|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 실험제목 | 충돌의 해석 - 1차원 충돌 | | | 실험 일시 | 19/04/18 |
| 학과  (요일/교시) | 소프트웨어학과 (목/7,8교시) | 조 | 5 | 보고서  작성자 이름 | 조나단 |

# 실험값

## 탄성 충돌 실험

1. 인 경우

* 글라이더의 질량:
* 충돌 후의 속도의 측정 값과 이론값 비교 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 87.7 | 0 | 13.0 | 85.4 | 0 | 87.7 |  | 2.62% |
| 2 | 69.9 | 0 | 12.9 | 68.4 | 0 | 69.9 |  | 2.15% |
| 3 | 41.6 | 0 | 13.4 | 40.3 | 0 | 41.6 |  | 3.13% |
| 평균 |  |  |  |  |  |  |  | 2.63% |

* 선운동량 보존 여부 확인과 운동에너지 손실률 계산 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 17364.6 | 19483.2 | -2118.6 | -12.20% | 2.98% |
| 2 | 13840.2 | 16097.4 | -2257.2 | -16.31% | 0.84% |
| 3 | 8236.8 | 10632.6 | -2395.8 | -29.09% | -4.22% |
| 평균 |  |  |  | -19.20% | -0.13% |

1. 인 경우

* 글라이더의 질량:
* 충돌 후의 속도의 측정 값과 이론값 비교 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 64.5 | 0 | -10.1 | 50.2 | -12.8 | 51.7 | 21.39% | 2.81% |
| 2 | 90.0 | 0 | -14.5 | 69.9 | -17.9 | 72.1 | 19.12% | 3.01% |
| 3 | 49.0 | 0 | -7.1 | 38.7 | -9.8 | 39.2 | 27.26% | 1.38% |
| 평균 |  |  |  |  |  |  | 22.59% | 2.40% |

* 선운동량 보존 여부 확인과 운동에너지 손실률 계산 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 12771.0 | 12884.5 | -113.5 | -0.89% | 6.84% |
| 2 | 17820.0 | 17854.4 | -34.4 | -0.19% | 7.07% |
| 3 | 9702.0 | 10068.8 | -366.8 | -3.78% | 4.49% |
| 평균 |  |  |  | -1.62% | 6.14% |

1. 인 경우

* 글라이더의 질량:
* 충돌 후의 속도의 측정 값과 이론값 비교 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 73.5 | 7.4 | 13.6 | 72.4 | 7.4 | 73.5 | -83.78% | 1.50% |
| 2 | 103.0 | 25.8 | 28.0 | 103.0 | 25.8 | 103.0 | -8.53% | 0.00% |
| 3 | 60.2 | 13.1 | 17.6 | 59.5 | 13.1 | 60.2 | -34.35% | 1.16% |
| 평균 |  |  |  |  |  |  | -42.22% | 0.89% |

* 선운동량 보존 여부 확인과 운동에너지 손실률 계산 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 16018.2 | 17028.0 | -1009.8 | -6.30% | 0.56% |
| 2 | 25502.4 | 25938.0 | -435.6 | -1.71% | -1.05% |
| 3 | 14513.4 | 15265.8 | -752.4 | -5.18% | -1.43% |
| 평균 |  |  |  | -4.40% | -0.64% |

1. 인 경우

* 글라이더의 질량:
* 충돌 후의 속도의 측정 값과 이론값 비교 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 58.1 | 23.4 | 31.5 | 64.5 | 30.3 | 65.0 | -3.92% | 0.79% |
| 2 | 43.8 | 17.8 | 24.8 | 49.0 | 23.0 | 49.0 | -7.92% | -0.04% |
| 3 | 62.8 | 23.1 | 32.4 | 69.9 | 31.0 | 70.7 | -4.49% | 1.14% |
| 평균 |  |  |  |  |  |  | -5.44% | 0.63% |

* 선운동량 보존 여부 확인과 운동에너지 손실률 계산 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 21859.9 | 22110.8 | -250.9 | -1.15% | -0.78% |
| 2 | 16511.1 | 17055.2 | -544.1 | -3.30% | -4.15% |
| 3 | 23194.0 | 23446.8 | -252.8 | -1.09% | -0.29% |
| 평균 |  |  |  | -1.84% | -1.74% |

## 완전비탄성 충돌 실험

1. 인 경우

* 글라이더의 질량:
* 충돌 후의 속도의 측정 값과 이론값 비교 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 102.0 | 0 | 51.5 | 51.0 | -0.98% |
| 2 | 113.6 | 0 | 56.4 | 56.8 | 0.70% |
| 3 | 126.5 | 0 | 62.5 | 63.3 | 1.19% |
| 평균 |  |  |  |  | 0.30% |

* 선운동량 보존 여부 확인과 운동에너지 손실률 계산 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 18870.0 | 19055.0 | -185.0 | -0.98% | 49.01% |
| 2 | 21016.0 | 20868.0 | 148.0 | 0.70% | 50.70% |
| 3 | 23402.5 | 23125.0 | 277.5 | 1.19% | 51.18% |
| 평균 |  |  |  | 0.30% | 50.30% |

1. 인 경우

* 글라이더의 질량:
* 충돌 후의 속도의 측정 값과 이론값 비교 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 131.5 | 0 | 52.6 | 51.9 | -1.30% |
| 2 | 128.2 | 0 | 50.0 | 50.6 | 1.23% |
| 3 | 158.7 | 0 | 61.7 | 62.7 | 1.54% |
| 평균 |  |  |  |  | 0.49% |

* 선운동량 보존 여부 확인과 운동에너지 손실률 계산 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 24327.5 | 24643.1 | -315.6 | -1.30% | 59.48% |
| 2 | 23717.0 | 23425.0 | 292.0 | 1.23% | 61.48% |
| 3 | 29359.5 | 28906.5 | 453.0 | 1.54% | 61.72% |
| 평균 |  |  |  | 0.49% | 60.89% |

1. 인 경우

* 글라이더의 질량:
* 충돌 후의 속도의 측정 값과 이론값 비교 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 108.6 | 22.8 | 65.7 | 65.7 | 0.00% |
| 2 | 108.6 | 22.3 | 65.3 | 65.5 | 0.23% |
| 3 | 151.5 | 37.1 | 91.7 | 94.3 | 2.76% |
| 평균 |  |  |  |  | 1.00% |

* 선운동량 보존 여부 확인과 운동에너지 손실률 계산 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 24309.0 | 24309.0 | 0.0 | 0.00% | 29.89% |
| 2 | 24216.5 | 24161.0 | 55.5 | 0.23% | 30.62% |
| 3 | 34891.0 | 33929.0 | 962.0 | 2.76% | 30.87% |
| 평균 |  |  |  | 1.00% | 30.46% |

1. 인 경우

* 글라이더의 질량:
* 충돌 후의 속도의 측정 값과 이론값 비교 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 163.9 | 25.7 | 103.0 | 109.3 | 5.79% |
| 2 | 136.9 | 24.3 | 87.7 | 92.4 | 5.12% |
| 3 | 153.8 | 29.4 | 98.0 | 104.7 | 6.38% |
| 평균 |  |  |  |  | 5.76% |

* 선운동량 보존 여부 확인과 운동에너지 손실률 계산 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 51220.2 | 48255.5 | 2964.7 | 5.79% | 35.77% |
| 2 | 43306.7 | 41087.5 | 2219.2 | 5.12% | 33.55% |
| 3 | 49041.3 | 45913.0 | 3128.3 | 6.38% | 34.47% |
| 평균 |  |  |  | 5.76% | 34.59% |

1. 인 경우 (추가 실험)

* 글라이더의 질량:
* 충돌 후의 속도의 측정 값과 이론값 비교 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 181.8 | 26.1 | 86.2 | 87.6 | 1.58% |
| 2 | 136.9 | 22.6 | 67.1 | 67.7 | 0.94% |
| 3 | 104.1 | 28.1 | 59.1 | 58.1 | -1.70% |
| 평균 |  |  |  |  | 0.27% |

* 선운동량 보존 여부 확인과 운동에너지 손실률 계산 (단위: )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |  |  |
| 1 | 41032.4 | 40384.7 | 647.6 | 1.58% | 44.81% |
| 2 | 31733.6 | 31436.4 | 297.3 | 0.94% | 41.60% |
| 3 | 27224.9 | 27688.4 | -463.5 | -1.70% | 42.01% |
| 평균 |  |  |  | 0.27% | 42.81% |

# 결과 분석

마찰이 없는 글라이더를 이용한 탄성 충돌과 완전비탄성 충돌 실험을 통해 충돌 후의 계산된 속도와 실제 측정된 속도를 비교하여 충돌에서 선운동량이 보존됨을 이해했다. 충돌 양상에 따라 선운동량 보존법칙 () 과 반발계수의 정의 () 를 이용하여 충돌 후의 속도를 계산할 수 있었다. 선운동량 보존법칙으로 계산한 속도와 측정된 속도가 유사함을 통해 탄성과 완전비탄성 충돌의 종류에 관계없이 선운동량이 보존됨을 확인하였다. 또한 완전비탄성 충돌에서는 운동에너지가 감소함으로, 탄성 충돌에서는 운동에너지가 보존됨을 확인하여 충돌로 생기는 에너지 변화는 운동에너지 보존법칙 () 에 부합한다는 것을 확인하였다.

탄성 충돌 실험에서 이론값 대비 측정값 속도 오차율은 , 표준편차는 이었다.

운동에너지 손실률은 , 표준편차는 이었다.

완전비탄성 충돌 실험에서 이론값 대비 측정값 속도 오차율은 , 표준편차는 이었다.

운동에너지 손실률과 표준편차는

일 때 , ,

일 때 , ,

일 때 , ,

일 때 , ,

일 때 , 이었다.

실험을 통해서 탄성 충돌 실험에서는 운동에너지 손실률이 매우 낮게 측정되어 보존되는 것을 확인할 수 있었다. 완전비탄성 충돌 실험에서는 무게와 속도에 따라서 운동에너지 손실률이 다르게 측정되는 것을 확인할 수 있었다. 완전비탄성 충돌 실험에서는 실험값들을 통해 대체로 (처음 운동하는 물체의 무게) 이 클수록, 와 (두 물체의 속도) 의 차이가 클수록 운동에너지 손실률이 더 크게 측정될 것이라고 예상할 수 있었다.

위의 그래프와 같이 속도 차이의 그래프와 운동에너지 손실률의 그래프의 개형이 유사하게 나옴에 따라 속도 차이와 운동에너지 손실률이 비례 관계에 있음을 확인하였다. 하지만 예상했던 것과 달리 무게는 큰 차이를 주지 못한 것으로 보인다. 이것은 운동에너지 손실률을 계산하는 공식 에서도 무게의 변화가 속도의 변화보다 적은 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

탄성 충돌 실험에서는 (1)-2, (1)-4 실험 같이 두 충돌체의 무게를 달리한 실험에서 일정한 패턴을 확인할 수 있었다. (1)-2 실험은 충돌체의 무게가 로 이었으므로 에너지는 그대로 전달되었지만 질량이 달랐기 때문에 선운동량 보존 법칙에 따라 의 이론값과 실험값은 보다 낮음을 보였다. 반대로 (1)-4 실험은 충돌체의 무게가 이었으므로 는 보다 큼을 보였다.

# 오차 논의 및 검토

## 탄성 충돌 실험에서 측정한 속도 값의 오차

탄성 충돌에서 의 오차는 비교적 준수하게 나온 반면, 의 오차는 약 23%, -42%, -5% 정도로 표준 편차, 오차 모두 심하게 측정되었다. 이러한 오차는 평행을 이루지 않은 에어트랙이 가장 큰 원인으로 보인다. 실험 전에 에어 트랙의 수평을 맞추려고 했지만 수평이 맞추어 지지 않고 계속하여 오른쪽 ( 쪽)이 왼쪽 보다 낮아서 글라이더가 오른쪽으로 이동하였다. 수평을 맞출 수 없었기에 글라이더로 수평이 맞추어지지 않은 것이 속도 변화에 어떤 변화를 미치는지를 글라이더 하나의 속도가 어떻게 변화하는지에 대한 간단한 실험을 통해 측정하였다.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  | 글라이더 이동 방향 |
| 1 | 23.0 | 26.0 | **3.0** | 왼쪽 🡪 오른쪽 |
| 2 | 17.6 | 21.8 | **4.2** |
| 3 | 22.7 | 26.2 | **3.5** |
| 4 | 4.3 | 14.3 | **10.0** |
| 5 | 3.0 | 14.1 | **11.1** |
| 6 | -22.8 | -17.4 | **5.4** | 오른쪽 🡪 왼쪽 |

오른쪽이 왼쪽보다 낮았기 때문에 글라이더가 오른쪽으로 이동할 때는 속도가 증가하고, 왼쪽으로 이동할 때는 속도가 감소하는 것을 확인하였다. 4, 5회차의 실험에서 속도가 높을 때보다 속도가 낮을 때의 속도 증가량이 훨씬 크다는 점 또한 확인하였다. 이 현상은 조원들과의 상의를 통해 속도가 낮을수록 가속될 수 있는 시간이 더 길기 때문에 더 큰 변화량을 보이는 것으로 이해했다.

이렇게 왼쪽에서 오른쪽으로 이동할수록 가속되는, 시작 속도가 낮을수록 더 크게 가속되는 현상을 바탕으로 실험 결과를 각각 실험 별로 다시 해석해보면 다음과 같다.

(1)-2 실험에서 보다 가 전체적으로 더 낮게 측정된 것은 충돌체가 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하면서 속도가 감소했기 때문이다.

(1)-3 실험에서 보다 가 전체적으로 더 크게 측정된 것은 충돌체가 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하면서 속도가 증가했기 때문이다. 특히 (1)-3 의 첫 번째와 세 번째 실험에서 충돌 직후 는 와 유사했지만 속도가 낮았기 때문에 오른쪽으로 이동하면서 속도가 높을 때보다 더 크게 가속되어 각각 -84%, -35%의 큰 오차를 가진 값이 측정되었다.

이 오차는 직선의 에어트랙이 수평 상태에 있을 때 실험함으로 해결할 수 있을 것이다.

또한 탄성충돌에서 비보존 에너지로 손실되는 에너지와 고무줄 범퍼가 완벽한 탄성 충돌을 재현하지 못한다는 한계점도 오차에 기여했지만 영향은 작을 것이다.

## 완전비탄성 충돌 실험에서 측정한 속도 값의 오차

비탄성 충돌에서는 가 같을 때는 오차가 크게 측정되지 않았지만 다를 때에는 비교적 큰 오차가 측정되었다. 이러한 오차는 찰흙 범퍼가 충돌하는 과정에 에너지 전달이 즉시 되지 않고 시간이 걸린 것이 가장 큰 원인으로 보인다. 비탄성 실험에서 전체적으로 가 보다 낮게 측정되었는데 그 이유는 에너지 전달이 완전히 되지 않은 상태에서 오른쪽에 있는 글라이더가 오른쪽의 포토게이트를 지날 때의 속도를 로 두고 계산했기 때문이다.

(2)-4 실험에서는 전체적으로 오차가 나는 것을 보고 오른쪽에 있는 글라이더와 왼쪽에 있는 글라이더가 포토게이트를 지날 때의 속도를 모두 측정했다.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 회 |  |  |  |
| 1 | 109.3 | 116.2 | **6.9** |
| 2 | 92.4 | 100 | **7.6** |
| 3 | 104.7 | 111.1 | **6.4** |

그 결과 시간이 지날수록 가속되는 것을 확인할 수 있었다. [3]-(1) 에서 오른쪽으로 이동할 때 속도가 증가하는 것을 고려해도 약 100 cm/s 의 훨씬 높은 속도에서 약 7 cm/s 정도 차이가 났기 때문에 오른쪽으로 이동하는 것 외에 다른 원인이 있음을 예상할 수 있다.

였던 (2)-2, (2)-5 실험의 찰흙 범퍼가 인 (2)-4 실험의 찰흙 범퍼보다 얕게 박히는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 찰흙 범퍼가 충돌마다 같은 깊이로 박히는 것이 아니라 왼쪽에서 오는 글라이더가 더 무거울 때 깊이 박히고 가벼우면 얕게 박힘을 알 수 있었다. 조원들과 상의를 통해서 박히는 깊이에 따라 박히는 시간이 다르고 그에 따라 에너지의 전달에 걸리는 시간이 다를 것으로 예상했다. 이것을 고려하면 인 (2)-4 실험에서 첫 번째 속도는 에너지 전달이 완전히 되지 않은 상태의 속도라고 이해할 수 있다.

이 오차는 에너지 전달에 걸리는 시간에서 생긴 오차임으로 시간을 줄이거나 측정 방법을 변경함으로 해결할 수 있을 것이다. 에너지 전달에 걸리는 시간은 탄성력이 더 적은 찰흙으로 접촉하는 면적을 줄임으로 줄일 수 있을 것이다. 더 긴 에어트랙을 사용해서 포토게이트를 훨씬 뒤쪽에 배치한다면 모든 에너지 전달이 끝난 후의 속도를 측정할 수 있을 것이다.

또한 찰흙 범퍼로 아이클레이를 사용했는데 이 물질도 스스로의 탄성력을 가지고 있기 때문에 오차에 기여했을 것이지만 영향은 적을 것이다.

# 결론

무마찰 에어트랙 위에서 1차원 충돌 실험을 하여 선운동량이 보존됨을 확인하고, 탄성 충돌과 완전비탄성 충돌에서 운동에너지가 보존되고 보존되지 않는 것을 통해 충돌의 양상이 구분됨을 확인하였다

탄성 충돌 실험에서 이론값 대비 측정값 오차율은 , 운동에너지 손실률은 였고, 완전비탄성 충돌 실험에서 이론값 대비 측정값 속도 오차율은 로 참값에 근사한 결과를 얻었다. 오차 논의에서 설명한 오차들을 배제할 수 있었다면 참값에 더욱 근사한 실험 결과를 얻을 수 있었을 것으로 보인다.