된 각 전구로 전류가 나뉘어지기 때문에 더 어둡다는 결론에 도달한 것으로 보인다.

7. 문항 7 의 분석

이 문항은 전류의 변화에 따른 전지 단자전압의 변화를 묻는 문제이다. MC 7a 와 같이 옴의 법칙을 적용하여 전류가 두 배가 되면 전압 즉 전위차도 두 배로 커질 것이라는 오개념이 가장 많았다. 그러나 전지는 단순 저항기가 아니라 내부저항과 기전력으로 구성되어 있으므로 옴의 법칙이 직접 적용되지 않는다. 즉, 전지 양단의 전위차인 단자전압은 기전력으로부터 내부저항에 의한 전압강하를 뺀 값이다. 기전력과 내부저항이 전지마다 다르므로 단자전압의 변화는 전지에 따라 다르다. 전지가 충전되는 경우 전지의 전류는 기전력에 반하는 방향으로 흐르므로 MC 7b 는 일반적으로 사실이 아니다.

- MC 7a (10.8%): 전위차와 전류는 정비례한다.
- MC 7b (8.1%): 전류가 증가하면 전압은 감소할 것이다.

8. 문항 8 의 분석

열린 회로에서는 전류가 흐르지 않으므로 전지의 단자전압은 전지의 기전력과 같다. 56.8%의 교사들이 6 A 의 전류가 흐른다는 선택을 하였는데 이는 열린 회로임을 인식하지 못하고 MC 8a 와 같이 주어진 값을 사용하여 옴의 법칙에 의해 전류 값을 계산했기 때문으로 보인다.

- MC 8a (16.2%): 옴의 법칙에 의해 $6V/1\Omega = 6A$.

이 문항에서 선다형 정답을 선택한 서술형 오답자는 32.4%로 12 명에 해당된다. 이 중 11 명은 무응답(NR) 이었고 나머지 한 명은 문제의 본질을 벗어난 기타 응답(IR)을 하였다.

엄밀하게 말하면, 이 문항의 회로도에서 전압계가 실제로 측정하는 단자전압은 기전력(6 V)과 약간의 차이

를 보일 것이다. 왜냐하면 전지와 전압계가 회로를 형성하기 때문에 전지에 미세한 전류가 흐르기 때문이다. 전지의 기전력은 단자전압 측정값들로부터 외삽에 의하여 추론할 수 있다.

9. 문항 9의 분석

닫힌 회로에서 전지에 흐르는 전류와 단자전압을 계산하는 문제이다. 70.2%의 교사들은 내부저항이 부하저항과 직렬연결된 것에 착안하여 회로에 흐르는 전류가 2 A라고 올바르게 선택하였다. 그러나 단자전압이 6 V라는 보기 1, 3 번을 택한 교사가 72.9%에 이르고 MC 9a와 같은 이유서술을 보면 초등교사들은 전지의 내부저항에 의하여 전압 강하가 일어난다는 사실까지는 잘 알지 못하였다. 이로 인하여 선다형(서술형) 정답률이 24.3%(2.7%)로 낮게 나타났다.

- MC 9a (10.8%): 전압은 일정하고 [전류는 옴의 법칙에 의하여 2 A이다].
- MC 9b (10.8%): 옴의 법칙의 잘못된 적용.

10. 문항 10의 분석

병렬연결된 두 전지의 등가 기전력은 내부저항의 역수를 가중치로 하는 기전력들의 기대값이므로 두 전지의 기전력 사이의 어떤 값을 갖게 된다. 특수한 경우로서 두 전지의 내부저항이 같다면 등가 기전력은 두 전지의 기전력의 중앙값을 갖는다. 그러나 54.1%의 교사들은 일반적인 경우에도 중앙값을 갖는 것으로 생각하여 보기 2 번을 선택하였다. 이 문항의 선다형(서술형) 정답률은 18.9%(2.7%)로 매우 낮았다.

- MC 10a (13.5%): 병렬연결이므로 중앙값을 갖는다.

전지의 내부저항을 무시할 경우, 전지들의 기전력이 다르다면, 병렬연결된 전지를 양단의 전압이 같아야 한다는 사실과 모순이 발생한다. 그러므로 전지의 내부저항은 병렬연결된 전지들의 단자전압과 등가 기전력을 결정하는데 매우 중요한 역할을 한다.

11. 문항 11의 분석

이 문항은 병렬연결의 의미를 이해하고 실제 회로에서 이를 식별할 수 있는가를 알아보는 문항이다. 62.2% (45.9%)의 높은 선다형(서술형) 정답률을 나타내었으나 많은 교사들이 논리적이 아니라 직관적으로 병렬연결을 이해하고 있는 것으로 보인다. 답을 선택한 이유로서 전류의 분기점에 대해 언급하기보다는 MC 11a 와 같이 단순히 자신이 선택한 답이 (병렬연결이 아닌) 직렬연결이라는 진술이 상당수 있었다. MC 11b 는 보기 2 번뿐만 아니라 보기 4 번에도 해당되는 내용으로 두 전지 간에 극들이 쌍쌍이 직접 전선으로 연결되어야 병렬연결인 것으로 생각하는 오개념이다.

- MC 11a (13.5%): 선택한 답(보기 1, 2, 4 번)은 직렬연결된 것이다.
- MC 11b (2.7%): 보기 2 번만 두 전지가 연결된 전선이 없다.

12. 문항 12의 분석

직렬연결된 세 전지 중에서 한 전지가 다른 두 전지와 반대방향으로 연결되어 있을 때에 전구의 밝기를 묻는 문제이다. 등가 기전력은 전지 한 개와 같지만 등가 내부저항은 전지 세 개에 해당하는 1.5Ω 이므로 전지 한 개를 연결했을 때보다 전구가 어두워진다.

- MC 12a (13.5%): 잘못된 연결이므로 불이 들어오지 않는다.
- MC 12b (13.5%): [마주보고 있는 두 전지의 기전력이 0이 되어] 전지 한 개를 연결했을 때와 같다.
- MC 12c (10.8%): 거꾸로 연결된 전지는 영향을 주지 않으며 전선과 같다.
- MC 12d (2.7%): 전지 세 개가 연결되어 있기 때문에 세 배 밝다.

이 문항의 경우 선다형 정답(보기 1 번)을 택한 서술형 오답자는 전체 연구대상자의 13.5%로 5 명에 해당된다. 이들 중 4 명은 무응답이었고 한 명은 오개념 MC 12a 를 가지고 있었다. 이 교사는 불이 들어온다는 문제의 가정에 모순되게 불이 들어오지 않는다는 이유서술을 하였는데 이는 MC 2a(직렬), MC 3a(병렬)와 유사하게 역방향으로 연결된 전지가 있으면 전류가 흐르지 않는 잘못

된 연결이라는 오개념이 강하게 작용하고 있기 때문으로 보인다. 불이 들어오지 않는다는 내용의 보기가 없으므로 이에 가장 가까운 보기 1 번을 택한 것으로 생각된다.

보기 2 번을 택한 교사들의 일부는 MC 12b 와 같이 등가 기전력은 잘 판단하였으나 내부저항의 효과까지는 고려하지 못하였다. 이는 보통 전지의 내부저항을 무시하거나 없다고 가정하고 문제를 해결해 온 데 기인한 것으로 보인다. 또한 MC 12c 와 같이 거꾸로 연결된 전지는 역할을 하지 않으므로 전지 두 개를 직렬 연결한 것과 같다고 생각하는 교사들도 있었다. 이 밖에도 MC 12d 와 같이 전지들의 연결 상태를 간과하고 전지의 개수만 고려하는 전지 중첩(battery superposition) 오개념 [7]도 나타났다.

13. 문항 13 의 분석

동일한 전지 두 개가 전구에 역병렬 연결된 회로에서 등가 기전력은 0 이므로 전구에 불이 들어오지 않는다. 일부 교사들은 회로 (B)에서 전구를 배제하고 전지의 연결만 고려하여 전지들이 직렬연결되었다고 생각함으로써 MC 13a 와 같은 오개념이 나타났다. 또한 문항 3(병렬)과 문항 12(직렬)에서와 마찬가지로 거꾸로 연결된 전지가 회로에 영향을 미치지 못한다는 생각(MC 13b)이 계속해서 나타나고 있다.

- MC 13a (16.2%): 회로(B)는 전지의 직렬연결과 같으므로 전구(나)가 전구(가)보다 밝다.
- MC 13b (16.2%): 거꾸로 연결된 전지는 영향을 주지 못하므로 전지 한 개를 연결한 것과 같다.

14. 문항 14 의 분석

기전력과 내부저항이 각각 E , r 인 동일한 두 전지의 병렬연결에 임의의 전류 I 가 들어갈 때 병렬 연결된 각 전지의 단자전압(= 병렬연결 전체의 단자전압)은 $V = E - (I/2)r = E_{eq} - Ir_{eq}$ 이므로 병렬연결의 등가기전력(E_{eq})은 단일 전지의 기전력과 같고 등가 내부저항(r_{eq})은 단일 전지의 절반임을 알 수 있다. 따라서 회로 (가)의 전구보다 더 많은 전류가 흐르는 회로 (나)의 전구가 더 밝다.

- MC 14a (5.4%): 전지를 두 개 연결하면 기전력이 커진다.

- MC 14b (5.4%): 전지를 병렬연결하면 전구의 밝기에는 변화가 없어야 한다.

MC 14a 는 직렬연결의 경우 MC 12d 와 같이 Engelhardt와 Beichner의 연구 [7]에서 나타난 ‘두 개의 전지는 배열에 상관없이 하나의 전지보다 전구를 2 배로 밝게 한다’라는 전지 중첩 오개념에 해당된다. 문제에서 회로 (가)의 전구가 회로 (나)의 전구보다 어둡다는 사실을 언급하였음에도 불구하고 일부 교사들은 MC 14b 와 같이 전구의 밝기가 같다는 주장은 하였다. 이는 실제 실험에서 전지의 내부저항이 전류가 흐를 때의 전구의 저항에 비하여 훨씬 작을 경우에 두 회로의 전구 밝기가 거의 같다는 경험에 기인한 것으로 보인다.

15. 문항 15 의 분석

전구에 흐르는 전류를 계산하여 전구의 밝기를 비교하는 문항으로 병렬연결된 전지들의 등가 기전력과 등가 내부저항에 대하여 문항 14 를 참고할 수 있다. 교사들이 자신의 경험이나 상식에 따라 응답할 가능성이 있기 때문에 상식적으로 알려진 결과 [7]와 다른 결과가 나오도록 수치를 조절하였다. 이때 전구의 저항은 전구에 흐르는 전류에 따라 변하지만 계산의 편의상 일정하다고 가정하였다. 그러나 많은 교사들은 정량적으로 계산해 보지 않고 상식을 토대로 응답함으로써 선다형(서술형) 정답률이 8.1%(0%)로 극히 저조하였다. 즉, 거의 모든 교사들은 두 전지를 직렬연결하면 단일 전지나 두 전지의 병렬연결보다 전구가 무조건 더 밝다고 생각하는 것으로 나타났다. 이론적 관점에서 보면 MC 15a 와 MC 14b 는 전지의 내부저항을 고려하지 않은 결과이다.

- MC 15a (21.6%): 직렬 연결일 때 가장 밝고, 병렬 연결은 전지 한 개가 연결된 것과 같다.
- MC 15b (16.2%): 직렬 연결일 때 가장 밝고, [병렬 연결되면 전체 저항이 작아지므로 전지 한 개가 연결된 것보다는 밝다].

16. 주요 오개념

이상 논한 바와 같이 전지 이해도 검사에서 초등 교사들이 선다형 답을 선택한 이유서술을 통하여 다양한 오개념이 파악되었다. 검사도구의 모든 문항에 대하여, 이 절에서 제시된, 내용이 동일한 오개념들의 퍼센트를 합

Table 2. Main misconceptions of elementary school teachers on battery. Source misconceptions for each main misconception and their percentage in the essay-type response of the corresponding question are presented. Misconceptions of which total percentage is greater than 15% are selected as main misconceptions and listed in order of magnitude.

Main Misconceptions	Sources	Percentage	Total
(1) In the antiparallel combination of batteries no current flows through a battery connected in the reverse direction and thus that battery has no effect on the circuit.	MC 3a	21.6%	56.7%
	MC 3b	18.9%	
	MC 13b	16.2%	
(2) Application error of Ohm's law.	MC 1a	10.8%	48.6%
	MC 7a	10.8%	
	MC 8a	16.2%	
	MC 9b	10.8%	
(3) In the anti-series combination of batteries no current flows through two batteries facing each other.	MC 2a	29.7%	43.2%
	MC 12a	13.5%	
(4) A light bulb connected to batteries in series glows the most brightly.	MC 15a	21.6%	37.8%
	MC 15b	16.2%	
(5) The EMF of a battery is constant with time.	MC 4a	27.0%	27.0%
(6) Two identical batteries in parallel are equivalent to one identical battery.	MC 14b	5.4%	27.0%
	MC 15a	21.6%	
(7) In the anti-series combination of batteries a battery connected in the reverse direction or two batteries in series facing each other play a role of electric wire and thus that battery has no effect on the circuit.	MC 12b	13.5%	24.3%
	MC 12c	10.8%	
(8) The old and used battery plays a role of a resistor.	MC 2b	21.6%	21.6%
(9) Charging does not occur between batteries.	MC 5a	21.6%	21.6%
(10) Topological error in identifying batteries in series or in parallel.	MC 11a	13.5%	16.2%
	MC 11b	2.7%	
(11) Two batteries in antiparallel are equivalent to those in series.	MC 13a	16.2%	16.2%

쳐서 총합이 큰(15% 이상인) 주요 오개념 11 개를 선정하고 크기 순서대로 번호를 붙여 Table 2에 제시하였다. 전지의 역직렬 연결과 역병렬 연결에 관련된 주요 오개념은 (1), (3), (7), (11)이다. 이로부터 교사들은 거꾸로 연결된 전지의 의미를 잘 이해하지 못하고 있음을 알 수 있다. 특히, 주요 오개념 (1)과 (3)은 각각 역병렬 연결과 역직렬 연결에서 거꾸로 연결된 전지로는 전류가 흐르지 않는다는 내용이다. 그리고 주요 오개념 (2)와 같이 옴의 법칙을 잘못 적용하는 사례가 전기에 관한 이해도 검사에서 흔히 나타난다.

문항별 분석에서 나타난 교사들의 오개념 중에 거꾸로 연결된 전지는 회로에 영향을 미치지 않는다는 내용이 있는데 이는 문항 3의 보기에서 있는 말이다. 이 오개념은 전지의 연결 상태(직렬 또는 병렬)에 따라 의미가 달라진다. 병렬연결의 경우 거꾸로 연결된 전지가 회로에 영향을 미치지 않으려면 그 전지로 전류가 흐르지 않아야 하고, 직렬연결의 경우에는 그 전지로 전선과 같이 전류가 흘러야 한다. 따라서 회로에 영향을 미치지 않는다는 오개념은 병렬과 직렬로 내용을 분리하여 각각 주요 오개념 (1)과 (7)로 제시하였다. 특히 (7)에서는 회로

에 영향을 주지 않는 전지가 거꾸로 직렬 연결된 전지 한 개인 경우(MC 12c)와 마주보고 있는 두 전지인 경우(MC 12b)로 나타나서 이를 구분하여 표현하였다. 덧붙여, MC 3b, MC 12a, MC 14b는 주요 오개념으로 분류하는 과정에서 약간의 의미 해석이 이루어졌으며 MC 15a는 내용이 복합적이어서 주요 오개념 (4)와 (6)으로 나누어 고려되었다.

V. 집단 변인별 전지 이해도 분석

이 절에서는 7 가지 집단 변인에 대하여 각각 구성 집단간 평균 점수의 차이를 분석한다. 먼저 기본적인 집단 변인이라고 할 수 있는 성, 학력, 교직 경력을 고려하고, 전지의 내부저항에 관한 내용이 고등학교 이과 물리 교육과정에서 다루어지고 있다는 점에 착안하여 고등학교 출신 계열 및 고등학교 물리 선택 여부에 따른 차이를 분석한다. 또한 교육대학교 과학교육과 출신인 교사들은 심화과정에서 물리학을 필수로 이수하였으므로 이에 근거하여 출신학과를 집단 변인으로 도입하였다.

검사도구에는 대학교에서 물리학 수강여부를 묻는 항목이 있으나, 모든 초등교사들이 교육대학교에서 물리학과 관련이 있는 과학교육 교수법과 초등학교 과학교과서에 관한 과목을 필수로 이수한 관계로, 별도로 고려하지 않고 출신학과에 따른 차이만 분석하기로 한다. 덧붙여 교사들의 과학 교과에 대한 흥미도가 전지에 대한 이해도에 얼마나 영향을 미치는지를 알아보았다. 모든 집단 변인에 대하여 동일한 유의차 검정 방법을 사용하기 위하여 ANOVA(F 검정)를 채택하고 유의수준은 5%로 정하였다. 결론적으로 선다형 분석에서는 과학 교과 흥미도에서만 구성 집단간에 검사도구 전체 평균점수의 유의차가 나타났지만 이유서술까지 고려한 분석에서는 과학교과 흥미도 이외에도 교직 경력과 고등학교 출신계열에서 유의미한 차이가 발견되었다. 집단 변인별 분석에서 구성 집단간에 통계적 차이가 발견된 빈도가 가장 많은 문항은 문항 11, 1로 모두 전기일반 영역에 속하는 문항들이었다.

1. 성

남·여 교사들의 전지에 대한 이해도 검사 결과는 15점 만점에 선다형(서술형) 평균이 각각 6.13(3.20) 점과 6.18(2.68) 점이었다. ANOVA(F 검정)를 사용하여 두 집단의 선다형(서술형) 평균점수에 대한 유의성 검정을 실시한 결과 Table 3과 같이 F값과 p값이 각각 0.003(0.339)과 0.960(0.564)으로 유의차가 없는 것으로 분석되었다.

검사도구의 문항들을 세 영역(전지기초, 전지연결, 전기일반)으로 나누어 선다형 및 서술형에 대하여 영역별로 남녀간에 이해도 차이가 있는지 조사하였으나 세 영역 모두 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 문항별 조사에서는 문항 1의 남녀 선다형(서술형) 평균이 각각 0.93(0.87)과 0.50(0.23)으로 1% 수준에서 차이가 있었고 문항 7의 남녀 선다형 평균은 각각 0.07과 0.32로서 5% 수준에서 차이가 있었다. 나머지 경우들은 모두 유의미한 차이가 없었다.

2. 학력

학사학위 소지자와 석사학위 소지자의 선다형(서술형) 평균은 각각 6.42(3.13)와 4.60(1.40)으로 석사 교사들의 점수가 오히려 낮게 나타났으나 이는 그들의 전공이 과학교육이 아니었기 때문으로 생각된다. 두 집단의 검사도구 전체 평균점수(Table 3)와 영역별 평균점

수는 선다형과 서술형 모두 유의차가 없는 것으로 분석되었다. 문항별 분석에서는 문항 11의 학사·석사 선다형(서술형) 평균이 각각 0.69(0.53)와 0.00(0.00)으로 1%(5%) 수준에서 유의차가 있었고 나머지 문항들은 유의미한 차이가 없었다.

3. 교직 경력

Table 3과 같이 교사들의 교직 경력을 5년 미만, 5~10년, 10년 초과로 구분하여 선다형 평균 점수를 구하였더니 각각 6.44, 5.11, 6.60으로 나타났으며 집단간에 유의미한 차이가 없었다. 그러나 서술형 평균 점수는 각각 3.78, 1.11, 2.90이고 F값은 3.506으로 5% 수준에서 차이가 나타났다. 집단간의 차이를 구체적으로 알아보기 위해 사후검증을 실시한 결과 교직경력이 5년 미만인 집단과 5~10년인 집단간에만 5% 수준에서 유의차가 있었고, 5년 미만인 집단과 10년 초과인 집단간과 5~10년인 집단과 10년 초과인 집단간에는 유의차가 없었다.

영역별 분석에서 전기일반 영역의 선다형(서술형) 평균점수가 경력별로 각각 1.39(1.11), 0.67(0.33), 1.60(1.20)으로 1% 수준에서 유의차가 있었고 다른 영역에서는 유의미한 차이가 없었다. 문항별 분석에서는 선다형의 경우 문항 1(0.83, 0.22, 0.80)은 1% 수준에서, 문항 12(0.28, 0.00, 0.50)는 5% 수준에서 유의미한 차이가 있었다. 서술형의 경우는 문항 1(0.67, 0.00, 0.60), 14(0.56, 0.00, 0.20)가 1% 수준에서 고도로 유의미한 차이가 있었다. V절의 문항별 분석에서 문항 번호 옆 괄호 안에 기재된 수치들은 해당 집단 변인의 구성 집단들의 문항 평균 점수를 의미한다.

4. 고등학교 출신계열

고등학교 출신계열(문과, 이과)에 따른 선다형(서술형) 평균 점수는 각각 5.62(2.10)와 6.88(3.94)이었다. Table 3과 같이 선다형의 경우는 유의차가 없었지만 서술형의 경우는 5% 수준에서 이과 출신이 문과 출신보다 이해도가 높은 것으로 분석되었다. 이는 이과 출신이 문과 출신보다 단순한 과학지식 이외에도 과학문제 해결 능력과 같은 기본 자질에서 앞서기 때문으로 생각된다.

검사도구의 영역별로 문과 출신과 이과 출신의 이해도를 비교한 결과 선다형의 경우는 세 영역 모두 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났으나 서술형의 경우는 전기일반 영역의 평균이 각각 0.71과 1.25로서 5% 수준

Table 3. Results of ANOVA for different group variables [gender, education, teaching career, high school department(liberal arts or science), having taken a high school physics course, university department, and interest in science] to see if there is significant difference in elementary school teachers' understanding on battery. In this table, the multiple-choice result and the corresponding essay-type result are given together with the latter in parenthesis. Interest in science was classified into three groups (fine, medium, and poor) in the original questionnaire. As shown in this table, however, it turned out that two groups [high (fine) and low (medium and poor)] are more appropriate for classifying interest in science through the Scheffé's multiple range test.

Group Variable	Group	N	M	SD	F	p
Gender	Male	15	6.13(3.20)	3.09(2.34)	0.003(0.339)	0.960(0.564)
	Female	22	6.18(2.68)	2.75(2.85)		
Education	Bachelor	32	6.42(3.13)	2.93(2.73)	1.770(1.903)	0.192(0.177)
	Master	5	4.60(1.40)	1.82(1.14)		
Teaching Career	< 5 Years	18	6.44(3.78)	3.62(3.04)	0.808(3.506)	0.454(0.041)
	5~10 Years	9	5.11(1.11)	1.17(1.27)		
	> 10 Years	10	6.60(2.90)	2.27(2.02)		
High School Department	Liberal Arts	21	5.62(2.10)	2.52(2.21)	1.799(4.931)	0.188(0.033)
	Science	16	6.88(3.94)	3.18(2.84)		
High School Physics Course	Not Taken	29	6.14(2.97)	2.77(2.61)	0.009(0.102)	0.923(0.751)
	Taken	8	6.25(2.63)	3.37(2.88)		
University Department	Science Education	6	6.50(3.83)	3.73(3.25)	0.098(0.913)	0.756(0.346)
	Otherwise	31	6.10(2.71)	2.72(2.52)		
Interest in Science	High	12	8.75(5.25)	3.14(2.96)	23.912(22.920)	0.000(0.000)
	Low	25	4.92(1.76)	1.66(1.51)		

에서 유의미한 차이가 있었다. 문항별 분석에서는 선다형의 경우 문항 10 (0.14, 0.63)과 11 (0.43, 0.81), 서술형의 경우 문항 7 (0.00, 0.19)과 11 (0.29, 0.69)이 5% 수준에서 차이가 있었다. 나머지 문항들은 모두 유의미한 차이가 없었다.

5. 고등학교 물리 수강

고등학교 물리 미수강자와 수강자의 선다형(서술형) 평균점수는 각각 6.14(2.97) 와 6.25(2.63)로 유의차가 없는 것으로 분석되었다. 그리고 영역별 및 문항별 평균점수 또한 모두 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 고등학교에서 물리를 수강하였어도 전지에 대한 내용을 상세히 배우지 못하였기 때문으로 해석된다. 또한 전지 이해도 검사에서 상위 점수를 얻은 고등학교 이과 출신 교사들의 상당수가 고등학교 물리 미수강자였다는 사실이 미수강자와 수강자간에 통계적 차이가 나타나지 않은 원인으로 파악되었다.

6. 대학교 출신학과

초등교사들의 교육대학교 출신학과(과학교육과, 타학과)에 따른 선다형(서술형) 평균점수는 각각 6.50(3.83)과 6.10(2.71)으로 유의차가 없는 것으로 나타났다. 모든 교대생들이 과학교육 교수법이나 초등학교 과학교과서에 관한 과목을 수강하는데 비하여 과학교육과 학생들은 심화과정에서 추가로 물리학을 이수하지만 전지에 대한 내용을 심도있게 다루지 않으므로 전체적으로는 유의차가 나타나지 않은 것으로 생각된다.

또한 영역별 평균점수 검정에서도 유의차가 나타나지 않았다. 문항별 분석에서는 선다형의 경우 문항 11 (1.00, 0.52)에 대해서만 5% 수준에서 유의미한 차이가 있었다. 문항별 서술형 분석에서는 문항 1 (0.00, 0.58)이 1% 수준에서 차이가 있었고, 문항 5 (0.67, 0.23), 9 (0.17, 0.00), 11 (0.83, 0.39)은 5% 수준에서 유의미한 차이가 있었다. 나머지 문항들은 모두 유의미한 차이가 없었다. 특이한 점은 문항 1 서술형의 경우에 타학과가 과학교육과보다 이해도가 월등하게 높았다는 것이다.

7. 과학 교과 흥미도

교사들의 과학 교과에 대한 흥미도를 상, 중, 하로 구분하여 전지 이해도 검사의 선다형(서술형) 평균 점수를

Table 4. Results of ANOVA (F-test) for the group variable ‘Interest in Science’ in three categories (battery basics, battery combination, and electricity general) of the questionnaire. The multiple-choice result and the corresponding essay-type result are given together with the latter in parenthesis.

Category	Question	Interest in Science	M	SD	F	p
Battery Basics	4,6,7,8,9	High	2.25(1.33)	1.60(1.50)	1.820(6.079)	0.186(0.019)
		Low	1.64(0.40)	1.11(0.82)		
Battery Combination	2,3,5,10,12, 13,14,15	High	4.75(2.33)	1.71(1.44)	27.586(20.686)	0.000(0.000)
		Low	2.24(0.72)	1.16(0.74)		
Electricity General	1,11	High	1.75(1.58)	0.45(0.51)	12.761(23.653)	0.001(0.000)
		Low	1.04(0.64)	0.61(0.57)		

비교해 본 결과 F값이 12.361(12.010)로 1% 수준에서 고도로 유의미한 차이가 있는 것으로 파악되었다. 그래서 Scheffé의 다중범위검정(multiple range test)에 의한 동일집단군(homogeneous subsets) 분류를 통하여 집단 구분의 적절성을 검정하였더니 과학 교과 흥미도를 상, 중, 하의 세 집단으로 구분하는 것 보다 중, 하를 묶어서 과학과 흥미도가 높은 집단(상)과 낮은 집단(중, 하)으로 구분하는 것이 바람직하다는 결론을 얻었다. 새로운 집단 구분을 사용하여 ANOVA(F 검정)를 수행한 결과, Table 3과 같이 흥미도가 높은 교사들과 낮은 교사들의 선다형(서술형) 평균 점수는 각각 8.75(5.25) 와 4.92(1.76) 였고 1% 수준에서 고도로 유의미한 차이가 있었다.

검사도구의 영역별로 선다형(서술형) 평균점수 차이를 검정한 Table 4를 보면 전지기초 영역에서 선다형의 경우 두 집단간에 유의미한 차이가 없지만 서술형의 경우는 평균 점수가 각각 1.33 과 0.40 으로 5% 수준에서 유의미한 차이가 있었다. 전지연결 영역과 전기일반 영역에서는 선다형과 서술형 모두 1% 수준에서 고도로 유의미한 차이가 나타났다.

한편, 각 문항별 선다형 및 서술형 평균 점수를 비교하면 문항 13 을 제외한 모든 문항에서 과학 교과에 대한 흥미도가 높은 교사들의 점수가 흥미도가 낮은 교사들보다 높은 것으로 드러났다(단, 문항 15 는 서술형의 경우에 정답자 없음). ANOVA 실행 결과 선다형의 경우, 문항 2 (0.67, 0.24), 10 (0.67, 0.20), 11 (0.92, 0.44)은 1% 수준에서 고도로 유의미한 차이가 있었고 문항 3 (0.58, 0.24), 12 (0.58, 0.12)는 5% 수준에서 차이가 있었다. 서술형의 경우에는 문항 5 (0.58, 0.16), 7 (0.25, 0.00), 11 (0.83, 0.28), 14 (0.67, 0.16)는 1% 수준에서, 문항 1 (0.75, 0.36), 2 (0.42, 0.12), 6 (0.50, 0.12)은 5% 수준에서 유의차가 있었으며 나머지 문항들은 통계적으로 유의미한 차이는 없었다.

이러한 결과들은 과학 교과에 대한 흥미도가 높은 교사들이 흥미도가 낮은 교사들에 비해 조사에 적극적으

로 임하였고, 꾸준히 과학 관련 연수, 공부, 클럽활동 등을 해왔을 가능성이 크기 때문으로 판단된다. 본 연구로부터 전반적인 과학 교과에 대한 흥미도가 전지와 같은 특정 내용의 이해도에도 크게 영향을 미친다는 사실을 알 수 있었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 초등교사들의 전지에 대한 이해도를 조사하기 위하여 15 문항의 선택후 설명식 검사도구를 개발하였다. Cronbach α 를 사용하여 검사도구의 신뢰도를 분석한 결과 선다형 검사와 서술형 검사에 대하여 각각 0.65 와 0.75 가 얻어졌다. 표본의 크기, 문항의 수, 문항 곤란도를 고려하였을 때, 개발된 검사도구는 초등교사들의 전지에 대한 이해도를 측정하는데 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 연구 대상자들의 총점과 문항 점수 간의 Pearson 상관계수를 통하여 검사도구의 문항별 변별도를 판정한 결과 선다형에서 9 개 문항(2, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 15)과 서술형에서 11 개 문항(2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14)의 변별력이 높았다. 선다형과 서술형 검사도구의 평균 상관계수는 각각 0.42 와 0.46 이 얻어져 검사도구의 변별도가 높은 것으로 나타났다.

이 검사도구를 사용하여 인천 S 초등학교에 재직 중인 초등교사 37 명에 대하여 전지에 대한 이해도를 조사한 결과는 다음과 같다:

첫째, 선다형(서술형) 평균 점수는 15 점 만점에 6.16(2.89) 점이 얻어져 정답률은 41.1%(19.3%)로 나타났다. 선다형 정답률이 높은 문항은 5 번(75.7%), 1 번(67.6%), 6 번(67.6%), 11 번(62.2%) 문항 순이었고 정답률이 낮은 문항은 10 번(18.9%), 15 번(8.1%) 문항으로 나타났다. 서술형의 경우는 1 번 (48.6%), 11 번(45.9%), 14 번(32.4%), 5 번(29.7%) 문항의 정답률이

높고 9 번(2.7%), 10 번(2.7%), 15 번(0%) 문항의 정답률이 낮아 선다형과 대략 같은 문항들로 구성되어 있다.

둘째, 선다형 응답의 이유(서술형 응답)를 통하여 오개념을 파악하고 주요 오개념 11 개를 선정한 결과, 전지들의 역병렬 연결과 역직렬 연결에서 거꾸로 연결된 전지로는 전류가 흐르지 않는다는 오개념과 옴의 법칙의 적용 실수가 가장 높은 비중을 차지하였다.

셋째, 집단 변인인 성, 학력, 교직 경력, 고등학교 출신계열, 고등학교에서 물리 수강여부, 대학교 출신학과, 과학 교과에 대한 흥미도에 따라 구성 집단간에 전지 이해도의 차이가 있는지 검정한 결과, 선다형의 경우에는 과학 교과 흥미도에 따라 1% 수준에서 고도로 유의미한 차이가 있었지만 다른 집단 변인들에 대해서는 구성집단 간에 유의차가 없었다. 그러나 서술형의 경우에는 과학 교과 흥미도에서 1% 수준의 유의차가 나타났을 뿐만 아니라 교직 경력과 고등학교 출신계열에서도 5% 수준의 유의차가 발견되었다. 고등학교 물리 수강은 전지 이해도에 영향을 주지 않은 반면, 고등학교 출신계열(문과·이과)에 따라 유의미한 차이가 나타난 점은 주목할 만하다.

이상의 결과로부터 많은 초등교사들이 전지의 다양한
연결이 회로에 미치는 영향에 대해 명확히 이해하고 있
지 못하며, 아동과 비슷한 오개념들을 가지고 있음을 알
수 있었다. 그러나 이는 초등 교사의 문제라기보다는 전
지에 대한 내용이 우리 나라 교육과정 전반에서 심도있
게 다루어지지 않기 때문으로 생각된다.

추후 연구과제로서 더 높은 신뢰도와 변별도를 가진
검사도구를 개발하고, 선택 후 설명식 검사를 넘어서 면
담·수업 관찰 등의 방법을 도입하여 초등교사들의 오
개념을 더욱 심도있게 파악하고자 한다. 이를 토대로 전
지에 대한 오개념을 변화시키기 위한 방안과 흥미를 유
발하고 이해를 돋기 위한 프로그램의 개발이 절실히 요
망된다.

부록. 전지 이해도 검사도구

본 검사도구는 초등교사로서 전기회로를 지도하는데 필요한 전지에 대한 배경지식을 조사하고 연구하는데 그 목적이 있습니다. 제시된 문항을 보시고 충분히 생각하여 답을 선택해 주시기 바랍니다. 또한 각 문항마다 선다형 답의 선택 이유를 자세히 서술하여 검사의 신뢰성을 높일 수 있도록 협조하여 주십시오. 검사시간은 60 분입니다.

♠ 자료 처리를 위한 집단 변인 조사

선택 항목에는 ‘V’ 표 또는 ‘○’ 표를 해주시고, 서술 항 목에는 해당란에 빠짐없이 기재해 주시기 바랍니다.

- 성별: ① 남 ② 여

- 나이: () 년 () 월 생

- ### • 학력 및 학과

- (a) 학사: () 과
(b) 석사: () 과
(c) 박사: () 과

- 교직 경력: ()년 ()개월

- 고등학교 출신계열: ① 문과 ② 이과 ③
 예체능 ④ 기타 ()

- 고등학교 때 물리 관련 교과목을 수강하셨습니까?
수강하셨다면 어떤 과목이었습니까?

- ① 예 (과목명 :)
② 아니오

- 대학교 (또는 대학원) 때 물리 관련 교과목을 수강 하셨습니까? 수강하셨다면 어떤 과목이었습니까?

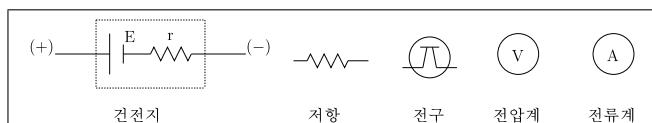
- ① 예 (대학교 과목명 :
 (대학원 과목명 :
② 아니오)

- #### • 과학 교과에 대한 흥미도

- ① 높음 ② 보통 ③ 낮음

♠ 검사 문항에 나타나는 여러 가지 기호와 용어

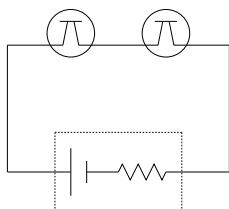
이 검사도구에서 전지는 기전력(E)과 내부저항(r)이 직렬 연결된 것으로 간주하며 각 회로에서 전선의 저항은 무시합니다. 아래의 기호와 용어들이 검사 문항에 사용되니 주의 깊게 살펴보시기 바랍니다.



- **기전력:** 화학 에너지를 전기 에너지로 변환시켜 회로에 전류가 계속 흐를 수 있도록 전위차를 유지시켜 주는 능력
- **내부저항:** 전지를 구성하고 있는 전지 내부 물질들의 저항
- **부하저항:** 전지 외부에 연결된 저항

♠ 다음 각 문제에 대하여 선다형 답을 선택하고 그 이유를 설명 또는 보충설명해 주시기 바랍니다.

1. 한 개의 전지에 두 개의 꼬마전구가 직렬로 연결되어 있습니다. 두 개의 꼬마전구 중 한 개에만 불이 들어왔다면, 다음 중 그 까닭으로 옳은 것은 무엇일까요? ()

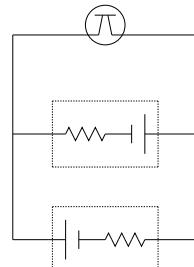


- ① 두 꼬마전구 사이를 연결하고 있는 전선이 끊어졌기 때문이다.
 ② 전지가 너무 오래되어서 두 개의 꼬마전구를 모두 켜 수 없었을 것이다.
 ③ 불이 들어오지 않은 꼬마전구는 불이 들어온 꼬마전구보다 저항이 훨씬 작을 것이다.
 ④ 불이 들어오지 않은 꼬마전구에는 불이 들어오는 꼬마전구보다 작은 전류가 흐르기 때문이다.

2. 공칭전압(전지에 쓰여 있는 전압)이 1.5V 인 전지를 한 개 연결했을 때보다 직렬로 전지 한 개를 더 연결했더니 꼬마전구의 밝기가 더 어두워졌다고 가정할 경우, 다음 중 옳지 않은 것은? ()

- ① 추가된 전지는 매우 오래된 전지일 것이다.
- ② 올바른 직렬 연결이 아니라, 같은 극끼리 마주보게 거꾸로 연결했을 것이다.
- ③ 추가된 전지를 담고 있는 전지 끼우개가 심하게 녹아 슬어 있을 것이다.
- ④ 이론적으로 불가능한 가정이다. 전지를 직렬 연결하면, 꼬마전구의 밝기는 항상 더 밝아진다.

3. 아동이 실수로 건전지 두 개를 거꾸로 병렬 연결하였습니다. 그런데 이 회로에 연결된 꼬마전구에 불이 들어왔습니다. 이 상황을 가장 잘 설명한 것은 무엇일까요?
 ()

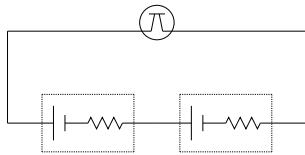


- ① 전지를 거꾸로 연결하면 절대로 불이 들어 올 수 없어. 아마 한 전지는 극이 잘못 표시된 전지일 거야.
- ② 아마 한 전지는 내부저항이 매우 작고, 다른 전지는 내부저항이 매우 큰 전지일 거야.
- ③ 거꾸로 연결한 것은 회로에 아무런 영향을 주지 않아. 따라서 이 회로는 전지 한 개가 연결된 것과 같아.
- ④ 당연한 거야. 전지를 어떻게 연결하든지 간에 회로가 완성되면 전구에 불이 들어 올 수 있어.

4. 전지를 오랫동안 사용하거나 방치하면 전지로서의 기능을 잃게 됩니다. 전지를 사용함에 따라 전지의 기전력과 내부저항이 어떻게 변하기 때문일까요? ()

- ① 기전력과 내부저항이 모두 감소한다.
- ② 기전력은 감소하고 내부저항은 증가한다.
- ③ 기전력은 일정하고 내부저항은 증가한다.
- ④ 기전력은 일정하고 내부저항은 감소한다.

5. 각각 공칭전압이 3V 인, 새 건전지와 충분히 오래 사용한 건전지를 그림과 같이 정방향으로 (양극이 같은 방향을 향하도록) 직렬 연결하여 꼬마전구에 연결했을 때, 다음 중 옳지 않은 것은? ()



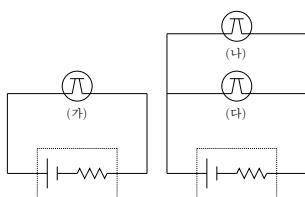
① 전지의 직렬연결 양단의 전압이 새 전지 양단의 전압 보다 작다.

② 새 전지는 방전되면서 전력을 공급한다.

③ 오래된 전지는 방전되면서 전력을 소비한다.

④ 오래된 전지는 충전된다.

6. 동일한 전지 한 개와 동일한 전구들을 사용하여 아래 그림과 같은 회로를 만들었더니, 전구에 불이 들어왔습니다. 세 전구 (가), (나), (다)의 밝기를 비교하면 어떻게 될까요? ()



① (가) >(나) = (다)

② (나) = (다) > (가)

③ (가) > (다) > (나)

④ (가) = (나) = (다)

7. 임의의 회로에서 어떤 전지를 통해 흐르는 전류가 두 배가 된다면, 그 전지 양단의 전위차도 두 배가 될까요? ()

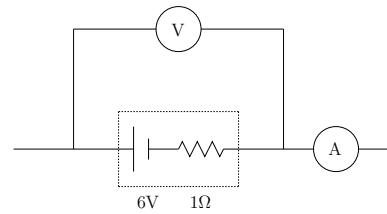
① 아니다. 전위차의 변화는 전지에 따라 다르다.

② 아니다. 전류가 두 배가 되면 전위차는 반으로 줄어든다.

③ 그렇다. 옴의 법칙에 의하여 전류가 두 배가 되면 전위차도 두 배가 된다.

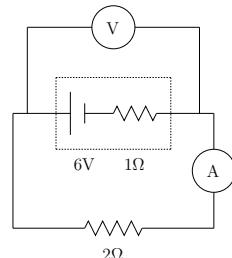
④ 그렇다. 전류가 두 배가 되면 전지의 내부저항에 의한 전압강하도 두 배가 되므로 전위차가 두 배가 된다.

8. 아래의 열린 회로를 구성하고 있는 전지는 내부 저항이 1Ω 이고 $6V$ 의 기전력을 가지고 있다. 전류계(A)와 전압계(V)의 눈금은 얼마를 나타낼까요? ()



전류계	전압계
① 6A	6V
② 6A	0V
③ 0A	6V
④ 0A	0V

9. 내부저항이 1Ω 이고 $6V$ 의 기전력을 가진 전지에 2Ω 의 부하저항을 연결하여 아래와 같은 회로를 구성하였다. 이때 전류계와 전압계의 눈금은 얼마를 나타낼까요? ()



전류계	전압계
① 2A	6V
② 2A	4V
③ 3A	6V
④ 3A	4V

10. 기전력과 내부저항이 서로 다른 두 개의 전지를 정방향으로(양극이 같은 방향을 향하도록) 병렬연결 하였을 때, 전체 기전력은 어떻게 될까요? ()

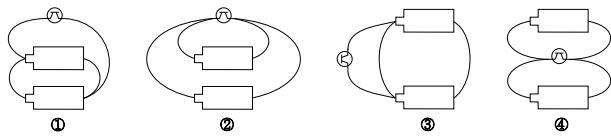
① 두 전지의 기전력의 차이값을 갖게 된다.

② 두 전지의 기전력의 중앙값을 갖게 된다.

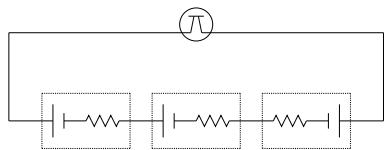
③ 두 전지의 기전력의 사이에 있는 어떤 값을 갖게 된다.

④ 기전력이 작은 전지의 기전력을 갖게 된다.

11. 다음 중 두 개의 전지가 전구에 병렬 연결된 것이 아닌 것은? ()

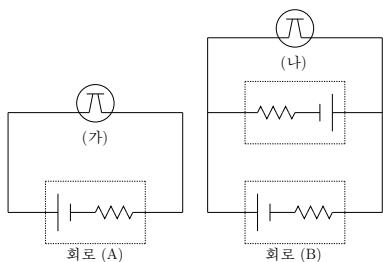


12. 기전력이 $1.5V$ 이고 내부저항이 0.5Ω 인 전지 세 개를 그림과 같이 두 전지는 정방향으로 한 전지는 역방향으로 직렬 연결했더니 전구에 불이 들어왔습니다. 동일한 전지 한 개를 동일한 전구에 연결한 경우와 비교했을 때, 아래 그림의 전구의 밝기는? ()



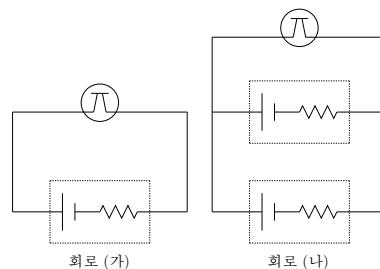
- ① 전지 한 개를 연결했을 때보다 어둡다.
- ② 전지 한 개를 연결했을 때와 같은 밝기이다.
- ③ 전지 한 개를 연결했을 때의 두 배 밝기이다.
- ④ 전지 한 개를 연결했을 때의 세 배 밝기이다.

13. 기전력이 $3V$, 내부저항이 1Ω 인 전지를 사용하여 회로 (A)와 같은 회로를 구성하였더니 전구에 불이 들어왔습니다. 회로 (B)와 같이, 회로 (A)에서 사용한 전지와 동일한 전지 두 개를 역병렬(거꾸로 병렬) 연결하여 동일한 전구에 연결하였다면, 이 전구의 밝기는 어떠하겠습니까? ()



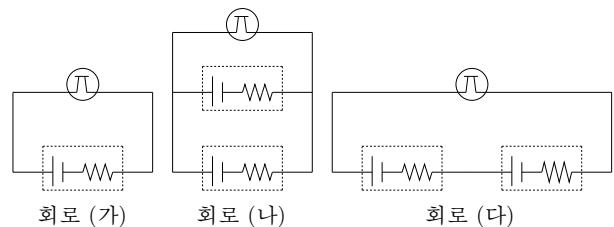
- ① 전구 (나)는 불이 들어오지 않는다.
- ② 전구 (나)와 전구 (가)의 밝기는 같다.
- ③ 전구 (나)는 전구 (가)보다 밝게 불이 들어온다.
- ④ 전구 (나)는 전구 (가)보다 어둡게 불이 들어온다.

14. 동일한 전지와 전구를 사용하여 아래 그림과 같은 두 개의 회로를 만들었습니다. 회로 (가)의 전구가 회로 (나)의 전구보다 어두웠습니다. 동일한 전지를 병렬 연결하였을 때 회로에 어떤 영향을 미치기 때문일까요? ()



- ① 전체 기전력과 전체 내부저항이 작아지기 때문에 불의 밝기가 어두워진 것이다.
- ② 전체 기전력이 커지고, 전체 내부저항은 전지가 한 개일 때보다 작아지기 때문이다.
- ③ 전체 기전력에는 변화가 없지만, 전체 내부저항은 전지가 한 개일 때보다 작아지기 때문이다.
- ④ 전체 기전력에 변화가 없기 때문에 불의 밝기는 똑같다. 어둡다고 느낀 것은 눈의 착각일 것이다.

15. 다음 세 가지 회로에서 전구의 밝기를 비교하여 가장 밝은 것부터 바르게 나열한 것은 어떤 것일까요? () (단, 전지의 기전력은 $6V$, 내부저항은 2Ω 으로 동일함. 전구의 저항은 1Ω 임.)



- ① 회로(나) > 회로(다) > 회로(가)
- ② 회로(다) > 회로(가) = 회로(나)
- ③ 회로(다) > 회로(나) > 회로(가)
- ④ 회로(다) > 회로(가) > 회로(나)

참 고 문 헌

- [1] W. M. Saslow, *Electricity, Magnetism, and Light* (Academic Press, New York, 2002).
- [2] J. Sanny and W. Moebis, *University Physics* (WCB, New York, 1996), pp. 467–497.
- [3] H. D. Young and R. A. Freedman, *Sears and Zemansky's University Physics*, 10th ed. (Addison-Wesley, New York, 1999), pp. 809–819, 832–841, 856–864.

- [4] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fundamentals of Physics, Extended*, 6th ed. (Wiley, New York, 2001), pp. 638–657.
- [5] P. F. Hinrichsen, Phys. Educ. **36**, 327 (2001).
- [6] S. I. Hong, J. Y. Choi, and B. O. Kim, SAEMULLI (New Phys.) **48(3)**, 223 (2004).
- [7] P. V. Engelhardt and R. J. Beichner, Am. J. Phys. **72(1)**, 98 (2004).
- [8] D. H. Current, Am. J. Phys. **47**, 463 (1979).
- [9] http://classroom.kice.re.kr/content02/second02/da_ta06/add2-3.htm.
- [10] The resistance R of a resistor is defined as the potential difference V across it divided by the current I flowing through it: $R \equiv V/I$. Ohm's law indicates the case that R is constant, independent of V (or I), and hence V is proportional to I . Strictly speaking, the phrase ‘Ohm's law’ is not appropriate for a light bulb; because its resistance R increases with increasing V , it does not satisfy Ohm's law. In the present paper, however, we will use the phrase ‘Ohm's law’ to indicate the definition of the resistance in the case of the light bulb.
- [11] J. Song, I. Kim, Y. Kim, S. Kwon, W. Oh, and J. Park, *The Map of Physics Conceptions of Students* (Books Hill, Seoul, 2004).
- [12] D. Shipstone, Phys. Educ. **23**, 92 (1988).
- [13] P. M. Heller and F. N. Finley, J. Res. Sci. Teach. **29(3)**, 259 (1992).
- [14] W. T. Griffith, *The Physics of Everyday Phenomena*, 2nd ed. (McGraw-Hill, New York, 1998).
- [15] Y. D. Son and H. B. Koh (Translators), *Fundamentals of Battery* (Seong An Dang, Seoul, 2000).

Surveying Elementary School Teachers' Understanding and Misconceptions about a Battery

Eun Jung CHOI and Seok-In HONG*

Department of Science Education, Gyeongin National University of Education, Incheon 407-753

Kang Young LEE

Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 305-701

(Received 12 June 2006, in final form 8 September 2006)

The purpose of the present paper is to examine elementary school teachers' understanding of and misconceptions about batteries. In previous surveys, a battery was regarded as a source of EMF only, but such a model cannot explain many experimental results correctly. Hence in the present paper, a model of a battery is adopted in which the EMF and the internal resistance are connected in series. Based on the essential concepts about batteries extracted through the analysis of primary science textbooks, we developed a questionnaire that consisted of 15 multiple-choice questions and asked teachers to write the reason for their choice for each question (essay-type test). The questionnaire was administered to 37 teachers in S elementary school in Incheon. The results of this study, such as the reliability and the discrimination of the questionnaire, and teachers' understanding and misconceptions about batteries, can be summarized as follows: First, as a way of measuring reliability, the Cronbach's α s for a multiple-choice test and an essay-type test were 0.65 and 0.75, respectively. The item discrimination was assessed by using the Pearson correlation coefficient between total scores and the item scores of the teacher sample. The mean correlation coefficients for the multiple-choice test and the essay-type test were 0.42 and 0.46, respectively, indicating the questionnaire is highly discriminating. Second, the mean multiple-choice (essay-type) score for the questionnaire was 6.16 (2.89) points out of a possible 15 points, which corresponded to a rate of 41.1 % (19.3 %) correct answers. Analysis of the essay-type answers revealed elementary teachers' misconceptions; the most frequent misconceptions were (a) the idea that in antiparallel or anti-series combinations of batteries, no current flows through a battery connected in the reverse direction and (b) an error of the application of Ohm's law. Third, using ANOVA, the difference in the understanding of batteries was tested according to gender, education, teaching career, high school department (i.e., liberal arts or science), having taken a physics course in high school, university department, and interest in science. For the multiple-choice test, only interest in science gave rise to a significant difference at the 0.01 level. For essay-type test, however, there are significant differences according to teaching career and high school department at the 0.05 level as well as according to interest in science at the 0.01 level. As a concluding remark, because elementary school teachers' misconceptions originate from the fact that the science education curriculum for pre-service teachers does not deal with a profound knowledge of batteries, a battery education program needs to be developed to promote pre-service and in-service teachers' interest and to help them understand primary science experiments concerning electricity.

PACS numbers: 01.40.Fk, 01.55.+b, 07.50.Ek, 82.47.Cb

Keywords: Physics education, Battery, Electric circuit, Misconception

*E-mail: sihong@gin.ac.kr