

10 주차

스마트 카트를 활용한  
운동량 보존 법칙

# 1. 실험목적

- 두 물체가 짧은 상호 작용(탄성, 완전 비탄성, 폭발)하는 경우 상호 작용 전후에 선운동량이 보존되는지 확인하여 운동량 보존법칙을 이해하고 상호 작용 전후의 운동에너지가 보존되는지도 확인한다.

# 서론

- 탄성 및 비탄성 충돌은 질량이 다른 두 개의 역학 카트로 수행된다. 마그네틱 범퍼는 탄성 충돌에 사용되며, Velcro® 범퍼는 완전 비탄성 충돌에 사용된다. 두 경우 모두 운동량은 보존된다.
- 카트 속도는 카트의 속도 센서로 기록된다. 카트의 마찰이 미치는 영향은 매우 작다. 충돌 전후의 총 운동 에너지도 연구한다
- 폭발, 탄성충돌, 완전 비탄성충돌을 스마트 카트를 이용하여 실험을 실시하고 운동량 보존의 법칙을 확인하고 또한 에너지의 보존 여부를 확인한다.

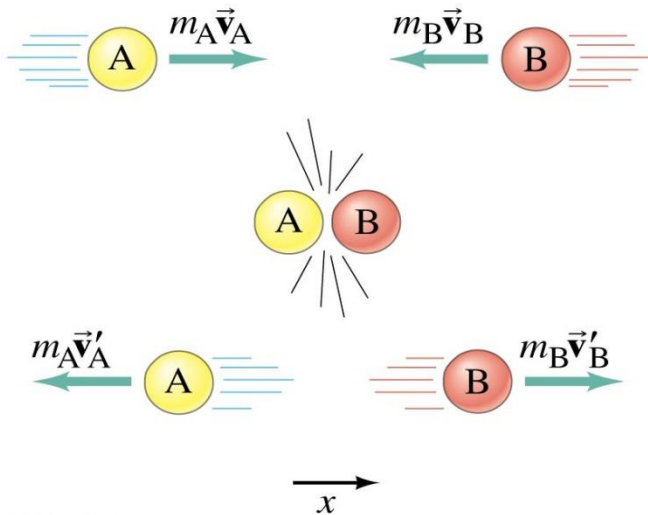
.

## 2 이론

알짜 외력이 작용하지 않을 때 충돌하는 두 물체 전체 계의 총운동량은 보존된다

충돌전의 운동량 = 충돌 후의 운동량

$$m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B = m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B \quad [\sum \vec{F}_{\text{ext}} = 0]$$



두 개의 충돌하는 공으로 이루어진 계의 **전체 운동량 벡터는 보존**된다

운동량 보존 법칙(law of conservation of momentum)의 일반적인 표현: 고립계의 전체 운동량은 일정하게 유지된다.

어떠한 충돌에서나 운동량은 보존 된다.

충돌에서 운동에너지도 보존되면 **탄성충돌**,  
보존되지 않으면 **비탄성 충돌**이라 한다.

**탄성충돌:** 운동량, 운동에너지 보존

충돌 전 전체 운동 에너지 = 충돌 후 전체 운동 에너지

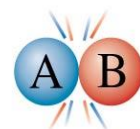
$$\frac{1}{2}m_A v_A^2 + \frac{1}{2}m_B v_B^2 = \frac{1}{2}m_A v_A'^2 + \frac{1}{2}m_B v_B'^2$$

**비탄성 충돌:** 운동에너지 보존 안됨

완전 비탄성 충돌은 한 덩어리가 되어 같은 속도로  
날아가는 것이다.



(a) 접근



(b) 충돌



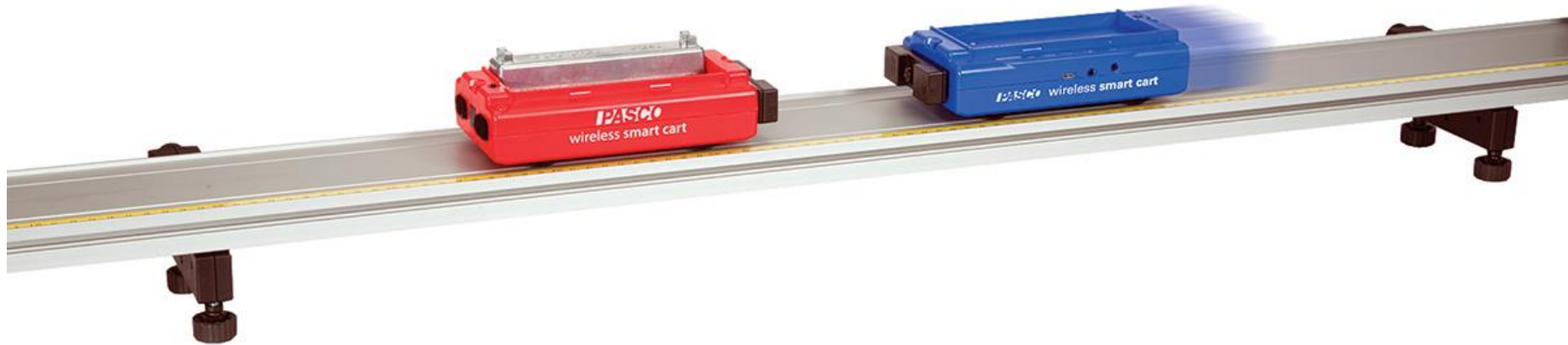
(c) 탄성 충돌



(d) 비탄성 충돌

### 3. 실험기구 및 장치

- 역학트랙, 자기 범퍼, 벨크로 범퍼, 수준기
- 센서 실험장치: data 수집 및 분석 software (Capstone), 스마트 카트 2대, 500g 추



# 4. 실험방법

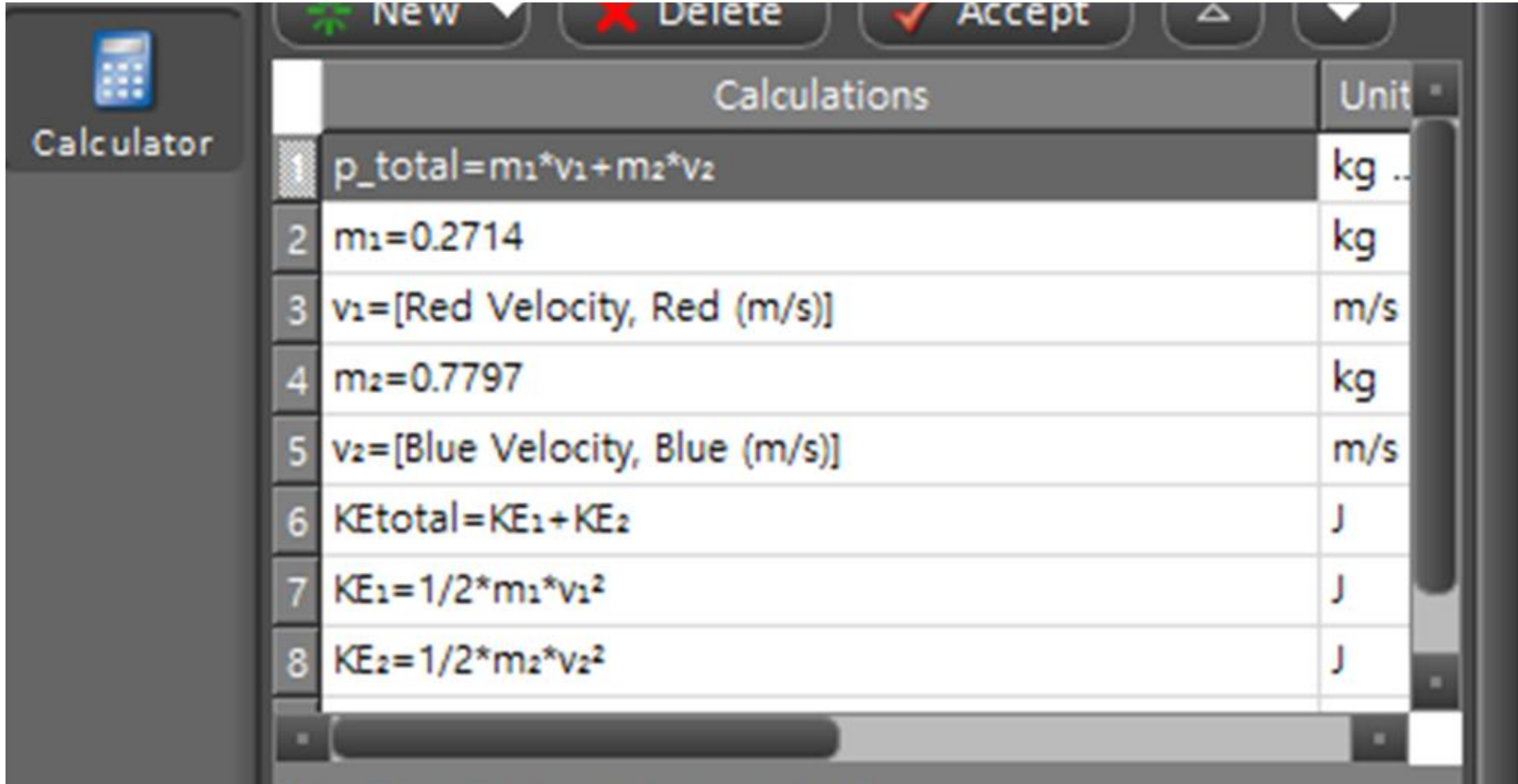
## 준비1

1. 역학 트랙을 설치하고 양쪽 끝에는 자기범퍼를 설치한다
2. Red 와 Blue의 두 Smart Cart에 자석 범퍼를 장착한다.
3. 트랙위에 수준기를 올려놓고 좌우 수평을 맞춘다. 어느 쪽으로도 살짝 움직였을 때 가속되지 않아야 한다.
4. 두 카트의 질량과 사용할 500g 추의 질량을 정밀 측정한다. 유효숫자 4개

## 준비2

1. 캡스톤 실행
2. 스마트카트 연결하고 내장된 센서 (위치, 속도)를 설정한다(샘플링 50Hz)
3. 표와 그래프 모드로 선택하여 표의 칼럼을 추가하여 시간, 속도(Red), 속도(Blue), 그래프는 속도-시간 그래프에 속도(Red), 속도(Blue)를 동일한 축에 나오도록 설정
4. 속도의 부호를 확인한다. **측정자의 입장에서 볼 때 두 수레의 속도가 오른쪽으로 움직일 때 양수가 되도록 한다**
5. 파란색 카트가 빨간색 카트의 오른쪽에 있는 상태에서 마그네틱 범퍼가 모두 오른쪽에 있게 둔다. 측정을 시작하고 두 카트를 오른쪽으로 민다. 두 속도 모두 양수여야 한다. (카트를 움직여 확인해 본다. **카트는 카트의 마그네틱 범퍼 방향으로 움직일 때 양의 속도로 인식함**)
6. 함수를 추가하고 그래프에 총운동량과 총운동에너지 그래프를 각각 추가한다

운동량과 운동에너지에 대해 함수를 선언하고 그래프에 추가 한다  
(주의 : 질량값의 소수점 아래숫자 개수를 서로 일치시켜야 함)



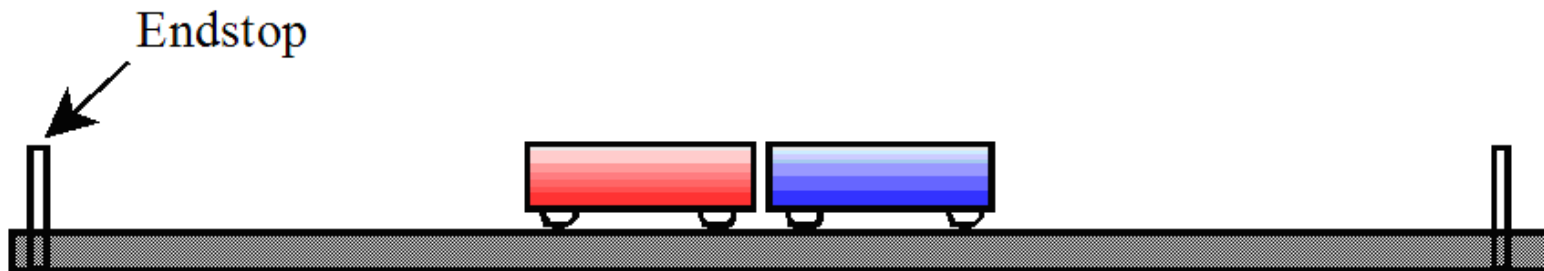
The screenshot shows a software interface with a 'Calculator' icon on the left and a table titled 'Calculations' on the right. The table has two columns: 'Calculations' and 'Unit'. It contains eight rows of data, with the first row highlighted. The calculations involve mass (m1, m2), velocity (v1, v2), and kinetic energy (KE1, KE2, KEtotal). The units are kg, m/s, and J.

	Calculations	Unit
1	$p_{total} = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$	kg ..
2	$m_1 = 0.2714$	kg
3	$v_1 = [\text{Red Velocity, Red (m/s)}]$	m/s
4	$m_2 = 0.7797$	kg
5	$v_2 = [\text{Blue Velocity, Blue (m/s)}]$	m/s
6	$KE_{total} = KE_1 + KE_2$	J
7	$KE_1 = 1/2 \cdot m_1 \cdot v_1^2$	J
8	$KE_2 = 1/2 \cdot m_2 \cdot v_2^2$	J



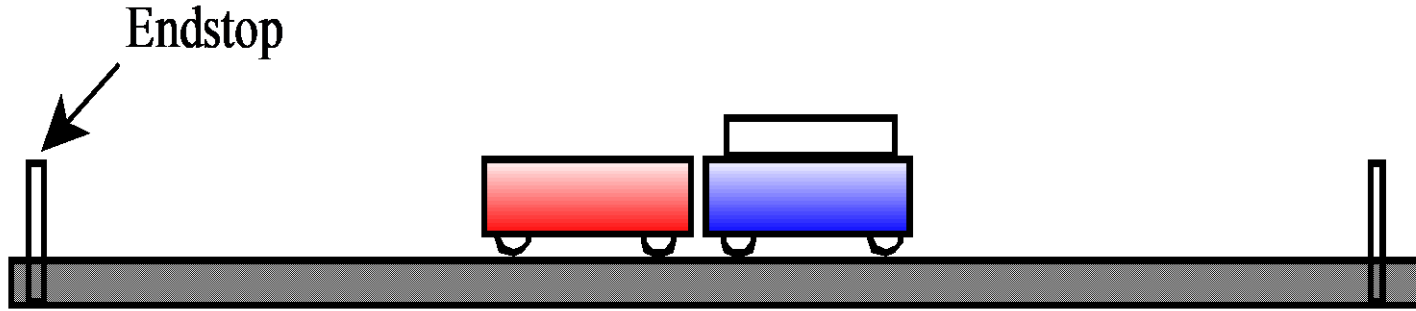
# 4 실험방법

## 실험1. 폭발- A. 동일 질량 카트



- 1) 카트의 플런저를 눌러 2번 위치에 놓는다. 한 카트가 다른 카트와 접촉하고 있는 한 어느 플런저가 눌러 있는 것이 중요하지 않다. 트랙 중앙에서 두 개의 카트가 다른 카트와 접촉하도록 놓는다.
- 2) 빨간색 카트를 반대로 하고 있으므로 동일한 좌표계를 유지하려면 setup을 열고 빨간색 스마트 카트 위치 센서 옆에 있는 속성 버튼을 클릭하고 부호 변경을 선택한다.
- 3) 측정을 시작하고 카트가 움직이도록 트리거 누른다. 추 또는 매스바로 방아쇠를 누르는 것이 효과적이다.
- 4) 카트가 트랙 끝에 도달하기 전에 기록을 중지한다.
- 5) 속도 - 시간 그래프에서 도구를 사용하여 폭발 직후 빨간색 및 파란색 카트의 속도, 총 운동량, 총 운동에너지를 찾아서 표에 기록한다.

## 실험1. 폭발- B. 질량이 서로 다른 카트



- 1) 500g 추를 파란색 카트에 넣는다. Calculator의  $m_2$  값(추의 질량을 더한 값)을 변경한다. 파트 A의 1~4단계를 반복한다.

## 실험2. 완전 비탄성 충돌- A. 동일 질량 카트

- 완전 비탄성 충돌을 위해 벨크로 범퍼를 이용한다



- 1) 위의 그림과 같이 Velcro® 범퍼가 서로 마주보게 하여 빨간색과 파란색 카트를 트랙에 정지해 놓는다. Calculator의  $m_2$  값을 변경한다.
- 2) 빨간색 카트를 반대로 하고 있으므로 동일한 좌표계를 유지하려면 setup을 열고 빨간색 스마트 카트 위치 센서 옆에 있는 속성 버튼을 클릭하고 부호 변경을 선택한다. (실험1과 동일)
- 3) 측정을 시작하고 빨간색 카트를 파란색 카트 쪽으로 밀어준다. 카트 중 하나가 트랙 끝에 도달하기 전에 측정을 중지한다.
- 4) 속도 대 시간 그래프에서 충돌 직전과 직후에 빨간 카트의 속도를 찾는다. 그래프를 확장하여 관심 있는 영역만 보는 것이 도움이 된다.
- 5) 파란색 수레의 초기 속도는 0이고 최종 속도는 빨간색 수레가 서로 붙어 있기 때문에 동일하다.

## 실험2. 완전 비탄성 충돌- B. 질량이 서로 다른 카트

- 벨크로 범퍼를 이용한다



- 1) 500g 추를 파란색 카트에 넣는다. Calculator의  $m_2$  값을 변경한다. 파트 A의 1~4단계를 반복한다.

### 실험3. 탄성 충돌- A. 동일 질량 카트

- 탄성 충돌을 위해 자기 범퍼를 이용한다



- 1) 위 그림과 같이 마그네틱 범퍼가 서로 마주보게 하여 빨간색과 파란색 카트를 트랙에 정지해 놓는다. 이제 빨간색 카트는 원래 양의 방향에 있고 파란색 카트는 반전되었으므로 데이터 요약을 열고 빨간색 스마트 카트 위치 센서 옆에 있는 속성 버튼을 클릭하고 기호 변경을 선택 취소하고 파란색 스마트 카트 위치 센서 속성을 열고 기호 변경 선택한다
- 2) 마그네틱 범퍼가 서로 마주보게 하여 빨간색 및 파란색 카트를 트랙에 정지해 놓는다. Calculator의  $m_2$  값을 변경한다.
- 3) 측정을 시작하고 빨간색 카트를 파란색 카트 쪽으로 밀어준다.
- 4) 카트 중 하나가 트랙 끝에 도달하기 전에 측정을 중지한다.
- 5) 속도 대 시간 그래프에서 충돌 직전과 직후에 빨간 카트의 속도를 찾는다. 총 운동량, 총 운동에너지도 찾아서 표에 기록한다. 그래프를 확장하여 관심 있는 영역만 보는 것이 도움이 된다.
- 6) 파란색 수레의 초기 속도는 0이다. 파란색 카트의 최종 속도를 찾는다.

### 실험3. 탄성 충돌- B. 질량이 서로 다른 카트

- 탄성 충돌을 위해 자기 범퍼를 이용한다



- 1) 500g 추를 파란색 카트에 넣는다. Calculator의  $m_2$  값을 변경한다.  
파트 A의 1~6단계를 반복한다.

## 5.결과 및 분석

빨간 카트의 질량: \_\_\_\_\_ kg

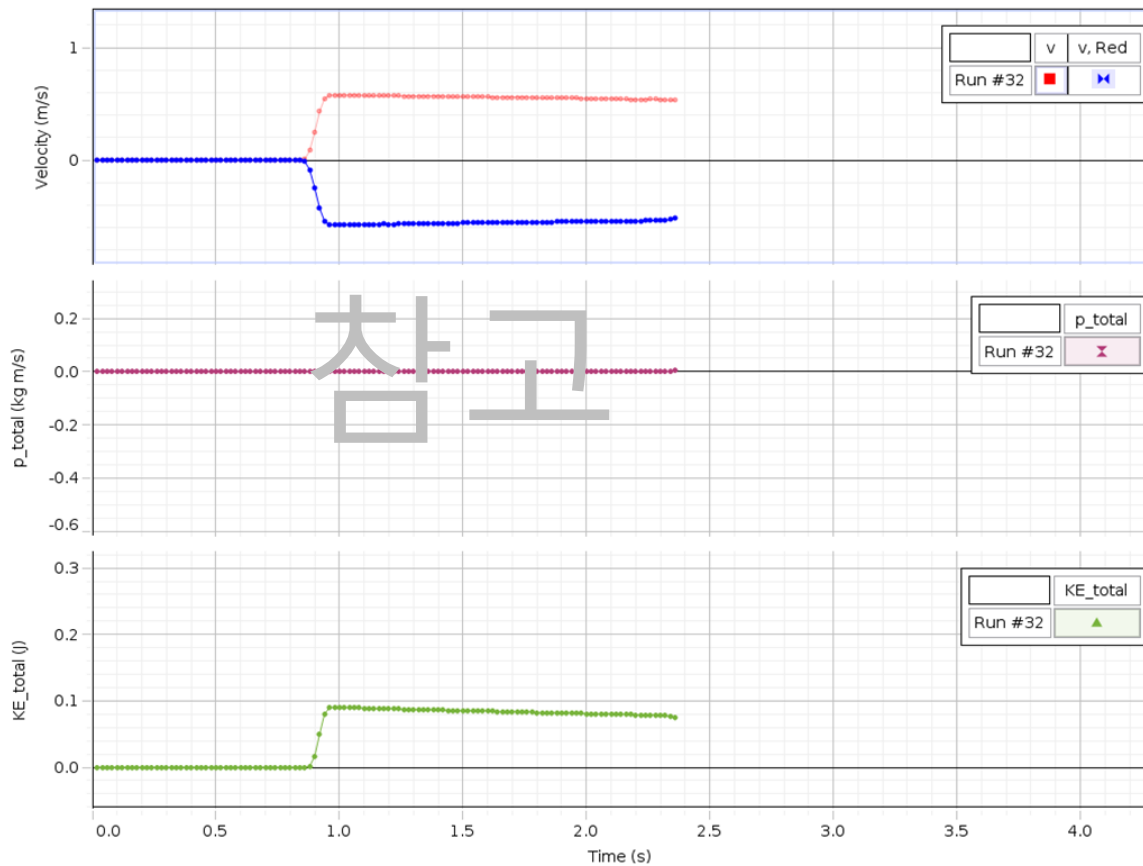
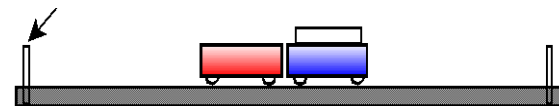
파란 카트의 질량: \_\_\_\_\_ kg

추의 질량: \_\_\_\_\_ kg

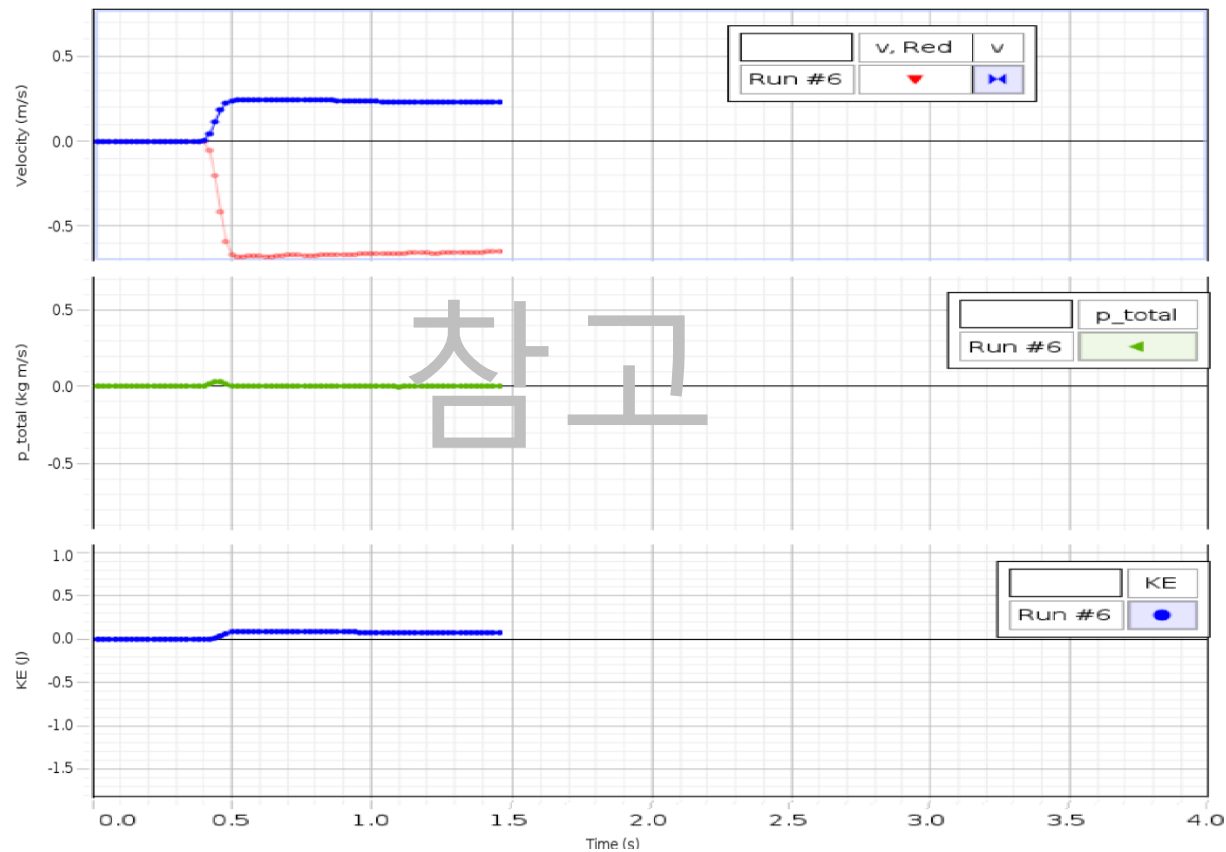
### ▶ 충돌 전후 속도 측정

	카트 질량	$m_r$ [kg]	$m_b$ [kg]	$V_{r,init}$ [m/s]	$V_{b,init}$ [m/s]	$V_{r,fin}$ [m/s]	$V_{b,fin}$ [m/s]
폭발	동일 질량			0.0	0.0		
	다른 질량			0.0	0.0		
완전 비탄성 충돌	동일 질량				0.0		
	다른 질량				0.0		
탄성 충돌	동일 질량				0.0		
	다른 질량				0.0		

# 복합



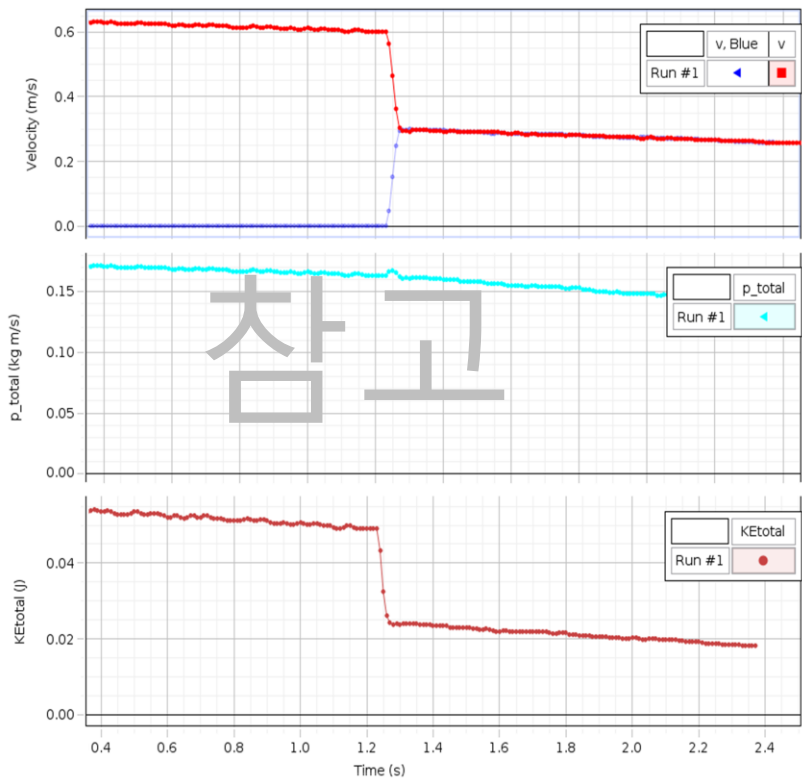
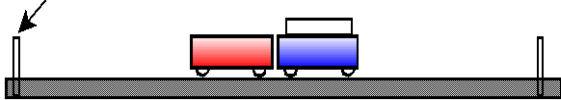
동일 질량



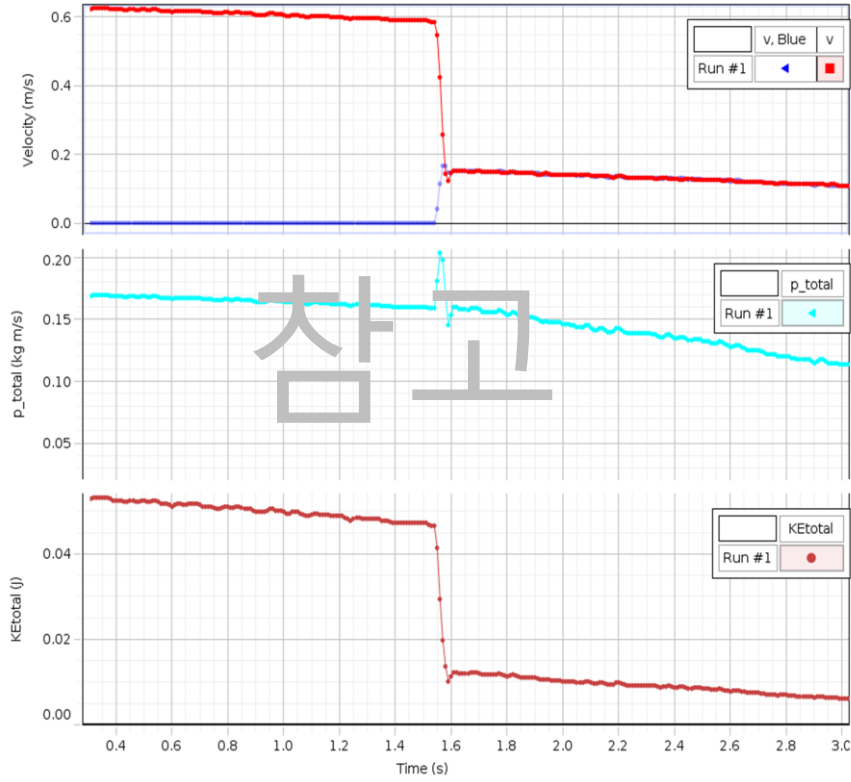
다른 질량



# 완전 비탄성 충돌

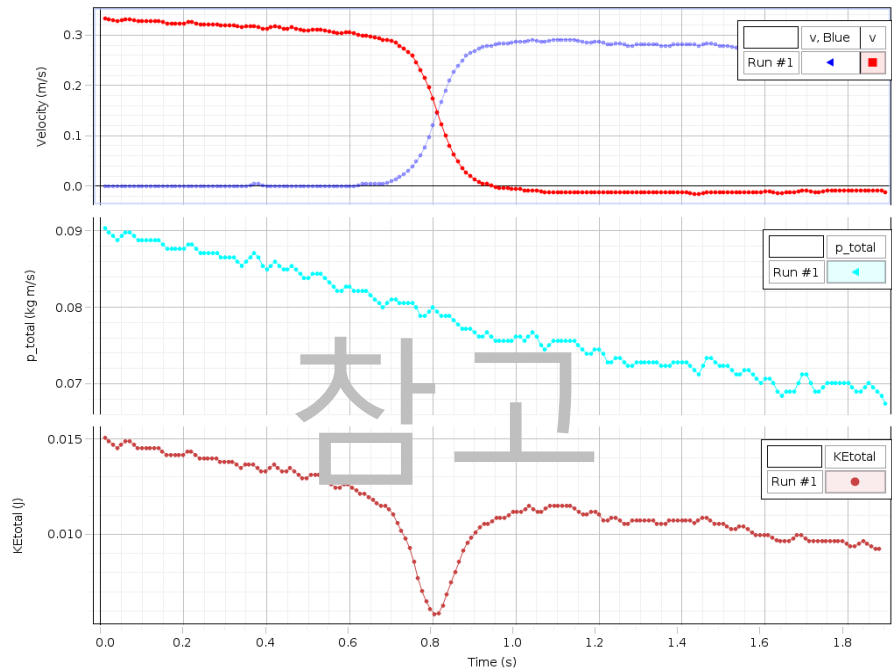
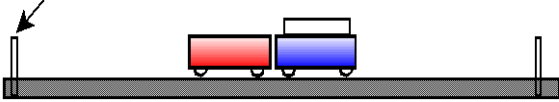


동일 질량



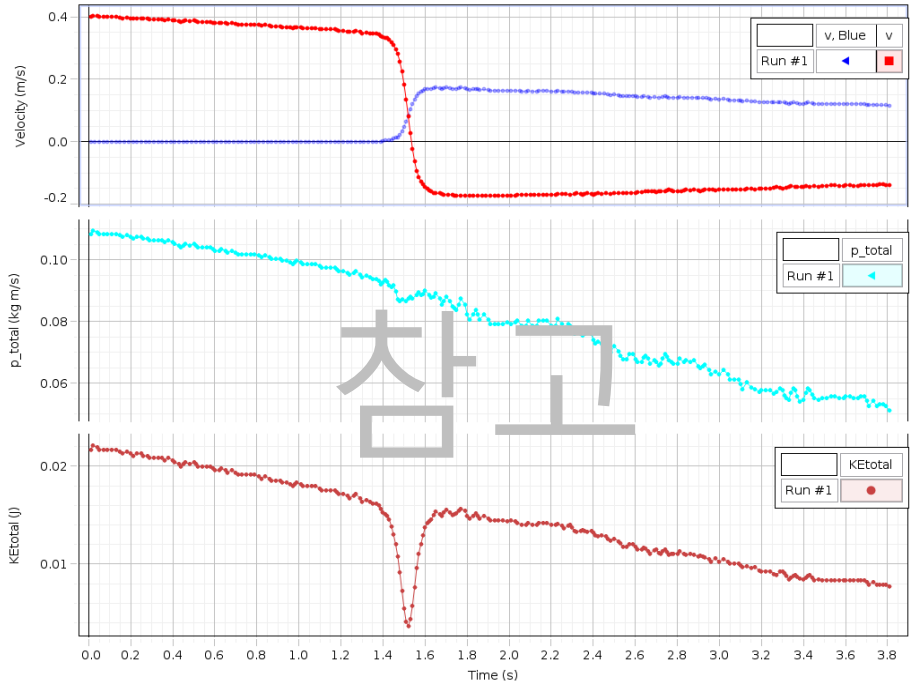
다른 질량

# 탄성 충돌



[Graph title here]

동일 질량



[Graph title here]

다른 질량

# 분석

1. 각 충돌에 대해 각각의 카트의 충돌 전 총운동량과 충돌 후 총운동량을 계산하여라.
2. 충돌 전과 충돌 후 총운동량의 차이를 % 값(총운동량 변화/처음총운동량 $\times 100$ )을 계산하여라.

	카트 질량	$p_{r,init}$ [kgm/s]	$p_{b,init}$ [kgm/s]	$p_{total,init}$ [kgm/s]	$p_{r,fin}$ [kgm/s]	$p_{b,fin}$ [kgm/s]	$p_{tot,fin}$ [kgm/s]
폭발	동일 질량	0.0	0.0				
	다른 질량	0.0	0.0				
완전 비탄성 충돌	동일 질량		0.0				
	다른 질량		0.0				
탄성 충돌	동일 질량		0.0				
	다른 질량		0.0				

3. 각 충돌에 대해 각각의 카트의 충돌 전 총운동에너지와 충돌 후 총 운동에너지를 계산하여라.

(또는 그래프에서 해당 데이터를 찍어서 기입한다.)

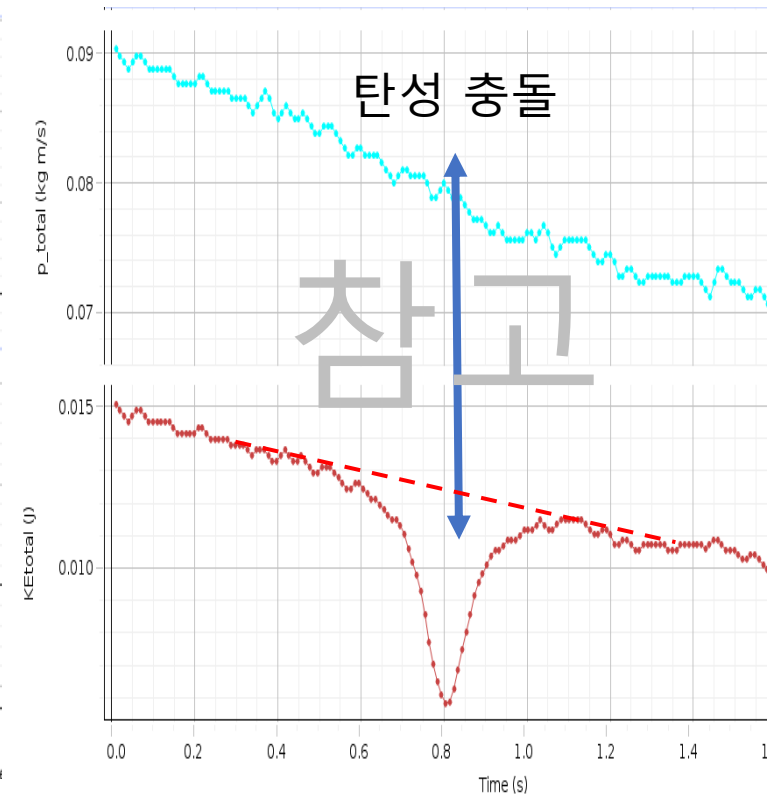
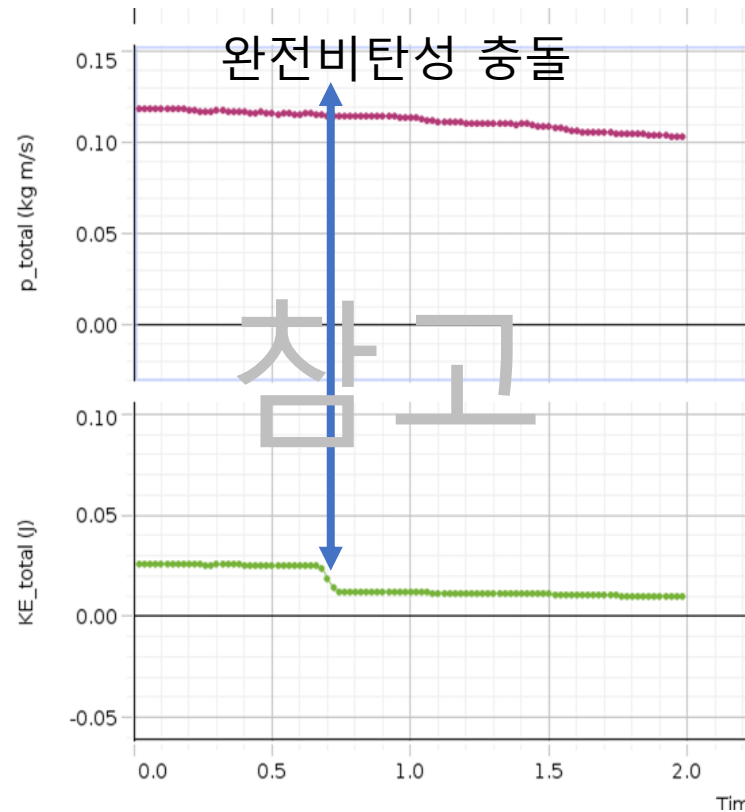
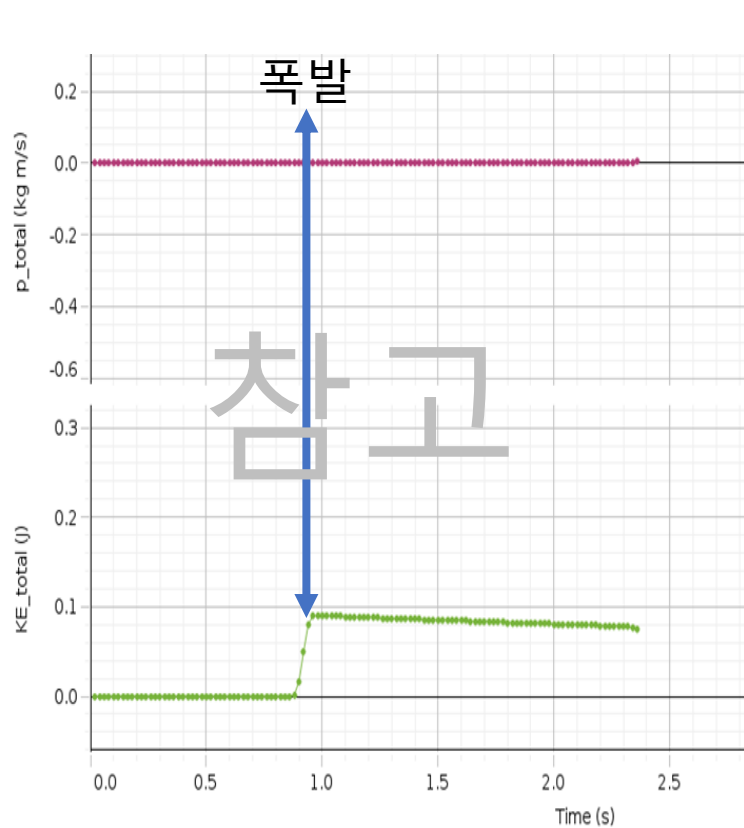
4. 충돌 전과 충돌 후 총운동에너지의 차이를 % 값(총운동에너지 변화/처음총운동에너지 $\times 100$ )을 계산하여라.

	카트 질량	$KE_{r,init}$ [J]	$KE_{b,init}$ [J]	$KE_{tot,int}$ [J]	$KE_{r,fin}$ [J]	$KE_{b,fin}$ [J]	$KE_{tot,fin}$ [J]	$\Delta KE_{tot}$ [J]
폭발	동일 질량	0.0	0.0					
	다른 질량	0.0	0.0					
완전 비탄성 충돌	동일 질량		0.0					
	다른 질량		0.0					
탄성 충돌	동일 질량		0.0					
	다른 질량		0.0					

# 충운동량과 총에너지 그래프 비교

1. 충돌이 일어나기전, 일어나는동안, 일어난 후에 운동량과 운동에너지가 충돌의 종류에 따라 어떻게 다른지 관찰하자(같은 질량실험)

Ex) 폭발전후 운동량은 어떠한가? 운동에너지는 어떻게 달라지는가?



[Graph title here]

## 6. 고찰

1. 어떤 종류의 충돌에서 운동량이 보존되는가?
2. 어떤 유형의 충돌에 대해 에너지가 보존되는가?
3. 충돌속도는 충돌 전후에 보존되는가?
4. 폭발에서 얻어진 추가적인 운동 에너지는 어디에서 왔는가?
5. 충돌로 손실된 초기 운동 에너지는 어디로 간 것일까?
6. 오차원인
7. 오차를 줄이는 방법
8. 실험원리의 실생활에서의 예