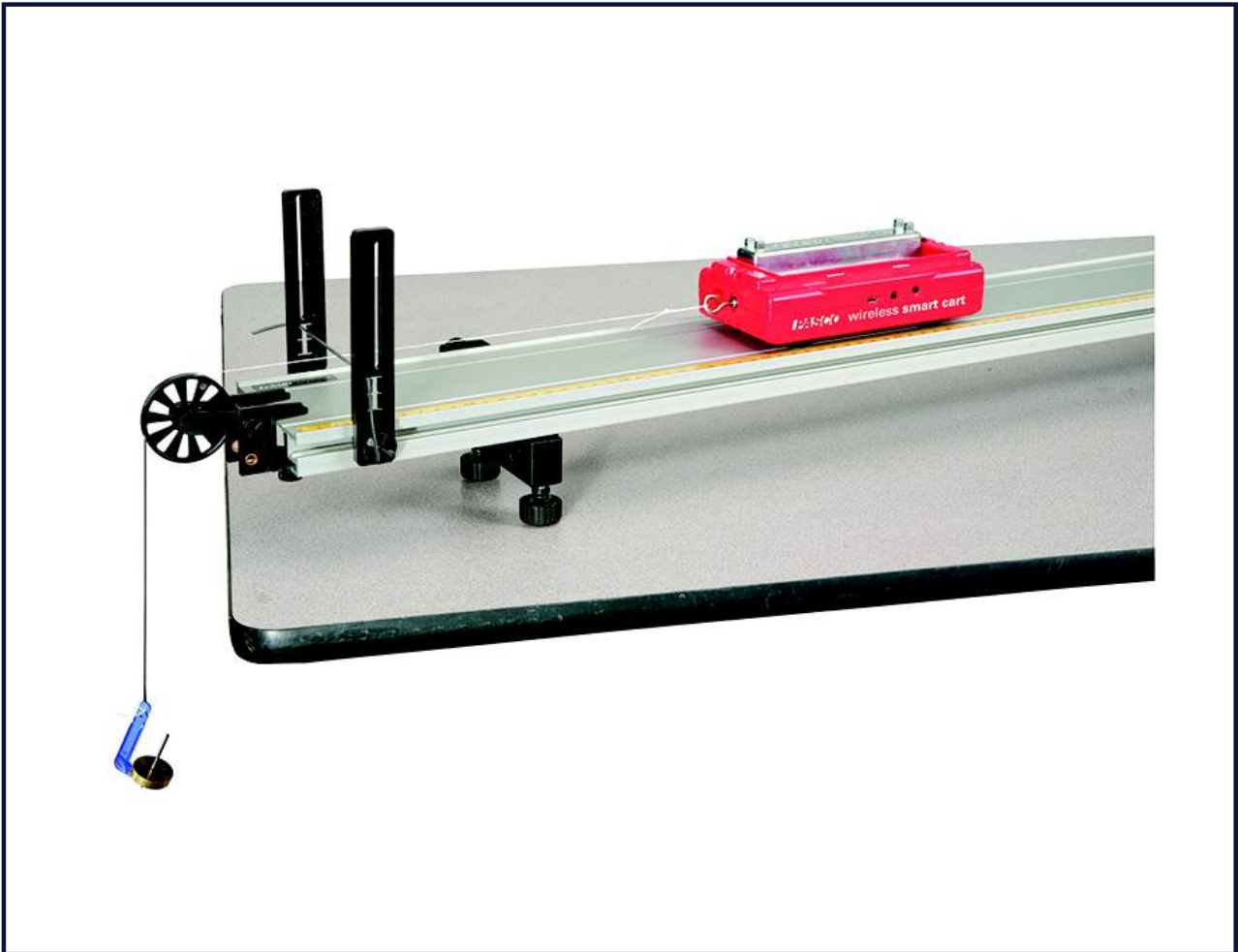


뉴턴의 운동 제2법칙



실험 개요

힘과 가속도, 힘과 질량 사이의 관계를 확인한다.

실험 장비

센서 및 실험 기구	Wireless Smart Cart	ME-1240
	1.2m Metal Track	ME-9493
	Track Feet (1 pair)	ME-8972
	Track Endstop	ME-8971
	Cart Mass 250g (2)	ME-6757A
	Super Pulley with Clamp	ME-9448B
	Elastic Bumper (1 pair)	ME-8998-1
	Physics String 1m	SE-8050-1
	Hooked Mass Set(10g 3개, 20g 3개)	
전자저울		
인터페이스	Bluetooth 4.0 Adapter	PS-3500
소프트웨어	PASCO SPARKvue® Software	

배경 이론

운동하는 물체의 가속도 **a**는 그 물체에 작용하는 알짜 힘 **F**에 비례하고 질량 **m**에 반비례한다. 이를 가속도 법칙 또는 뉴턴의 운동 제2 법칙이라고 한다.

$$a = \frac{F}{m} \rightarrow F = ma$$

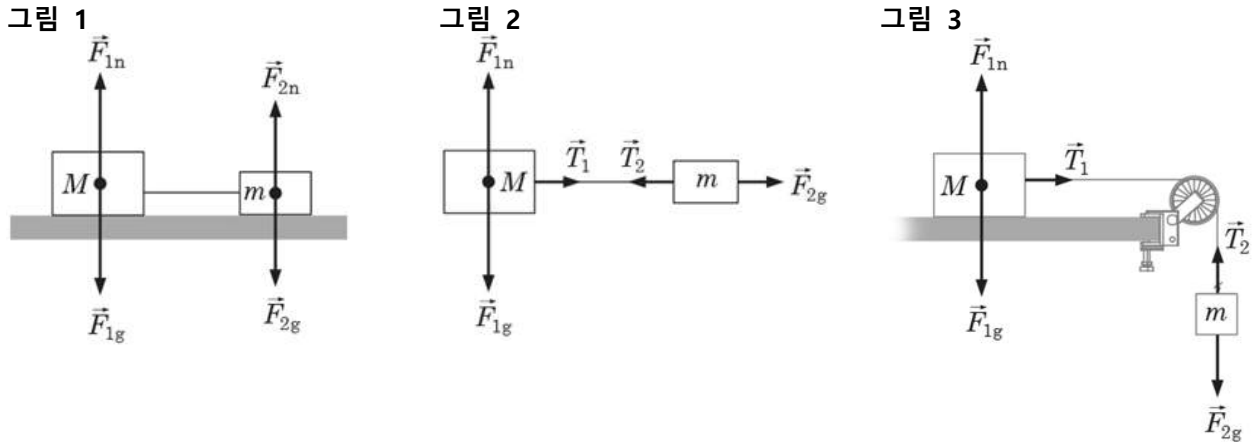
여기서 힘 **F**와 가속도 **a**는 크기와 방향을 포함하는 벡터이며, 단위는 각각 N(kg·m/s²), m/s²이다.

알짜 힘이란 물체에 작용하고 있는 모든 힘의 벡터 합이다. 예를 들어, 크기가 같고 방향이 정반대인 2개의 힘에 의한 알짜 힘은 0이 된다. 뉴턴의 운동 제2 법칙에 따르면, 물체에 작용하는 알짜 힘이 0일 때 물체의 가속도는 0이 된다. 나란하지 않은 방향으로 서로 다른 크기의 힘 2개가 물체에 작용하는 경우, 두 힘 벡터의 합의 방향으로 물체는 가속된다.

장비 설치

이 실험에서는 힘 센서를 이용하여 카트를 당기는 힘을 측정하고, 위치 센서를 이용하여 속도의 변화를 측정한다. 가속도는 단위 시간 당 속도의 변화로 정의되므로, 속도-시간 그래프의 기울기를 확인하여 가속도를 구할 수 있다.

※ 지도상 유의점



이 실험에서는 그림 3과 같은 방식으로 질량 M 인 카트에 질량 m 인 추를 매단다. 이때, 스마트 카트의 힘 센서가 측정하는 힘이 \vec{F}_{2g} 가 아님을 유의한다. 힘 센서가 측정하는 힘은 그림 3에서 줄의 장력인 \vec{T}_1 에 해당한다.

질량 m 인 물체	질량 M 인 물체
$F_{2g} = mg$	$T_1 = Ma$
$F_{2g} - T_2 = ma$	$T_1 = -T_2 = ma - mg$
$T_2 = mg - ma$	$mg = (M + m)a$

1. SPARKvue 소프트웨어의 바로가기 화면에서 왼쪽 하단의 'PASCO 실험 열기' 버튼을 누른다.



2. Essential Physics > 05A_Newtons Second Law 파일을 선택한 다음, '확인'을 누른다.

3. 오른쪽 상단의 '무선장치' 아이콘을 클릭한다.



스마트 카트의 전원을 켜 다음, '연결할 무선 장치 선택' 목록에서 장치를 선택한다. '연결된 장치' 목록에 올바르게 나타나면 '완료'를 누른다.

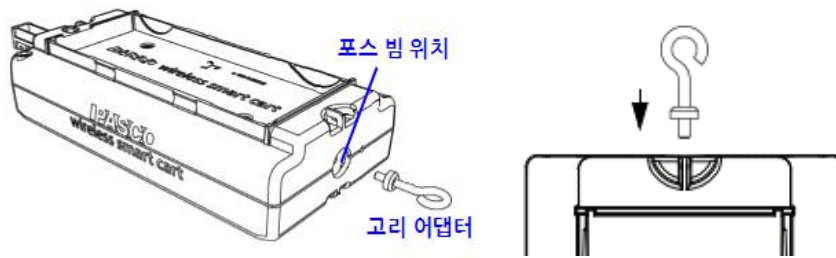
4. 화면 왼쪽 하단의 샘플링 속도가 40Hz로 설정되어 있는지 확인한다.
(일부 태블릿 PC에서 기본 설정이 40Hz로 나타나지 않는 경우, 오른쪽 샘플링 옵션 아이콘을 클릭하여 변경한다.)



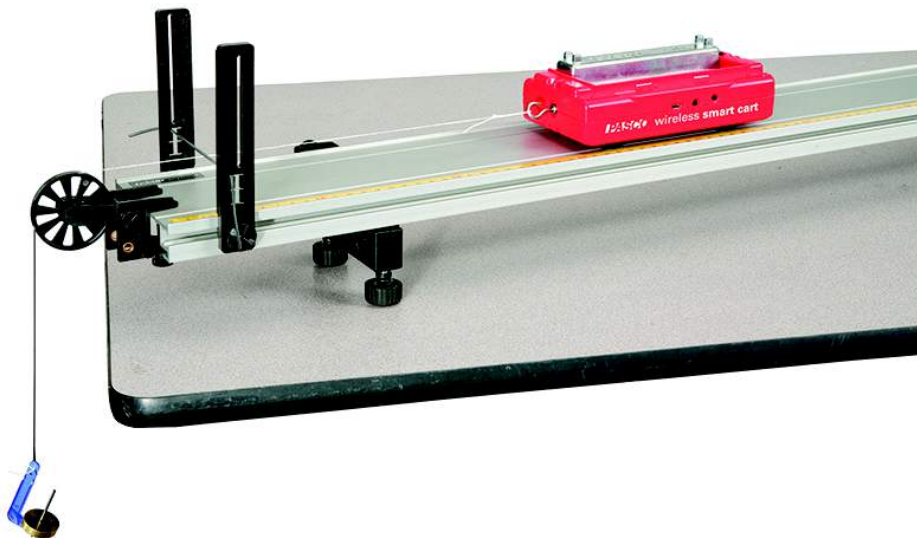
5. 트랙과 스마트 카트를 아래와 같이 설치한다. 트랙의 발(Track Feet)을 이용하여 트랙의 수평을 조절한다. (카트에 힘을 가하지 않고 트랙의 중앙에 놓았을 때 카트가 한쪽으로 움직이지 않도록 조절한다.)



6. 스마트 카트 앞부분의 자석 범퍼를 제거한 다음, 고리 어댑터를 부착한다.



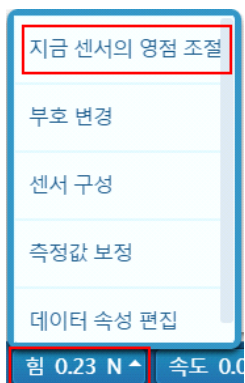
7. 도르래를 트랙의 한쪽 끝에 부착하고, 도르래를 부착한 쪽이 테이블의 가장자리에 오도록 트랙을 배치한다.



8. 위 그림과 같이 고무줄 범퍼를 도르래의 앞쪽에 설치하여, 카트와 도르래의 충돌을 방지한다.

9. 전자저울로 카트의 질량을 측정하여 기록한다.

10. 스마트 카트 힘 센서의 영점을 조절한다. (SPARKvue 화면 왼쪽 하단 실시간 데이터 막대에서 '힘' 버튼 클릭 > '지금 센서의 영점 조절' 선택)



11. 카트를 트랙 위에 올려놓는다.
12. 약 1m 길이의 실의 한쪽 끝을 카트 앞쪽의 고리에 묶고, 반대쪽 끝에 10g 추를 매단다.
13. 실을 도르래에 걸고, 실이 트랙 평면에 나란하도록 도르래의 각도를 조절한다.

실험 과정

1. 실에 매달린 추가 도르래에 닿지 않도록 주의하면서 카트를 최대한 멀리 잡아당긴다.
2. 소프트웨어 가운데 하단의 측정 시작 버튼을 누른 후, 카트를 조심스럽게 놓는다. 카트가 고무줄 범퍼에 부딪히면 측정 중지 버튼을 누른다.



3. 그래프 도구 막대에서 '크기 맞춤' 아이콘을 클릭하여 그래프 축의 스케일을 화면에 맞추어 확대한다.

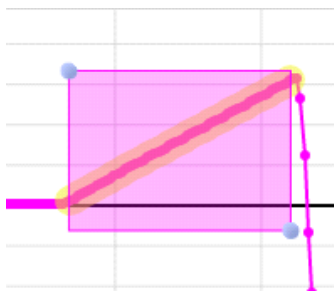


4. 속도-시간 그래프에서 카트가 운동을 시작한 후 일정하게 속도가 증가하는 영역을 선택하여 '선형 맞춤'을 적용한다. 기울기 값(m)을 기록해둔다.

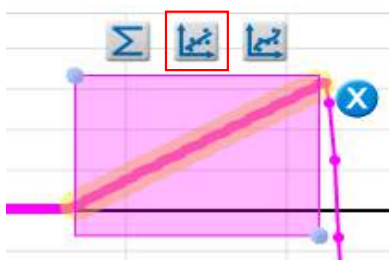
- 1) Y1(속도) 데이터 선택



- 2) 영역 지정 도구 선택 - 분석할 영역 지정



- 3) 선형 맞춤 도구 - 기울기 m값 확인

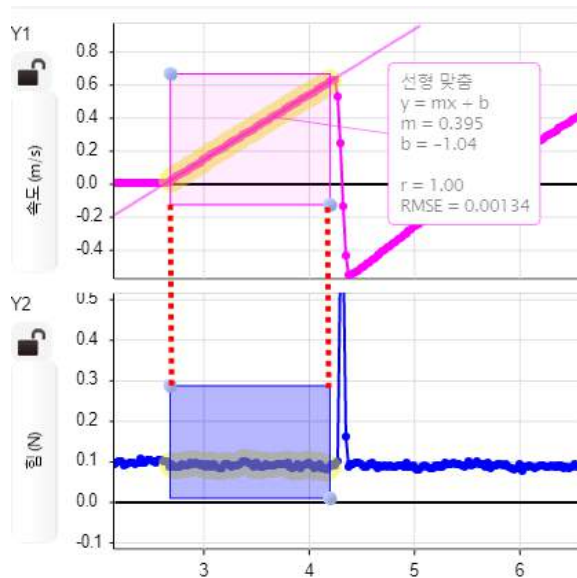


5. 힘-시간 그래프에서 카트가 운동을 시작한 후 힘이 일정하게 측정되는 영역을 선택하여 '통계 > 평균'을 적용한다. 힘의 평균값을 기록해둔다.

1) Y2(힘) 데이터 선택

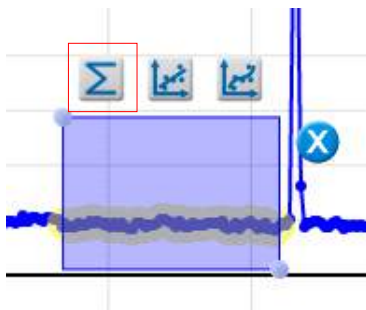


2) 영역 지정 도구 선택 - 분석할 영역 지정



※ 속도-시간 그래프에서 지정 영역과 최대한 비슷한 시간 동안의 데이터를 포함시킬 것. 운동 시작 전의 측정값이 포함되지 않도록 주의한다.

3) 통계 - 평균 선택



6. 매달린 추의 질량을 10g씩 늘려가며 과정 1-4를 총 5번 반복한다.

[힘 vs. 가속도 그래프 그리기]

- 화면 위쪽의 페이지 이동 화살표를 눌러 두 번째 페이지(Force versus Acceleration)로 이동한다. 알짜 힘(net force)과 가속도(acceleration)에 대한 표와 그래프가 나타난다.
- 앞에서 매달린 추의 질량을 10g부터 50g까지 바꾸어 5번의 측정을 실행한 경우, 총 5개의 실행이 기록되어 있을 것이다. 표의 '실행 표시' 라벨에서 마지막 실행(예: 실행 5)을 각각 선택한다.



- 기록해두었던 힘의 평균값과 속도 그래프의 기울기를 표의 마지막 실행(예: 실행 5) 아래에 있는 1~5 번째 행에 차례로 누적하여 입력한다. 힘의 평균값을 net force 열에, 속도-시간 그래프의 기울기를 acceleration 열에 기록한다.
- 화면 오른쪽 하단의 '실험 도구' 아이콘을 클릭한다. '실행 관리'를 선택하여 누적 데이터를 입력한 실행(예: 실행 5)을 선택한 다음, '카트'로 이름을 변경한다.



[카트의 질량 변경]

- 250g 질량 막대 1개를 카트 위에 올려놓고, 첫 번째 페이지로 돌아가 과정 1-6의 실험을 반복한다.
- 화면 위쪽의 페이지 이동 화살표를 눌러 두 번째 페이지(Force versus Acceleration)로 이동한다.
- 매달린 추의 질량을 10g부터 50g까지 바꾸어 5번의 측정을 더한 경우, 총 10개의 실행이 기록되어 있을 것이다. 표의 '실행 표시' 라벨에서 마지막 실행(예: 실행 10)을 각각 선택한다.
- 기록해두었던 힘의 평균값과 속도 그래프의 기울기를 표의 마지막 실행(예: 실행 10) 아래에 있는 1~5번째 행에 차례로 누적하여 입력한다. (앞서 입력해두었던 '카트' 데이터가 실행 10에 그대로 표시되어 나타날 것이다. 실행 10 아래의 1~5번째 행의 데이터를 삭제하고 그 위에 새로운 데이터를 입력해야 한다.)
- 하단의 '실험 도구' 아이콘을 클릭한다. '실행 관리'를 선택하여 두 번째 누적 데이터를 입력한 실행(예: 실행 10)을 선택한 다음, 'Cart+250g'으로 이름을 변경한다.



16. 250g 질량 막대 2개를 카트 위에 올려놓고, 첫 번째 페이지로 돌아가 과정 1-6의 실험을 반복한다.
17. 화면 위쪽의 페이지 이동 화살표를 눌러 두 번째 페이지(Force versus Acceleration)로 이동한다.
18. 매달린 추의 질량을 10g부터 50g까지 바꾸어 5번의 측정을 더한 경우, 총 15개의 실행이 기록되어 있을 것이다. 표의 '실행 표시' 라벨에서 마지막 실행(예: 실행 15)을 각각 선택한다.
19. 기록해두었던 힘의 평균값과 속도 그래프의 기울기를 표의 마지막 실행(예: 실행 15) 아래에 있는 1~5번째 행에 차례로 누적하여 입력한다. (앞서 입력해두었던 '카트+250g' 데이터가 실행 15에 그대로 표시되어 나타날 것이다. 실행 15 아래의 1~5번째 행의 데이터를 삭제하고 그 위에 새로운 데이터를 입력해야 한다.)
20. 하단의 '실험 도구' 아이콘을 클릭한다. '실행 관리'를 눌러 세 번째 누적 데이터를 입력한 실행(예: 실행 15)을 선택한 다음, 'Cart+500g'으로 이름을 변경한다.



[힘 vs. 가속도 그래프 비교]

21. 두 번째 페이지 오른쪽의 힘 vs. 가속도 그래프의 범례 상자에서, 이름을 변경해 둔 3개의 실행만을 체크 표시한다.



22. 힘 vs. 가속도 그래프를 관찰한다. 각 실행을 선택하여 기울기(m 값)를 확인한다.



실험 결과

카트의 질량 (kg)	추의 질량(kg)	알짜힘 (N)	가속도 (m/s^2)
카트의 질량 :	0.010		
	0.020		
	0.030		
	0.040		
	0.050		
(카트 + 0.250kg 질량 막대 1개)의 질량 :	0.010		
	0.020		
	0.030		
	0.040		
	0.050		
(카트 + 0.250kg 질량 막대 2개)의 질량 :	0.010		
	0.020		
	0.030		
	0.040		
	0.050		

1. 각 실행에서, 카트가 운동하는 동안 카트에 작용하는 알짜 힘과 카트의 운동 속도는 시간에 따라 어떻게 달라지는가?
2. 카트의 질량이 일정할 때, 카트에 작용하는 알짜 힘과 가속도 사이에는 어떤 관계가 있는가?
3. 카트의 질량을 증가시켰을 때, 힘-가속도 그래프의 기울기가 어떻게 달라지는지 비교해보자. 힘-가속도 그래프의 기울기는 무엇을 의미하는가?
4. 카트에 작용하는 힘이 일정할 때, 카트의 질량에 따라 가속도는 어떻게 달라지는가?