

# 기준계와 운동의 상대성에 대한 중학교 1학년의 개념

오 원 근 · 김 재 우

(서울대학교)

(1997년 1월 6일 받음)

## I. 서 론

### 1. 연구의 필요성

뉴턴은 그의 저작인 '프린키피아'(Principia, 1686, p. 13)에서 운동의 제1법칙을 '모든 물체는 외부에서 그 물체에 작용된 힘에 의하여 그 상태가 변화되지 않는 한, 정지상태나 직선상의 등속 운동상태를 지속한다.'라고 진술하였다. 그러나, 힘과 운동에 대한 많은 학생들의 선개념 연구에서, 학생들은 작용하는 힘이 없어도 물체가 일정한 속도로 계속 진행한다는 뉴턴의 관점을 잘 받아들이지 못한다는 것을 알 수 있다 (Viennot, 1979; Clement, 1981; McCloskey, 1983; McDermott, 1984). 이러한 연구에 따르면 학생들은 물체가 일정한 속도로 움직이려면 이에 따르는 힘이 있어야 하고, 그러한 힘이 없으면 물체는 정지하게 된다고 생각하는 등 마치 뉴턴 이전의 중세학자들의 생각과 유사한 경향이 강하다 (Halloun & Hestenes, 1985).

학생들이 이렇게 생각하게 되는 이유로 마찰과 중력의 영향을 생각할 수 있다. 학생들이 관찰하는 운동현상들은 대부분 지구상에서 일어난다. 지구상에서는 중력때문에 공기보다 무거운 물체들은 공중에 가만히 정지해 있을 수 없고, 반드시 떨어지게 된다. 이 때문에 물체들은 지면에 도달해야만 정지상태를 유지할 수 있고, 이 물체에 힘을 주어 수평으로 움직이게 하더라도 마찰 때문에 다시 속도가 줄어들어 결국 정지하게 된다. 따라서, 학생들은 아무런 힘을 주지 않는데 물체가 일정한 속도를 유지하는 운동현상을 현실적으로 경험하기 어렵다.

그러나, 이것보다도 물체의 운동이 관측자에 따라 다르게 관측된다고 하는 기준계의 문제를 학생들이 잘 생각하지 못하는 것이 힘과 운동의 관계를 제대로 이해하는데 더 큰 장애요인이라고 지적할 수 있다 (Viennot, 1979; Eckstein, 1989; Marioni, 1991; Galili, 1992). 힘과 운동에 대한 선개념 연구에서 학생들은 '운동'과 '정지'를 구분하려는 경향이 강하다는 것을 알 수 있다 (Thijs, 1992). 학생들은 지구상에 존재하는 물체들을 지면에 상대적으로 정지한 계에서 관측하는 것이 익숙하기 때문에, 자연스럽게 지구 표면을 기준계로 생각하는 관점을 형성하게 되어, 모든 물체의 운동을 이 기준계로만 기술하려는 경향이 있다고 예상할 수 있다. 그렇기 때문에 학생들은 물체의 정지와 등속 운동을 다른 물리적 상태로 생각하게 될 뿐 아니라, 정지한 물체에는 힘이 작용하지 않고 움직이는 물체에는 힘이 반드시 작용한다고 생각하게 된다. 따라서, 학생들이 가지고 있는 기준계에 대한 사고는 뉴턴의 운동 제1법칙을 제대로 이해하는데 어려움을 일으키는 원인이 되므로, 이를 극복하려면 물체의 운동 관측에 대한 상대성을 잘 이해시키기 위한 전략이 필요하다 (Dykstra, 1992; Lowell, 1989).

운동의 상대성은 운동 제2법칙 학습에도 적절하게 이용될 수 있다. 운동의 제2법칙은 일정한 운동상태에 있는 물체에 힘이 작용하면 그 물체의 운동상태가 어떻게 변화하는지 기술한 것이다. 어느 관성계에 대하여 정지해 있는 물체에 일시적 충격을 주면 그 물체는 움직이게 된다. 이는 충격에 의하여 운동이 발생한 것으로 볼 수 있다. 한편, 운동하고 있는 물체에 충격을 가하면 그 때문에 발생한 운동이 물체의 원래 운동과 합성되어 물체는 처음과는 다른 운동상태로 바뀌게 된다. 그러나, 이것을 물체와 같이 운동하는 계에서 관측하

면 결과적으로 정지한 물체에 충격을 가하여 움직이게 하는 것과 동등하게 생각할 수 있다(Newton, 1687; Cohen, 1967). 따라서, 운동의 상대성을 이해한다면 충격을 받은 물체의 운동이 어떻게 변화되는지 이해하는데 도움을 받을 수 있다.

그러나, 학생들은 정지와 등속 운동을 다른 상태로 생각하기 때문에, 정지한 물체를 운동상태로 바꾸려면 힘이 필요하다는 생각을 하면서도 이를 움직이는 물체에 힘이 작용하면 나타나는 효과와 잘 연관짓지 못한다. 운동의 상대성에 대한 이해는 그러한 생각을 극복하여 뉴턴 운동법칙을 학습하는데 유용하게 활용될 수 있음에도 불구하고, 이러한 상대성이나 기준계를 다루는 문제가 물리 학습에서 명확하게 적용되지 않고 있다(Galili, 1997). 따라서, 기준계와 운동의 상대성을 고려한 수업 방안을 구안하기 위해서는 학생들이 기준계가 달라짐에 따라 관측되는 운동을 어떻게 생각하고 있는지 자세히 알아볼 필요가 있다.

그런데, 중학교 1학년은 뉴턴의 운동법칙을 체계적으로 학습하는 최초의 시기임에도 불구하고, 이 학생들이 이러한 기준계와 운동의 상대성에 대하여 어떠한 생각을 지니고 있으며, 이를 잘 학습할 수 있는 지적 수준에 있는가 하는 문제에 대하여 체계적으로 연구된 결과는 거의 없다. 따라서, 기준계와 운동의 상대성에 대한 중학교 1학년 학생들의 생각이 어떠한 것인지 알아봄으로써, 이들이 운동의 상대성을 이용하여 힘과 운동을 학습하는데 필요한 교육적 시사점을 얻고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 2. 연구 문제

본 연구에서 알아보고자 하는 문제는 다음과 같다.

첫째, 중학교 1학년 학생들은 운동을 관측할 때 어떠한 기준계를 주로 사용하는가?

둘째, 다른 상황이지만 물리적으로 같은 관측결과인 경우에 학생들의 응답은 차이가 있는가?

셋째, 학생들은 운동을 관측할 때 기준계가 달라지면 관측 결과를 다르게 생각하는가?

# II. 연구방법

## 1. 연구 대상

연구 대상은 서울 시내 소재 중학교 1학년 남학생들 중 4개 학급 251명이다. 이들은 동일한 학교 내에서 선택하였고, 특별한 배치가 없이 정해진 학급 단위로 추출하였다. 학급 간의 과학과목 기말고사 평균 성적은 유의한 차이를 보이지 않았

다. 연구 대상이 이렇게 1개 학교 남학생으로 한정되었기 때문에 본 연구의 결과가 그대로 모든 중학생에게 일반화될 수 있다고 단정하기에는 한계가 있다.

## 2. 연구도구

본 연구에서 학생의 개념을 알아보기 위하여 사용한 도구는 모두 15개 문항으로 이루어진 단답형 지필 검사로서 연구자들이 제작한 것이다. 검사 문항은 학생들이 일상적으로 경험할 수 있는 교통수단과 관련된 상황들 중에서 구성하였다. 이를 본 연구와 상관이 없는 학급에서 실시하여 얻은 결과를 분석하여, 드러난 문제점을 줄이는 과정을 거쳤다. 또한, 실제 검사를 진행하는 과정에서 추가로 나타난 문제점들은 현장에서 학생들에게 적절한 지시나 그림 등을 추가하여 제시 하므로써, 학생들이 검사에서 의도하는 목표를 잘못 이해하지 않도록 노력하였다.

문항의 타당도를 확보하기 위하여 기준계 및 운동의 상대성에 대한 평가영역을 관측자의 기준계가 운동계인 경우와 정지계인 경우로 나누고, 관측 대상이 정지상태로 관측되는 경우와 운동상태로 관측되는 경우, 그 대상이 운동계에 대하여 대상의 운동이 있는 경우와 없는 경우, 대상의 운동이 있을 경우 그 방향이 제의 운동과 평행한 경우와 수직인 경우로 각각 분류하여 여기서 얻어지는 가능한 모든 조합을 각 평가영역으로 결정하였다.

문항의 배치는 문항들 간의 난이도 및 상황의 동질성을 고려하여 배치하였다. 이렇게 제작한 결과 얻어진 문항별 평가 목표 및 변별도를 <표 1>과 같이 나타내었다. 본 검사도구의 신뢰도는 크론바하 알파계수로 0.67이다. 검사 결과 얻어진 검사도구의 평균 변별도 지수는 0.36이고  $Z(DI)=5.35$ 로서  $p<0.05$ 의 유의한 변별도를 지닌다고 볼 수 있다(황정규, 1992).

## 3. 연구 절차

학생의 개념에 대한 검사는 중학교 1학년 과학 수업에서 '운동의 기술'에 대하여 학습하기 전에 실시하였다. 회수된 답안지에서 각 학생이 응답한 운동의 방향과 크기를 기호화하여 컴퓨터에 모두 입력한 다음, 이를 모범답안과 비교하여 맞으면 1, 틀리면 0으로 점수를 부여하여 개인별 정답률과 문항별 전체 정답률 및 신뢰도, 변별도 등을 구하였다. 그 후, 기호화한 각 문항별 응답을 분류하여 각 문항별로 오답을 분류하고 그 빈도를 구하여 검사 영역별로 분석함으로써, 주요한 오개념 유형을 판별하여 학생들이 그렇게 생각하는 이유

〈표 1〉 문항별 평가 목표 및 변별도

검사 영역	문항번호	변별도지수	Z(DI)	정답률(%)
운동하는 계에서 정지상태로 보이는 대상을 관측함	1-1-1	0.46	7.2	45
	2-3-1	0.36	6.5	30
운동하는 계에서 운동상태로 보이는 대상을 관측함	1-2-1	0.39	6.5	39
	1-3-1	0.38	5.7	44
	1-4-1	0.23	2.2	84
정지한(※) 계에서 운동상태로 보이는 대상을 관측함	1-1-2	0.45	6.1	61
	2-1-1	0.25	2.3	88
	2-1-2	0.38	4.2	76
운동하는 계와 반대로 움직여 정지로 보이는 대상을 정지계에서 관측함	1-2-2	0.46	7.5	43
	1-4-2	0.45	6.1	35
운동계와 수직으로 움직이는 대상을 정지계에서 관측함	2-2-2	0.44	7.8	35
	2-3-2	0.3	4.3	41
운동하는 계와 같은 방향으로 움직여 정지계에서 빠르게 보이는 대상을 관측함	1-3-2	0.33	4.5	51
운동계와 수직으로 움직이는 대상을 그 계에서 관측함	2-2-1	0.49	6.5	66
	2-3-3	0.2	2.9	31
평균		0.36	5.35	51

(※: 지면에 대하여 상대적으로 정지한 계를 말함)

를 유형별로 분석하였다.

### Ⅲ. 연구 결과와 논의

각 문항에 대한 학생의 정답률을 검사 영역별로 〈표 1〉에 나타내었다. 전체에 대한 평균정답률은 51% 정도이다. 이는 학생들이 이러한 문제를 쉽게 해결할 것이라는 연구자들의 기대와는 달리, 중학교 1학년 학생들이 이 정도 수준의 기준계와 운동의 상대성에 관한 문제들을 충분히 해결하지는 못한다는 것으로 해석할 수 있다. 만일 운동의 상대성에 대한 이해를 바탕으로 뉴턴 역학에 대한 학습을 수행하게 하려 한다면, 이 정도의 정답률로 미루어 적어도 절반의 학생들은 그러한 바탕을 가지지 못한 것이다.

70% 이상의 응답률을 보인 문항은 1-4-1과 2-1-1, 2-1-2의 세가지 문항으로서, 1-4-1과 2-1-1은 지하철 안에서 같이 타고

있는 대상의 움직임을 보는 경우이고, 2-1-2는 정지해 있는 지하철 안에 있는 물체의 움직임을 밖에서 관찰하는 경우이다. 이 상황들은 나머지 문제들과 비교하여 비교적 단순하기 때문에 학생들이 쉽게 응답한 것이다.

#### 1. 상대속도가 0인 경우

##### 1) 운동계에서 관측하는 경우

〈표 2〉에 제시된 1-1-1 문항은 운동계인 에스컬레이터에 관측자와 대상이 같이 타고 서있는 상황이다. 따라서 둘 사이의 상대속도가 없으므로 학생들은 대상이 '정지' 또는 '속도가 0'이라고 응답해야 한다. 이 문항은 단순한 상황이므로 학생들이 쉽게 응답할 수 있을 것으로 예상했으나, 오답률이 55%나 되어 이러한 상황도 학생들에게는 그렇게 단순하게 여겨지지 않는 것을 알 수 있다.

〈표 2〉 문항 1-1-1\*의 오답 유형과 오답률

오답유형	오답률
지면에서 볼 때 운동계 방향으로 대상이 운동	39.4
지면에서 볼 때 지면에 평행하게 운동계 방향으로 대상이 운동	7.9
지면에서 볼 때 운동계의 반대 방향으로 대상이 운동	3.6
지면에서 볼 때 계와 비스듬히 대상이 운동	2.0
지면에서 볼 때 지면에 수직으로 대상이 내려간다	1.2
지면에서 볼 때 지면에 수직으로 대상이 올라간다	0.8
전체 오답률	54.9

\* 운동계에서 대상의 상대속도가 0인 경우(I)

가장 빈도가 높은 오답 유형은 대상이 정지계에서 볼 때 운동계 방향, 즉 관측자와 같은 방향으로 움직인다고 응답한 것이다. 이는 사실상 정지계에서 보이는 효과를 기술한 것으로서, 대상이 어떻게 관측되는지 생각할 때 학생들은 운동계의 움직임을 고려한다는 것을 보여준다.

‘지면에 평행하게 움직인다’는 유형의 응답은 방향을 ‘지면에 평행하게’ 생각함으로써 관측자의 관점을 운동계 내로 옮기기는 하였지만, ‘움직인다’고 함으로써 여전히 운동계의 운동을 대상의 고유 운동으로 생각하여, 결과적으로 정지계에서 보이는 결과와 운동계에서 보이는 결과를 뒤섞어 생각한 것이다. 나머지 응답들도 대체로 에스컬레이터 운동의 수평 성분이나 수직 성분 중 하나만을 고려하여 이를 적절하지 않게 연관시킨 경우이다. 따라서, 1-1-1에서 학생들은 정지계에서 관측되는 결과를 운동계에서 관측되는 결과인 것처럼 잘못 생각하는 경향을 보이고 있다.

〈표 3〉은 2-3-1에 대한 분석 결과로서, 역시 운동계에서 볼 때 대상의 상대 속도가 0이지만 1-1-1과 상황이 다르다. 1-1-1에서는 운동계인 엘리베이터의 운동만 존재하지만, 2-3-1에서는 운동계인 강을 횡단하는 배의 움직임과 그에 수직 방향으로 강물이 흐르는 경우이다. 여기에서는 강물이라는 계의 운동과 대상인 배의 운동 두가지가 존재한다. 배에 탄 사람을 대상이라고 보면 배도 또 하나의 운동계로 볼 수 있기 때문에, 이 문제는 서로 수직한 두 개의 운동계가 합성된 경우로 생각할 수 있다. 분석의 편의를 위하여 강물을 ‘운동계 I’, 배를 ‘운동계 II’라고 정의하였다.

2-3-1은 상황이 조금 더 복잡하기 때문에 훨씬 오답률이 높다고 생각된다. 가장 빈도가 높은 오답 유형은, 운동계 I을 생각하지 않고 대상이 운동계 II 방향으로만 움직인다고 응

〈표 3〉 2-3-1\*의 오답 유형과 오답률(%)

학생의 오답 유형	오답률
지면에서 볼 때 운동계 II의 대상의 운동 방향으로	49.0
지면에서 볼 때 운동계 I + 운동계 II의 방향으로	9.2
지면에서 볼 때 운동계 I의 방향으로	4.8
지면에서 볼 때 운동계 II와 반대방향으로	3.2
지면에서 볼 때 운동계 I 과 반대방향으로	1.2
지면에서 볼 때 운동계 I의 방향 + 운동계 II 반대방향으로	1.2
지면에서 볼 때 운동계 I 과 반대방향 + 운동계 II 방향으로	0.9
전체 오답률	69.5

\* 운동계에서 대상의 상대속도가 0인 경우(II)  
운동계 I: 강물, 운동계 II: 배

답한 것이다. 이 응답자들은 합성된 두 운동에서 강물이라는 계의 운동은 미처 고려하지 못하고, 배의 운동만을 생각한 다음 1-1-1과 비슷하게 정지계에서 보는 것처럼 생각하여 응답한 것으로 보인다.

그 다음 빈도가 높은 응답은 두 운동계의 운동을 합성한 방향으로 움직인다고 하는 것이다. 이는 두 가지 운동을 모두 고려하기는 했지만, 운동계에서 관측함에도 불구하고 여전히 계의 운동을 고려함으로써 결국 1-1-1의 경우처럼 정지계에서 관측한 결과를 나타낸 것이다.

〈표 2〉와 〈표 3〉의 결과로 보면, 학생들은 관측자가 대상과 같이 움직이면서 관측하는 상황에 대하여 운동계의 움직임을 고려하여 생각하는 경향이 있다는 것을 알 수 있다. 이 때문에 정지계에서 관측되는 내용을 운동계에서 관측되는 결과로 잘못 생각하며, 이러한 잘못된 계의 운동과 대상의 대상의 운동이 수직으로 복합되면 더 크게 나타난다.

2) 정지계에서 관측하는 경우

〈표 4〉는 1-2-2와 1-4-2에 대한 분석 결과이다. 이 두 문항은 각각 에스컬레이터와 지하철이라는 운동계 내부에서 운동계와 같은 속력, 반대 방향으로 운동하는 대상을 지면에서 관측하는 상황이다. 따라서, 지면에서 관측할 때 대상이 ‘정지 상태’로 보이는 경우이다.

에스컬레이터 상황인 1-2-2에서는 ‘운동계와 반대로 움직인다’는 빈도가 가장 높은 오답이고, 지하철 상황인 1-4-2에서는 ‘운동계와 반대로’와 ‘운동계와 같은 방향으로 움직인다’가 모두 높다. ‘운동계와 반대로 움직인다’는 응답은, 계의 운동은 무시하고 대상의 운동만을 고려하여 결과적으로 운동계에

〈표 4〉 1-2-2\*, 1-4-2\*의 오답 유형과 오답률(%)

학생의 오답 유형	오답률(%)	
	1-2-2	1-4-2
지면에서 볼 때 운동계의 반대로	21.5	25.1
지면에서 볼 때 운동계와 같은 방향으로	7.6	31.5
지면에서 볼 때 운동계의 반대로 빠르게	8.4	2.0
운동계에서 볼 때 지면에 평행하게 계의 운동방향으로	4.4	
지면에서 볼 때 운동계와 같은 방향으로 빠르게	4.4	1.6
지면에서 볼 때 계와 비스듬하게	3.2	4.4
지면에서 볼 때 운동계와 같은 방향으로 느리게	3.2	
운동계에서 볼 때 지면에 평행하게 빠르게 계의 방향으로	0.4	
운동계에서 볼 때 지면에 수직하게 위로	1.6	
운동계에서 볼 때 지면에 평행하게 반대 방향으로	1.6	
운동계에서 볼 때 지면에 수직하게 아래로	0.4	
전체 오답률	56.7	64.6

\* 움직이는 대상이 정지계에서 정지 상태로 보이는 경우

서 보이는 효과를 기술한 것이다. 또한, ‘운동계 방향으로 움직인다’는 응답은, 계의 운동만 고려하여 정지계에서 보이는 효과를 기술한 것이다.

이러한 결과를 〈표 2〉, 〈표 3〉과 비교하면, 정지계에서 관찰되는 내용을 운동계에서 관찰된 것으로 응답하였던 위의 두 문항과는 정반대의 결과를 볼 수 있다. 많은 학생들이 〈표 2〉와 〈표 3〉에서는 운동계에서 관측하는데도 불구하고 계의 운동을 고려하고, 〈표 4〉에서는 정지계에서 관측하는데도 오히려 계의 운동을 고려하지 않고 있다. 따라서, 물리적으로는 같은 상대속도가 관측되는 경우임에도 불구하고, 관측자의 상황에 따라서 학생들이 두 경우를 뒤바꾸어 응답하는 것을 알 수 있다.

한편, 〈표 2〉, 〈표 3〉과 〈표 4〉에서 모두 학생들은 대상이 ‘정지상태’로 관측된다고 생각하지 않고 운동하는 것으로 관측된다고 응답하였다는 것을 알 수 있다. 이는 학생들이 계나 대상 어느 쪽이라도 운동하는 것을 알고 있다면, 항상 이를 고려하여 운동을 파악하려는 경향을 가진 것이라고 볼 수 있

다. 즉, 계나 대상이 움직이는 것을 알고 있기 때문에 관측되는 속도가 0이라고 진술하지 못하는 것이다.

## 2. 상대속도가 0이 아닌 경우

### 1) 운동계에서 관측하는 경우

〈표 5〉는 운동계에서 관측하므로 대상의 운동만 관측되는 경우이다. 1-2-1과 1-3-1은 대상이 에스컬레이터라는 운동계 안에서 계의 운동방향의 반대와 같은 방향으로 각각 운동하고, 1-4-1은 지하철에서 반대로 운동하는 경우를 모두 그 운동계에서 관측하는 상황이다. 따라서, 학생들은 단지 대상의 운동만 관측된다고 응답해야 한다.

1-2-1에서는 정지상태라는 응답이 가장 빈도가 높고, 그 다음이 ‘계의 운동 방향으로’와 ‘계의 반대방향으로 빠르게’이다. 정지상태로 생각하는 것은 대상의 운동과 계의 운동을 합성한 결과를 정지계에서 생각하는 것으로서, 이는 〈표 4〉와는 달리 움직이는 것을 알고 있어도 속도가 0이라는 입장을 나타

〈표 5〉 운동계에서 운동상태로 보이는 대상의 오답 유형과 오답률(%)

학생의 오답 유형	오답률(%)		
	1-2-1	1-3-1	1-4-1
지면에서 볼 때 운동계와 같은 방향으로 빠르게	4.4	31.1	0.4
정지한 것으로 보임	18.7	5.2	4.4
지면에서 볼 때 운동계와 같은 방향으로	11.2	2.0	6.8
지면에서 볼 때 운동계의 반대로 빠르게	9.6		
운동계에서 볼 때 지면에 평행하게 계의 운동방향으로	4.4	6.8	
지면에서 볼 때 계와 비스듬하게	4.0	1.2	4.4
운동계에서 볼 때 지면에 평행하게 빠르게 계의 방향으로	2.4	3.6	
운동계에서 볼 때 지면에 평행하게 반대 방향으로	2.4	0.8	
운동계에서 볼 때 지면에 수직하게 위로	2.0	0.8	
지면에서 볼 때 운동계의 반대로	1.6	2.0	
운동계에서 볼 때 지면에 수직하게 아래로		2.0	
전체 오답률	60.7	55.5	16.0

낸 것이다. 다만, 이 경우도 <표 2>나 <표 3>처럼 정지계에서 관측되어야 할 내용을 운동계에서 관측되는 결과로 뒤바꾸어 진술한 경우이다.

'계의 반대방향으로 빠르게'라는 응답은 계와 대상의 운동을 모두 고려한 다음 이를 스칼라적으로 더한 것이고, '계의 운동 방향으로'라는 응답은 대상의 운동을 고려하지 못한 것이다. 즉, 이 응답들도 학생들이 운동계 안에서 관측함에도 불구하고 여전히 계의 운동을 고려하고 있다는 것을 의미한다.

1-3-1에서는 '계와 같은 방향으로 빠르게'라는 응답이 가장 빈도가 높는데 이는 역시 계의 운동을 고려하여 정지계에서 관측되는 결과를 진술한 것이다. 1-4-1은 비교적 오답률이 낮지만 그 중 대표적인 것은 '정지로 보인다'와 '지하철과 같은 방향으로 움직인다'이다. 전자는 역시 정지계에서 보이는 결과이고, 후자는 대상의 운동은 무시하고 계의 운동만 고려한 경우를 정지계에서 기술한 것이다. 즉, 이 두 문항에서도 학생들은 1-2-1과 같이 계의 운동을 여전히 고려하고 있다.

이러한 응답결과도 <표 2>와 <표 3>처럼 <표 4>에서 나타난 결과와 정반대이다. 여기서는 학생들이 대상의 운동과 계의 운동을 동시에 고려하기도 하지만, 이 때문에 정지계에서 보이는 결과를 운동계에서 보이는 것으로 잘못 생각하고 있다. 지금까지의 논의로 보면 학생들은 계의 운동과 대상의 운동이 복합된 운동을 동시에 고려하기는 하지만, 여전히 기준계를 뒤바꾸어 생각하는 경향이 있다는 것을 알 수 있다.

또한, 1-2-1과 1-3-1은 동일한 엘리베이터 내부이지만 대상의 운동 방향만 반대인 경우이다. 그러나, 이 두 문항의 응답 유형이 다르게 나타나는 것으로 미루어, 상황에 따라 학생의 응답이 달라진다는 것도 확인할 수 있다.

<표 6>에서 2-2-1과 2-3-1은 '지하철'과 '강물'이라는 운동계에 대하여 각각 수직으로 운동하는 공과 배의 움직임을 그 운동계에서 관측하는 상황이다. 따라서, 이 두 가지 상황은 물리적으로는 동일한 관측 결과를 기대할 수 있다.

여기서도 학생들은 운동계에서 관측하고 있음에도 불구하고, 계의 운동을 관측 결과에 포함시켜 생각하려는 경향이 나타난다. 그러나, 두 문항에서 대표적인 오답은 차이가 난다. 지하철의 경우는 대상의 운동에 계의 반대 방향 운동을 합성시켜 공이 계에 대하여 뒤쳐진다는 입장이 더 많이 부각되는 반면, 배의 경우는 대상의 운동과 계의 운동 방향을 합성하여 정지계에서 관측하는 입장이 더 많이 부각된다.

이러한 응답들은 역시 상황이 달라지면 학생의 생각이 어떻게 변화되는지 보여주는 것이다. 지하철의 경우 학생들은 공이 굴러 가는 동안 지하철이 이동하므로 결국 상대적인 위치가 달라진다고 생각한다. 이 동안은 정지계에서 생각하는

<표 6> 2-2-1\*, 2-3-3\*의 오답 유형과 오답률(%)

문항번호	오답률(%)	
	2-2-1	2-3-3
지면에서 볼 때 계의 방향+대상의 운동 방향으로	8.0	21.9
지면에서 볼 때 계의 반대방향+대상의 운동 방향으로	9.6	14.7
지면에서 볼 때 계의 방향으로	7.6	12.7
지면에서 볼 때 계와 반대방향으로	6.4	6.8
정지	1.2	1.2
지면에서 볼 때 계의 방향+대상의 운동 반대방향으로	0.8	4.4
지면에서 볼 때 대상의 운동과 반대방향으로	0.4	2.4
지면에서 볼 때 계와 반대방향+대상의 운동 반대방향으로	0.4	1.2
전체 오답률	34.4	65.3

\* 운동계에서 계와 수직으로 움직이는 대상 관측

결과를 고려하는 것이다. 그런 다음 공이 맞은 편에 도착할 때는 상대적 위치가 달라져 있으므로 지하철을 기준으로 보면 공이 후퇴한 것이라고 생각하여, 운동계인 지하철로 기준계가 바뀐 것이다. 이를 다시 정지계에서 관측하는 공의 원래 운동과 합성함으로써, 결국 운동계에 관찰된 것으로 잘못 생각한 내용을 정지계에서 관찰되는 내용에 포함시킨 것으로 볼 수 있다. 이에 비하여 강을 건너는 배의 경우는 강물과 같이 흘러가는 운동을 고려하고 있다. 그렇지만, 이러한 생각을 지면을 기준으로 하여 수행하기 때문에 결국 지면을 기준으로 관찰한 결과를 제시한 것이다.

결국 이 두 문항에서도 학생들은 <표 2>와 <표 3>의 경우처럼 정지계에서 관찰되는 결과를 운동계에서 관찰되는 것으로 잘못 생각할 뿐 아니라, <표 5>의 결과와 마찬가지로 그러한 응답이 상황에 따라 달라진다는 것을 보여주고 있다.

2) 정지계에서 관측하는 경우

<표 7>은 정지계에서 관찰할 때 운동상태로 보이게 되는 세 가지 문항에 대한 학생의 오답 유형을 나타낸 것이다. 1-1-2는 운동하는 계 안에서 운동이 없는 대상을 정지계에서 관측하고, 2-1-1과 2-1-2는 어느 정지계에 대하여 대상의 운동하는 대상을 다른 정지계에서 관측하는 상황이다.

1-1-2에서는 속도가 2배로 관측된다는 응답이 가장 높은 빈도이고, 2-1-1, 2-2-1은 모두 계가 운동한다고 잘못 생각하고

〈표 7〉 정지계에서 운동상태로 보이는 대상의 오답 유형과 오답률(%)

학생의 오답 유형	오답률(%)		
	1-1-2	2-1-1	2-1-2
지면에서 볼 때 운동계와 같은 방향으로 빠르게	17.1		
운동계에서 볼 때 지면에 평행하게 계의 운동방향으로	5.6		
지면에서 볼 때 운동계와 같은 방향으로 느리게	3.2		
운동계에서 볼 때 지면에 평행하게 빠르게 계의 방향으로	2.0		
지면에서 볼 때 운동계의 반대로	2.0	0.8	1.6
정지한 것으로 보임	1.6	1.2	4.8
운동계에서 볼 때 지면에 수직하게 아래로	1.6		
지면에서 볼 때 계와 비스듬하게 계가 운동한다고 생각하고 그 방향으로	1.2	3.2	6.0
계가 운동한다고 생각하는 방향+대상의 운동 방향		2.0	6.8
계가 운동한다고 생각하는 반대 방향		2.4	
계가 운동한다고 생각하는 방향 +대상의 운동 반대방향		2.0	1.6
전체 오답률	34.3	11.6	20.8

그 상태에서도 잘못 응답한 경우이다. 2-1-1은 운동계에서 관측하므로 대상의 운동만 언급해야 하는데 계의 운동을 같이 고려하고 있고, 2-2-1은 정지계에서 관측해야 하는데도 불구하고 대상의 운동을 무시하거나 속도를 잘못 합성하고 있다. 이 두 문항은 오답률이 비교적 낮고 여기 나타난 오답은 대체로 문제를 잘못 이해한 것에 기인한다. 따라서, 1-1-2을 기준으로 해석한다면 학생들이 운동계 내에서 운동이 없는 대상을 관측할 때, 계가 운동하므로 정지계에서 볼 때 대상이 운동하는 것으로 관측된다고 일단 옮겨 생각하였지만, 이를 운동계에서 볼 때 대상이 운동하는 것으로 다시 계를 혼동한 다음, 다시 이를 합성하여 이중으로 생각한 것이다. 여기서도 운동계에서 관측하는 내용을 정지계의 관측 결과로 생각하려는 경향이 나타난다.

〈표 8〉은 문항 1-3-2에 대한 오답 유형이다. 이 문항은 에스컬레이터라는 운동계 내부에서 그 계와 같은 속력, 방향으로 운동을 하고 있는 대상을 지면에서 관측하므로, 대상의 속도가 계의 2배로 관측되는 상황이다.

빈도가 가장 높은 오답은 지면에서 볼 때 운동계와 같은 방

〈표 8〉 1-3-2\*의 오답 유형과 오답률(%)

학생의 오답 유형	오답률(%)	
지면에서 볼 때 운동계와 같은 방향으로	25.1	
운동계에서 볼 때 지면에 평행하게 빠르게 계의 방향으로	6.0	
운동계에서 볼 때 지면에 평행하게 계의 운동방향으로	5.2	
지면에서 볼 때 계와 비스듬하게	3.6	
운동계에서 볼 때 지면에 평행하게 반대 방향으로	2.8	
운동계에서 볼 때 지면에 수직하게 아래로	2.0	
정지한 것으로 보임	1.6	
지면에서 볼 때 운동계의 반대로	1.2	
전체 오답률	47.5	

\* 정지계에서 계의 방향의 2배속도로 보이는 대상

향으로 움직인다고 하는 것이다. 이는 1-1-2와는 반대로, 지면에서 볼 때 계의 운동과 대상의 운동이 합성되어 2배로 관측된다는 점을 고려하지 못하여, 운동계에서 보는 대상의 운동만을 기술하고 있는 경우이다. 그 이외에도 지면에서 관측한 내용이 아니라 운동계에서 관측하는 내용에 가까운 것들이 높은 빈도를 나타내고 있다. 〈표 4〉의 경우처럼 이 문항에도 역시 학생들은 지면에서 관찰함에도 불구하고 계의 운동을

〈표 9〉 2-2-2\*, 2-3-2\*의 오답 유형과 오답률(%)

학생들의 오답 유형	오답률(%)	
	2-2-2	2-3-2
지면에서 볼 때 물체의 대상의 운동 방향으로	13.5	40.6
지면에서 볼 때 계의 방향으로	19.1	8.0
지면에서 볼 때 계와 반대방향+대상의 운동 방향으로	17.1	2.8
지면에서 볼 때 계와 반대방향으로	5.2	3.2
정지	4.0	0.4
지면에서 볼 때 계와 방향+대상의 운동 반대방향으로	2.0	1.6
지면에서 볼 때 대상의 운동과 반대방향으로	1.6	1.2
지면에서 볼 때 계와 반대방향+대상의 운동 반대방향으로	0.4	0.4
전체 오답률	62.9	58.2

\* 정지계에서 운동계와 수직으로 움직이는 대상 관측

무시하여, 운동계에서 관측되는 내용들을 정지계의 관찰 결과로 잘못 생각하고 있음을 알 수 있다.

〈표 9〉에서 2-2-2와 2-3-2는 모두 운동하는 계와 수직으로 대상의 운동하는 대상을 정지계에서 관측하는 상황이다. 단지 두 문항의 차이는 2-2-2는 대상이 지하철 안에서 맞은 편을 향하여 던져진 공이고, 2-3-2는 강을 건너는 배가 대상이라는 점이다.

물리적으로는 일치하는 응답이 나올 것으로 예상되지만, 이 두 문항에서 대표적인 오답유형의 분포가 〈표 6〉처럼 차이가 많다. 2-2-2에서는 '운동계의 방향으로 관측된다'의 빈도가 가장 높는데, 이는 정지계에서 관측함에도 불구하고 대상의 운동은 전혀 고려하지 않는 것이다. 또한, '계의 반대방향과 대상의 운동이 합성된 방향'도 비슷한 빈도를 보인다. 반면에 2-3-2의 경우는 계의 운동은 고려하지 않고 대상의 운동만 고려하는 경향이 강하다. 따라서, 이 두 문항에서 모두 학생들은 지면에서 관측함에도 불구하고 대상과 계의 운동을 올바르게 합성하여 생각하지 못한다. 또한, 이 두 문항의 응답 차이는 물리적으로 동일한 해석이 가능하더라도 상황이 달라짐에 따라 학생들은 정반대로도 생각한다는 〈표 5〉, 〈표 6〉의 결과를 확인하는 것이다.

#### IV. 결론 및 시사점

본 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

첫째, 중학교 1학년 학생들은 운동을 관측할 때 정지계에서 관측되는 결과를 운동계에서 관측되는 결과로, 운동계에서 관측되는 결과를 정지계에서 관측되는 결과로 뒤바꾸어 정반대로 생각하는 경향이 있다.

둘째, 물리적으로 관측결과가 같은 경우에도 상황이 다르더라도 학생들의 응답은 상황에 따라 달라지기도 하였다.

셋째, 위 두 결론으로부터 중학교 1학년 학생들은 운동을 관측할 때 기준계가 달라지면 관측결과가 다르다는 것을 생각할 수는 있지만, 이를 타당하게 적용하지는 못한다는 것을 알 수 있다.

중학교 1학년 학생들이 항상 지면만을 기준계로 고정시켜 생각하는 것이 아니라, 비록 타당하지는 않더라도 기준계가 달라짐에 따라 관측 결과의 차이를 생각한다는 것은 이들이 운동의 상대성에 대하여 막연하지만 어떠한 관념을 가지고 있다는 의미로 볼 수 있다. 따라서, 적절한 학습方略의 적용을 통하여 이러한 생각이 타당하게 적용될 수 있도록 한다면, 이를 토대로 하여 역학 개념을 학습하는 새로운 교육과정을 구안하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

#### 참고 문헌

- 김재우, 오원근, 박승재 (1997). 수평 및 낙하운동에 대한 과학사적 대립개념의 대비적 토론이 무중력 상황 도입을 통한 중학교 1학년 학생의 개념 변화에 미친 효과, 한국과학교육학회지, 제17권 1호, 31-44.
- 황정규 (1992). 학교학습과 교육평가, 교육과학사.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
- Cohen, I. (1967). Newton's second law and the concept of force in principia, *History of physics*, ed. S. Brush, AAPT (1993).
- Dykstra, D. Boyle, C., and Monarch, I. (1992). Studying conceptual change in learning physics, *Science Education*, 76(6), 615-652.
- Eckstein, S., Shemesh, M. (1989). Development of children's ideas on motion: intuition vs. logical thinking, *International Journal of Science Education*, 11(3), 327-336.
- Galili, I, Bar, V.(1992). Motion implies force: where to expect vestiges of the misconception?, *International Journal of Science Education*, 14(1), 63-81.
- Galili, I., Kaplan, D. (1997). Extending the application of the relativity principle: Some pedagogical advantage, *American Journal of Physics*, 65(4), 328-334.
- Halloun, A. Hestenes, D.(1985). Common sense conception about motion, *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065.
- Lowell(1989). Piagetian Epistemology: Equilibration and the teaching of science, *Synthese*, 80, 141-162.
- Marioni, M., Ogborn, J.(1991). Toward an ontology of common-sense reasoning, *International Journal of Science Education*, 13, 1, 69
- Marquit, E.(1990). A plea for a correct translation of Newton? law of inertia, *American Journal of Physics*, 58, 9, 867,
- McCloskey(1983). Intuitive Physics, *Scientific American*, April, 52-58.
- McDermott, L.(1984). Research on nonconceptual understanding in mechanics, *Physics Today*, 84(7), 24-33.



Newton, I.(1687). Principia, tr. F. Cajori, Berkeley, California (1960)  
Viennot, L.(1979). Spontaneous reasoning in elemen-

tary dynamics, *European Journal of Science Education*, 1(2), 205

(ABSTRACT)

## Preconceptions on the Reference Frame and Relativity of Motion of Grade 7 Pupils

Won Kun Oh · Jaewoo Kim  
(Seoul National University)

To investigate the preconceptions on the reference frame and relativity of motion, 251 of grade 7 pupils were selected. The questionnaire has 15 questions consisted of four test domains made by the researchers: object looks rest or moving in the rest frame, object looks rest or moving in the moving frame. The result shows that pupils took the observations in the moving frame for those in the rest frame, or vice versa. In addition, their answers varied according as the context of the observation differed.