

일반 지침: 실험 시험 (20점)

2023년 5월 25일

실험 시험은 5시간 동안 진행되며 총 20 점입니다.

시험 시작 전

- 시험 시작을 알리는 신호음이 울리기 전에 문제가 담긴 봉투를 열어서는 안됩니다.
- 실험 시험의 시작과 끝은 신호음으로 안내됩니다. 매시간마다 경과된 시간이 안내될 것이며 실험 시험의 종료를 알리는 신호음이 울리기 15 분 전(최종 신호음 전)에도 안내될 것입니다.

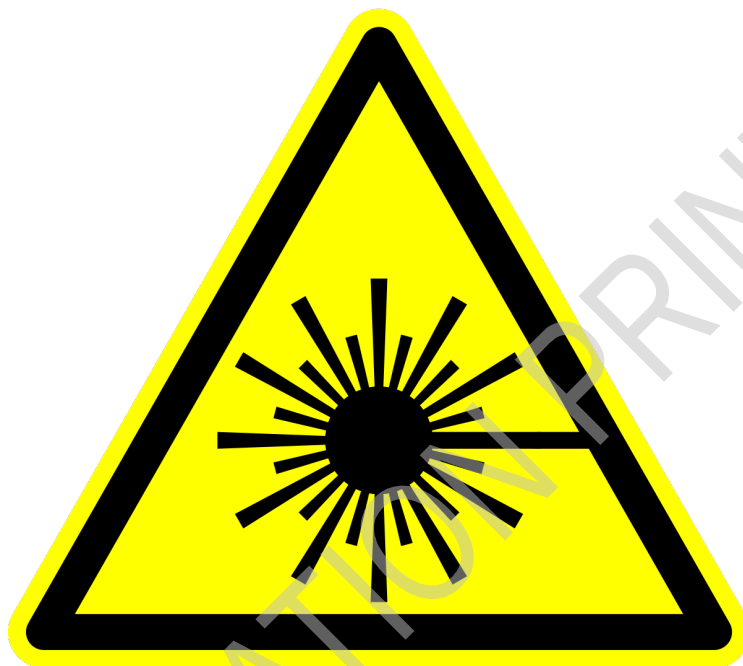
시험 응시 중

- 답안을 쓰는 전용 답안지가 각 문제당 제공됩니다. 각 문제 번호와 일치하는 답안지 (A로 표시됨)의 알맞은 표와 빈칸, 그래프에 측정 결과를 적으십시오. 각각의 문제에 여분의 빈 계산 용지 (W로 표시됨)에 자세한 풀이를 적으십시오. 현재 풀고 있는 문제 번호와 풀이 과정을 작성하는 계산 용지가 맞는지 확인하십시오(상단의 문제 번호를 확인하십시오.). 어느 계산 용지이든 쓴 것 중 채점이 되지 않기를 원하는 것은 X 표시를 하십시오. 각 계산 용지의 앞면만 활용하십시오.
- 풀이 과정을 작성할 때 최대한 간결하게 작성하십시오: 방정식을 사용하거나, 논리 연산자를 사용하고, 생각하는 내용을 간단하게 작성하십시오. 긴 문장을 쓰는 것을 피하십시오.
- **문제에서 따로 요구하지 않는다면, 명시적인 오차 계산을 하지 않아도 됩니다.** 하지만, 숫자를 기재할 때에는 적절한 유효 숫자를 쓰십시오. 또한, 구체적인 지시사항이 없으면 스스로 적절한 데이터 포인트의 수와 측정 반복 횟수를 결정해야 합니다.
- 한 문제 내에서 전 단계의 문제를 풀지 않았다 하더라도, 다음 단계의 문제를 풀 수 있습니다.
- 허가 없이 시험 장소를 떠날 수 없습니다. 도움이 필요한 경우(마실 물을 보충할 경우, 계산기 고장, 화장실 방문이 필요 등), 두 개의 깃발 중 하나를 사용하여 감독관에게 알려 주시기 바랍니다(“마실 물을 보충하고자 합니다.”, “화장실에 가려고 합니다.”, 또는 그 외의 “도움이 필요합니다.”).

시험 종료 후

- 시험이 끝나는 즉시 답안 작성을 중지해야 합니다.
- 각 문제에 대해 작성한 용지를 다음 순서대로 정렬합니다: 일반 지시사항 (General Instruction, G), 문제지 (questions, Q), 답안지 (answer sheets, A), 계산 용지 (work sheet, W).
- 한 문제에 해당되는 모든 계산 용지들은 해당 문제의 봉투에 함께 넣으십시오. 일반 지시사항 (G) 은 남는 봉투에 따로 넣으십시오. 참가자 코드가 각 봉투의 겉면에 있는지 확인하십시오. 또한, 사용하지 않은 빈 종이도 제출하십시오. 어떠한 종이도 시험장 밖으로 가지고 나갈 수 없습니다.
- 봉투가 수거될 때까지 책상에서 대기하십시오. 봉투가 수거되면 감독관이 시험장 밖으로 안내해 줄 것입니다. 필기도구 가방을 출구에서 제출하십시오. 또한 물병을 가지고 가십시오.

주의사항



레이저 위험
레이저 빔을 주의하십시오.
레이저 빔을 보지 마시오.
맨눈이 레이저에 직접 노출되지 않도록 하시오.

오실로스코프 Siglent SDS 1152CML+ 조정 방법

1. 먼저 화면에 파형을 얻으려면, 프로브의 BNC 커넥터 (A)를 CH1 입력단에, 프로브 고리 (B)를 1kHz 사각파 출력 핀에 연결하시오. 다음 [Auto] 버튼을 누르면 오실로스코프는 파형을 자동으로 얻게 됩니다 (그림 1).



그림 1

2. 테스트 출력 핀에서 고리 (B)를 떼고, 그림 2와 같이 실험 설정 컨트롤 박스의 CH1 핀에 연결하시오.

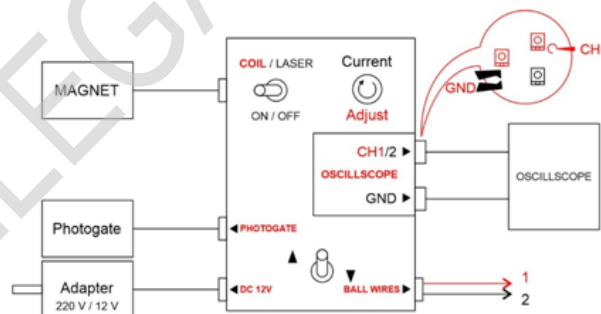


그림 2

3. Level 노브를 돌려 트리거 축(화면 윗쪽에 흰색으로 T라고 표시됨)을 수평축에 맞추시오.

[Trigger Menu]버튼을 눌러 실험 상태를 체크하시오. 그림 3과 같이 되어야 합니다.

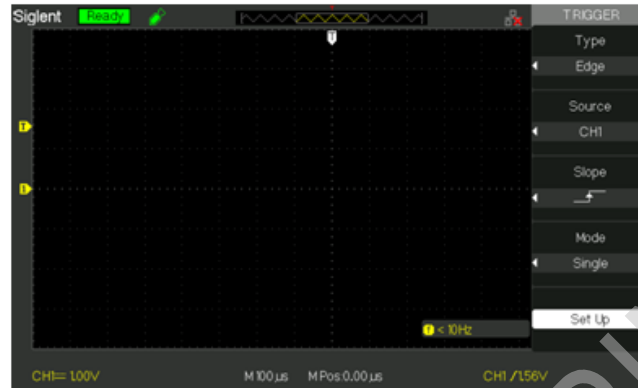


그림 3

5. 채널 1 (CH1) Vertical의 Variable 노브를 돌려 CH1의 전압을 2V로 조정하시오.
Horizontal의 Zoom 노브를 돌려 눈금을 250ms로 조정하시오.



그림 4

- 금속 구를 전자석에 붙인 뒤 Run/Stop버튼을 누르시오. 버튼의 색이 초록색에서 빨강색으로 바뀔 것입니다.
8. 스크린의 왼쪽 위에 초록색으로 "Ready"라고 표시될 것입니다.
9. 전자석에서 구를 놓아 측정을 시작하시오.

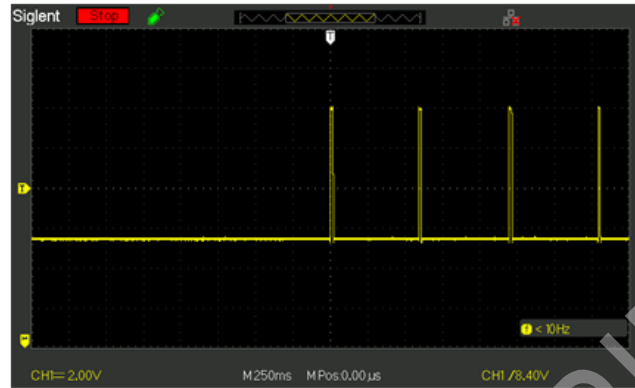


그림 5

10. 세 번째 펄스의 폭을 측정하여 Δt 를 얻으시오.

11. 세 번째 펄스의 폭을 유효숫자 7개로 측정하시오. (Horizontal position) 노브를 돌리면 M Pos = 1.195550s 라는 값을 왼쪽 아래 모퉁이에서 볼 수 있습니다.

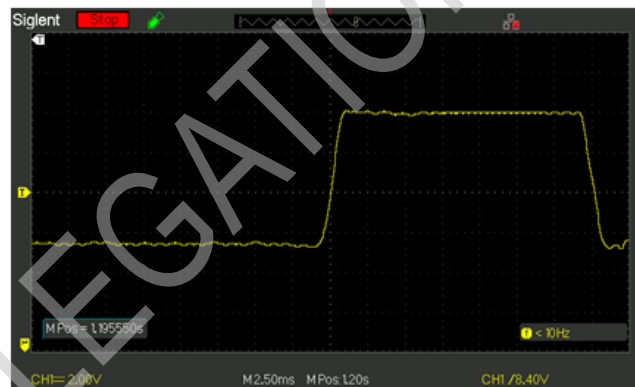


그림 6

흰색 T 표시가 이제 스크린 왼쪽 위에 있는데, 화살표가 왼쪽을 향하는 것은 트리거 위치가 스크린 바깥쪽에 있다는 것입니다. 스크린 가운데로부터 트리거된 위치까지의 시간 간격이 유효 숫자 7개로 측정되었다는 것입니다.

12. 진동 실험에서 첫번째 펄스를 사용하면 안됩니다. 이 신호는 자화와 줄의 장력에 영향을 받았을 것이기 때문입니다. 따라서 진동 주거나 속력을 재려면, 두번째와 네번째 또는 세번째와 다섯 번째 펄스를 사용해야 합니다. n번째 펄스의 시간을 재기 위해서 시분할을 250 ms 범위로 설정하면 다음과 같은 측정결과를 얻을 것입니다. 그후 Horizontal position 노브를 사용하여 n번째 펄스를 화면 가운데에 위치시킵니다. 그리고 시간을 더 작은 단위로 분할하여 펄스의 폭이 넓어지도록 하시오. 펄스의 폭을 측정하기 위해서는 올라가는 모서리의 절반 진폭(amplitude)를 화면의 중앙에 가져오시오. (Horizontal position) 노브를 돌려 화면에서 정확한 시간 값을 보시오. 그다음 시간 값을 높이고 떨어지는 모서리의 절반 진폭 값을 화면의 중앙에 가져온 다음 정확한 시간 측정을 반복하시오. 이 두 값의 차이가 펄스 폭의 아주 정확한 값입니다.

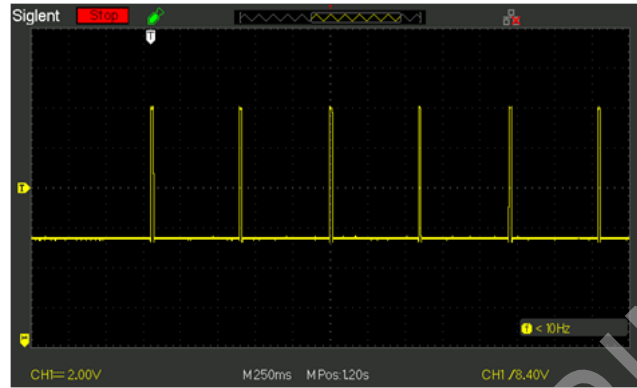


그림 7

오실로스코프 Siglent SDS 1202X-E

1. 이전 오실로스코프 기종과 같이 사용법을 익히시오.
2. 포토게이트를 오실로스코프의 입력단에 연결하고 구를 흔들리게 하시오.
3. 다음 파란색 [Auto setup] 버튼을 누르면 다음과 같은 화면이 나올 것입니다.



그림 8

펄스의 모양이 불안정할 수 있습니다. 시간 분할 노브를 돌려 20 ms에 맞추시오. 펄스가 화면에 나타나면 (Run/Stop) 버튼을 눌러 신호를 정지시키시오.

4. Vertical Position 노브와 전압 분할 노브를 돌려 신호를 화면 가운데에 위치시키시오.

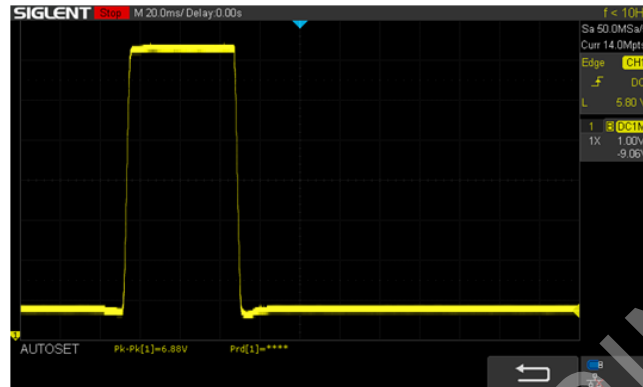


그림 9

5. 시간 분할 단위를 500 ms로 바꾸시오. 전자기적으로 진자를 붙들어 주는 장치에 공을 고정시키고 [Single] 버튼을 누르면 화면이 지워질 것입니다. 그리고 컨트롤 박스의 스위치를 꺼서 전자기적으로 붙들어주는 장치에서 공을 놓으시오. 다음과 같은 포토게이트 펄스가 오실로스코프 메모리에 저장될 것입니다.

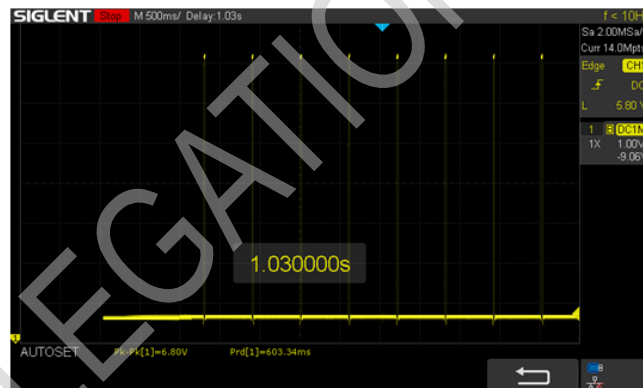


그림 10

화면 윗쪽의 파란 삼각형에 주목하십시오. 이 위치가 시간의 원점입니다. (Horizontal Position) 노브를 돌려서 세번째 펄스를 가운데에 놓으시오. 두번째와 네번째 펄스를 사용해도 됩니다. 첫번째 펄스를 사용하지 마시오. 이는 진자를 붙들어 주는 장치와 줄의 장력의 영향을 받습니다.

6. 시간 분할 값을 100 us로 바꾸고 Horizontal Position을 돌려 신호가 올라가는 모서리를 화면의 정 가운데에 놓게 되면, 화면 중간에, 원점으로부터 시간차를 정확하게 얻을 수 있습니다.

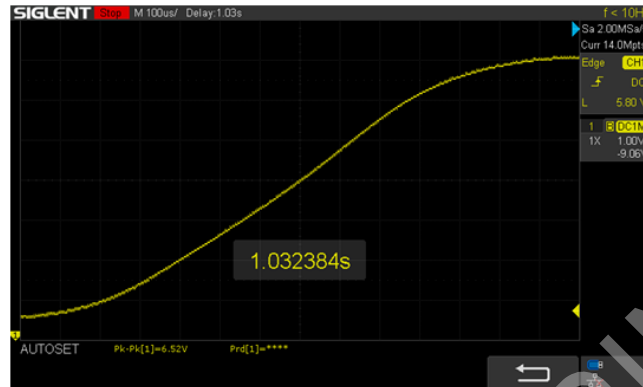


그림 11

7. 시간 분할을 다시 20 ms로 바꾸고, Horizontal position을 돌려 펄스의 떨어지는 모서리가 보이도록 하시오. 시간 분할을 다시 100 us로 놓고 진폭의 절반을 화면 가운데에 위치시키면, 시간의 다른 정확한 값을 얻을 수 있습니다. 이 두 시간의 차이가 펄스의 폭입니다.



8. 그다음 다섯번째 펄스의 올라가는 모서리를 다시 선택하시오. 이제 진동의 정확한 주기를 측정할 수 있습니다.

헤르츠 접촉 응력 [10 점]

이 문제를 시작하기 전에 안내 사항을 읽으십시오.

들어가는 글

헤르츠 접촉 이론은 고전적인 접촉 역학 이론이며 공학자와 연구자들에게 매우 유용한 도구이다. 이 이론의 유도 과정은 상대적으로 어렵지만, 몇 개의 간단한 방정식으로 접촉 응력을 고려 대상의 성질로 표현할 수 있게 된다. 헤르츠 접촉 이론은 탄성 이론 방정식의 해석적 해로부터 얻을 수 있는데, 다음과 같은 소위 절반공간 근사법 (half-space approximation)이 적용되는 범위에서 가능하다:

1. 접촉 표면들 중 하나는 무한히 큰 평면, 즉 무한 절반 공간 (infinite half-space)의 경계면이다. (그림 1).
2. 압력 분포는 포물선을 이룬다. (방정식 2).
3. 이 무한 절반 공간 (infinite half-space) 모델은 크기가 같거나 다른 두 개의 구에도 적용할 수 있다.

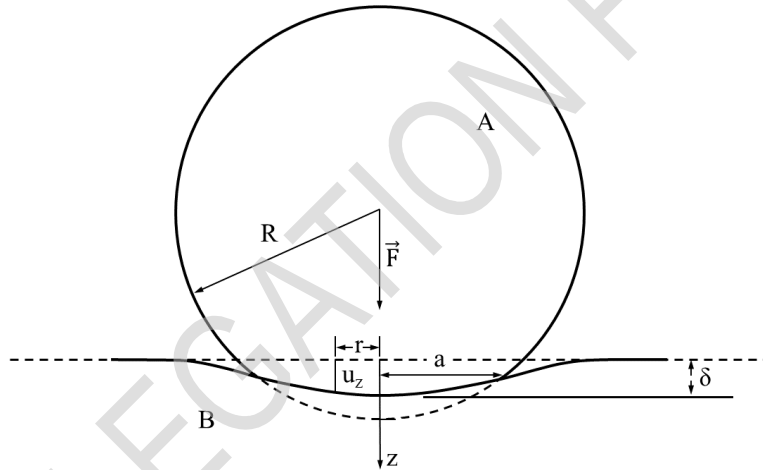


그림 1 (A - 구, B - 무한 절반 공간)

표면에 수직 방향의 힘만 작용하는 경우, 가해진 압력 하에서 표면의 탄성 변형은 다음과 같이 주어진다:

$$u_z(x, y) = \frac{2\pi}{E'} \iint \frac{p(x', y')}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}} dx' dy' \quad (1)$$

여기서 u_z 는 탄성 변형, $\frac{1}{E'} = \frac{(1-\nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\nu_2^2)}{E_2}$ 는 감소된 탄성률(elastic modulus), ν_1, E_1, ν_2, E_2 는 각각 주어진 구들의 푸아송비 (Poisson's ratio) 및 영률(Young's modulus) (주어진 구들에 대해 이들 값은 상수이며 문제 E.1에서 필요한 계산을 위해 제공된다), $p(x, y)$ 는 접촉 압력이며, 접촉 압력의 분포가 임의의 형태라면 이 방정식으로부터 해석적인 해를 얻지 못 한다. 그러나 구형, 타원형 또는 원통형 물체에 대한 매우 좋은 근사치인 포물선형 압력 분포의 가정 하에서는 헤르츠 해 (Hertz solution)을 얻을 수 있다:

$$p(r) = p_0 \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)^{1/2} \quad (2)$$

여기서 r 는 표면의 임의의 지점까지의 거리이고, a 는 헤르츠 접촉 반지름으로 알려진 매개변수이다. 매개변수 p_0 은 최대 헤르츠 압력이라고도 한다. 이 접촉 압력 식을 방정식 (1)에 대입하면 헤르츠 압력이 작용하는 경우일 때 탄성변형에

대한 다음과 같은 표현이 얻어진다:

$$u_z = \frac{\pi p_0}{4E'a} (2a^2 - r^2), r \leq a \quad (3)$$

이 실험 문제는 다음과 같은 두 부분으로 구성된다: 큰 각도 진자 문제와 두 구의 충돌

안전 사고 관련 예방적 조치:

1. 장비에 손상이 발생할 수 있으니, 전원 코드를 꽂거나 빼기 전에 장비의 스위치를 끄시오.
2. 문제에서 지시하지 않는 한 오실로스코프 설정을 변경하지 마시오.
3. 전자 장치 및 전원 소켓에 식수를 흘리지 않도록 주의하시오.
4. 첫 번째 문제에 대한 실험을 완료하지 않은 경우 실험 장치를 분해하지 마시오. 다시 재조립하지 못 할 수 있습니다.

실험 장치

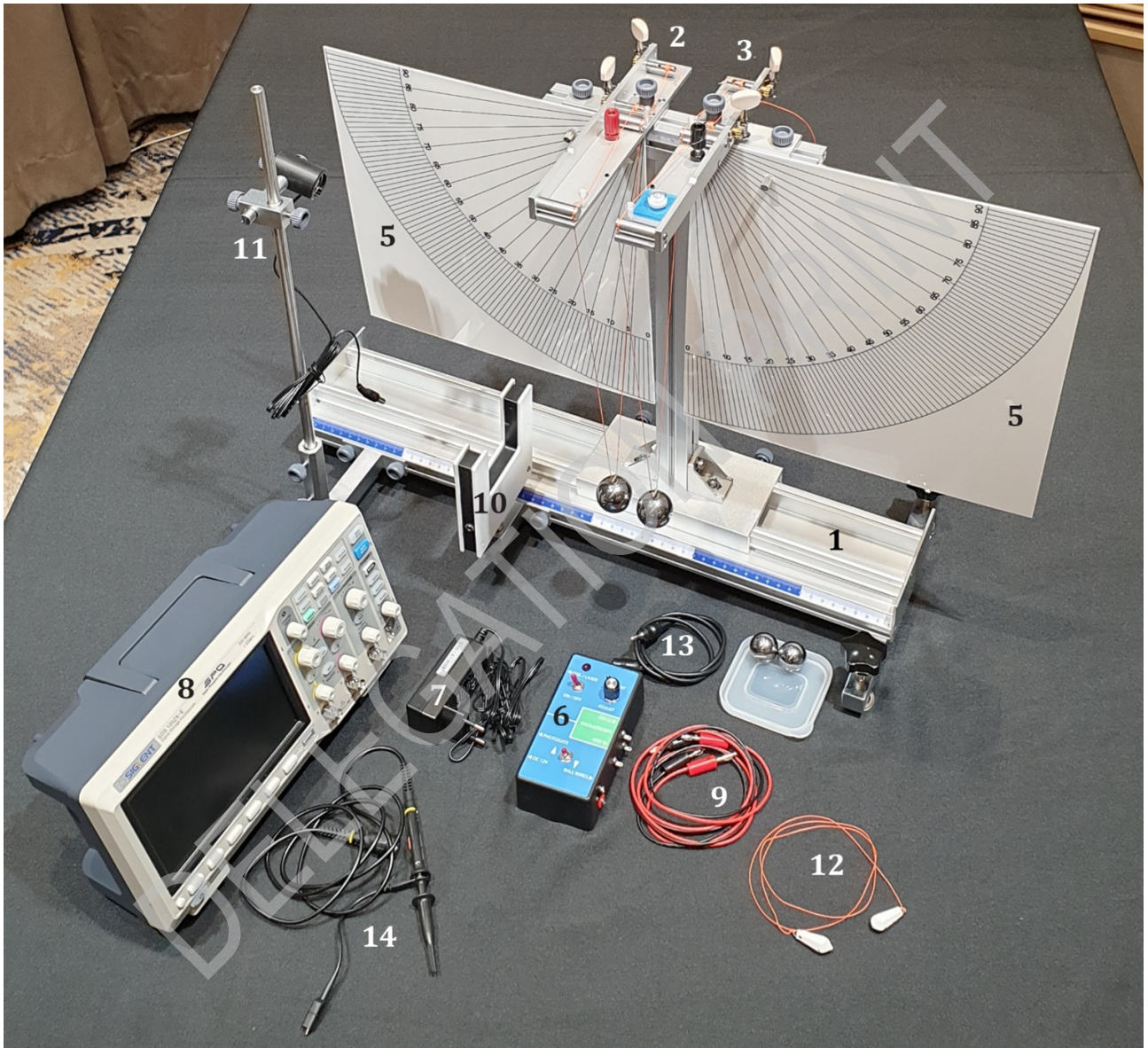


그림 2

1. 실험 장치의 기본 받침대. (기본 받침대는 두 실험 모두에 사용됩니다)
2. 거치대가 있는 진자 1 (큰 진자가 이미 걸려 있음)
3. 거치대가 있는 진자 2 (큰 진자가 이미 걸려 있음)
4. 두 개의 작은 진자
5. 좌측 및 우측으로 진자의 각도를 측정할 수 있는 스크린
6. 전선들을 선택적으로 연결할 수 있게 해 주는 상자

7. 전원 어댑터
8. 측정 프로브(그림2의 14번)와 오실로스코프
9. 금속 구 접촉 측정을 위한 전선
10. 연결 케이블(그림 2의 13)이 있는 진자 실험용 포토 게이트
11. 높이와 위치 조정이 가능한 스탠드와 전자기력으로 진자를 붙들어 줄 수 있는 장치
12. 가는 줄로 연결된 두 개의 무게 추

파트 A: 큰 각도 진자[1.4점]

이 파트에서는 큰 각도 진폭에서 시작하여 작은 각도 진폭에 이르기까지 가능한 한 넓은 범위의 각도 진폭에 대해, 단일 진자의 각도 진폭과 최대 속도와의 관계를 결정해야 한다. 진자를 사용하려면 진자 위치 조정 방법을 이해해야 한다. 각 진자 거치대에는 진자를 잡고 있는 줄과 연결된 손잡이(knob)가 각각 두 개 씩 달려 있고, 이 손잡이들을 이용하여 각 진자 위치를 위/아래 (z -방향) 혹은 앞/뒤 (y -방향)로 조정할 수 있다. 진자 위치를 왼쪽/오른쪽 (x 방향)으로 조정하려면 진자 거치대를 움직여야 한다(그림 3).

이 실험을 위해서는 진자 중 하나만 사용해야 한다. 따라서 이미 거치대에 고정된 두 개의 진자 중 하나를 진자 거치대 위에 올려 놓으시오. 거치대에 올려진 진자에 연결된 줄이 실험에 사용될 나머지 한 개 진자의 움직임을 방해하지 않도록 주의하시오.

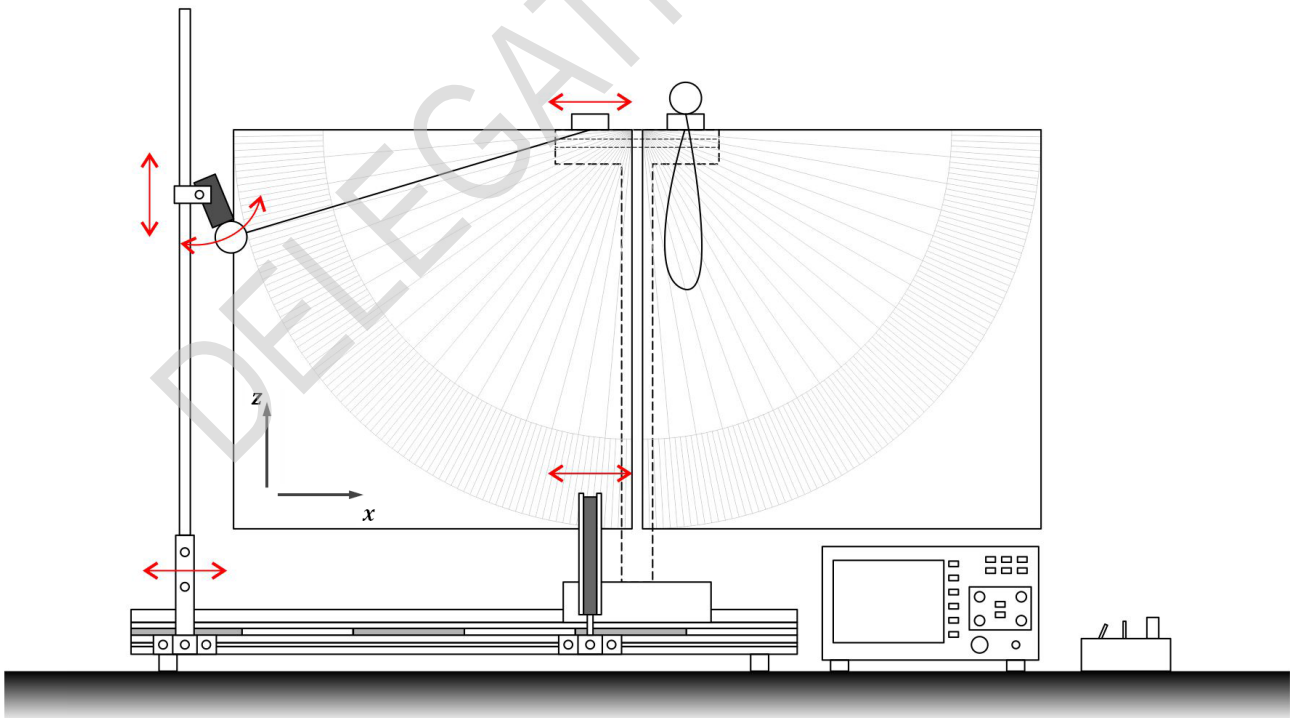


그림 3

- A.1** φ_0 은 진자의 초기 각도(또는 각도 진폭)이고 Δt 는 진자가 포토게이트를 통과하는 데 필요한 시간이라고 할 때, $\sin \frac{\varphi_0}{2}$ 에 대한 Δt^{-1} 의 기울기를 구하시오. 1.2pt

[비고 1.] 저장형 디지털 오실로스코프 (Digital storage oscilloscope)에서 정확하게 시간을 측정하기 위해서는 일반 지침(General instructions, G)에 있는 오실로스코프 사용법을 따르도록 조언합니다. 오실로스코프의 모델과 그에 맞는 사용법을 참고하도록 주의하시오. 시간을 절약하기 위해 이와 함께 문제 B.1에서 필요한 측정을 할 수 있다. 전자기적으로 진자를 붙들어 주는 장치에서 진자가 낙하를 시작할 때, 가는 금속 도선의 탄성과 진자의 자화 상태가 진자의 초기 속도에 영향을 줄 수 있다. 따라서 포토게이트에서 나오는 첫 번째 신호를 선택해서는 안 된다.

- A.2** 진자의 주어진 초기 각도에 대해 금속 구의 최대 속도를 찾기 위한 일반 방정식을 유도하시오. 0.2pt

파트 B: 진동 주기 [1.9 점]

각도 진폭에 따른 진자의 주기는 다음 급수와 같이 표현된다.

$$T = T_0 \left(1 + \alpha \cdot \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} + \beta \cdot \sin^4 \frac{\varphi_0}{2} + \dots \right) \quad (4)$$

여기서 T_0 은 진폭이 작을 때의 진자 주기, α 와 β 는 상수계수, φ_0 은 각도 진폭이다.

- B.1** 진동 주기를 측정하여 $T = f(\varphi_0)$ 의 선형 그래프를 그리되, 적당한 영역에서 서로 다른 선형 그래프가 필요함에 주의하시오. 그래프에서 T_0, α, β 를 결정하시오. 1.6pt

[비고 2.] 저장형 디지털 오실로스코프 (Digital storage oscilloscope)에서 정확하게 시간을 측정하기 위해서는 일반 지침(General instructions, G)에 있는 오실로스코프 사용법을 따르도록 조언합니다. 오실로스코프의 모델과 그에 맞는 사용법을 참고하도록 주의하시오.

- B.2** A.1에서 찾은 기울기와 B.1에서의 T_0 을 사용하여 울란바토르의 정확한 중력 가속도 값을 찾으시오. 금속 구의 지름은 $d = 31.75\text{mm}$ 이다. 0.3pt

파트 C: 충돌 거동 [0.7 점]

금속 구의 초기 위치와 상태는 첫 번째 충돌과 그 이후 충돌 프로세스 (예를 들면 충돌 위치, 접촉 시간 및 금속 구들에서의 접촉 위치)에 큰 영향을 미친다. 이 실험을 수행하려면 구의 위치를 정확하게 조정하는데 주의를 기울여야 한다.

이 파트에서는 동일한 크기의 두 금속 구가 충돌하는 경우 접촉 위치가 충돌 거동에 끼치는 영향을 관찰하게 된다. C.1-C.4에 기술된 충돌 거동 (그림 4에 각각의 상황을 나타내는 모식도에 해당하는)에 대한 접촉 위치의 영향을 관찰하고, 각각의 경우가 그림 5에 표시된 시간에 대한 그래프들 중 어느 것에 해당하는 지 찾으시오.

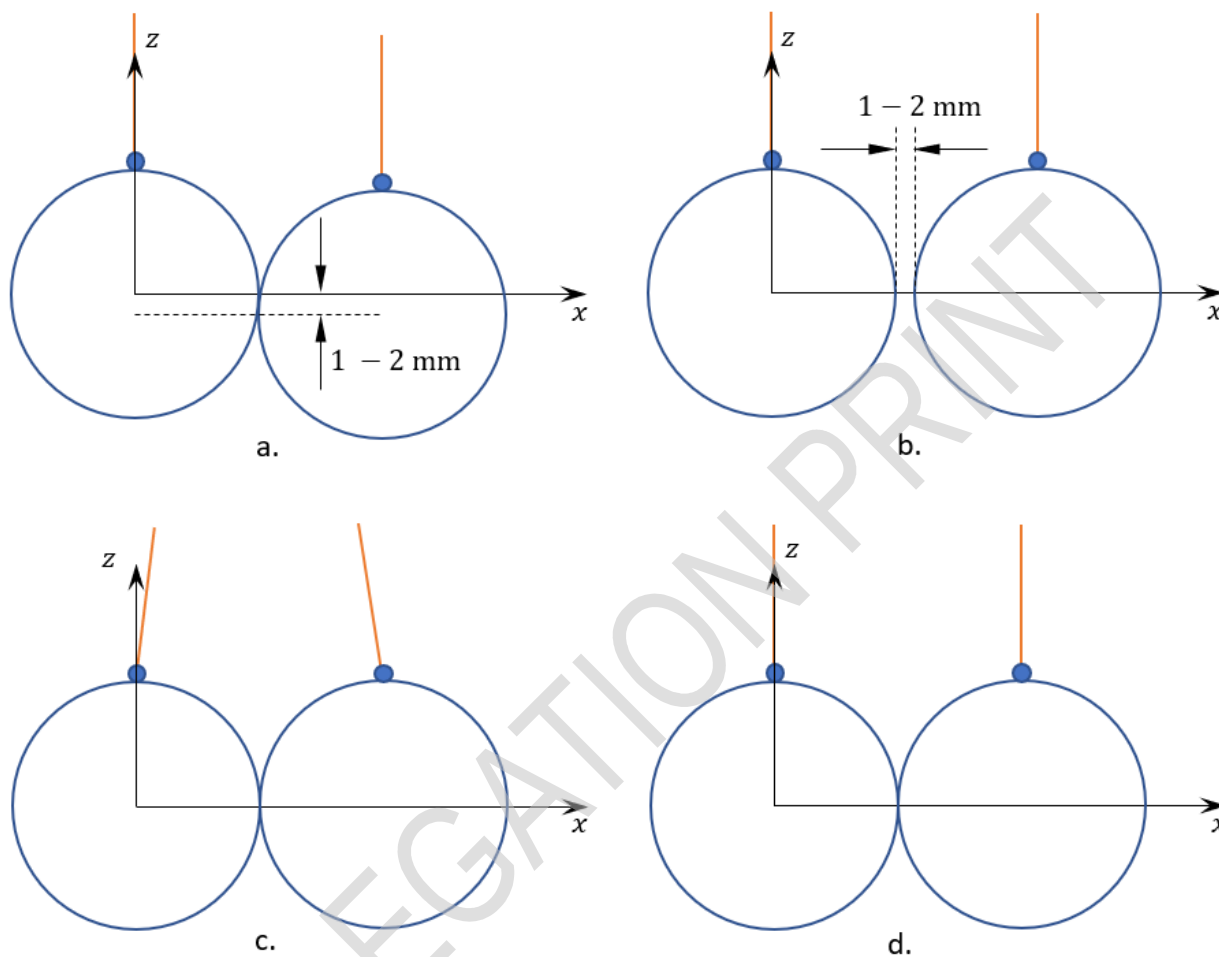


그림 4

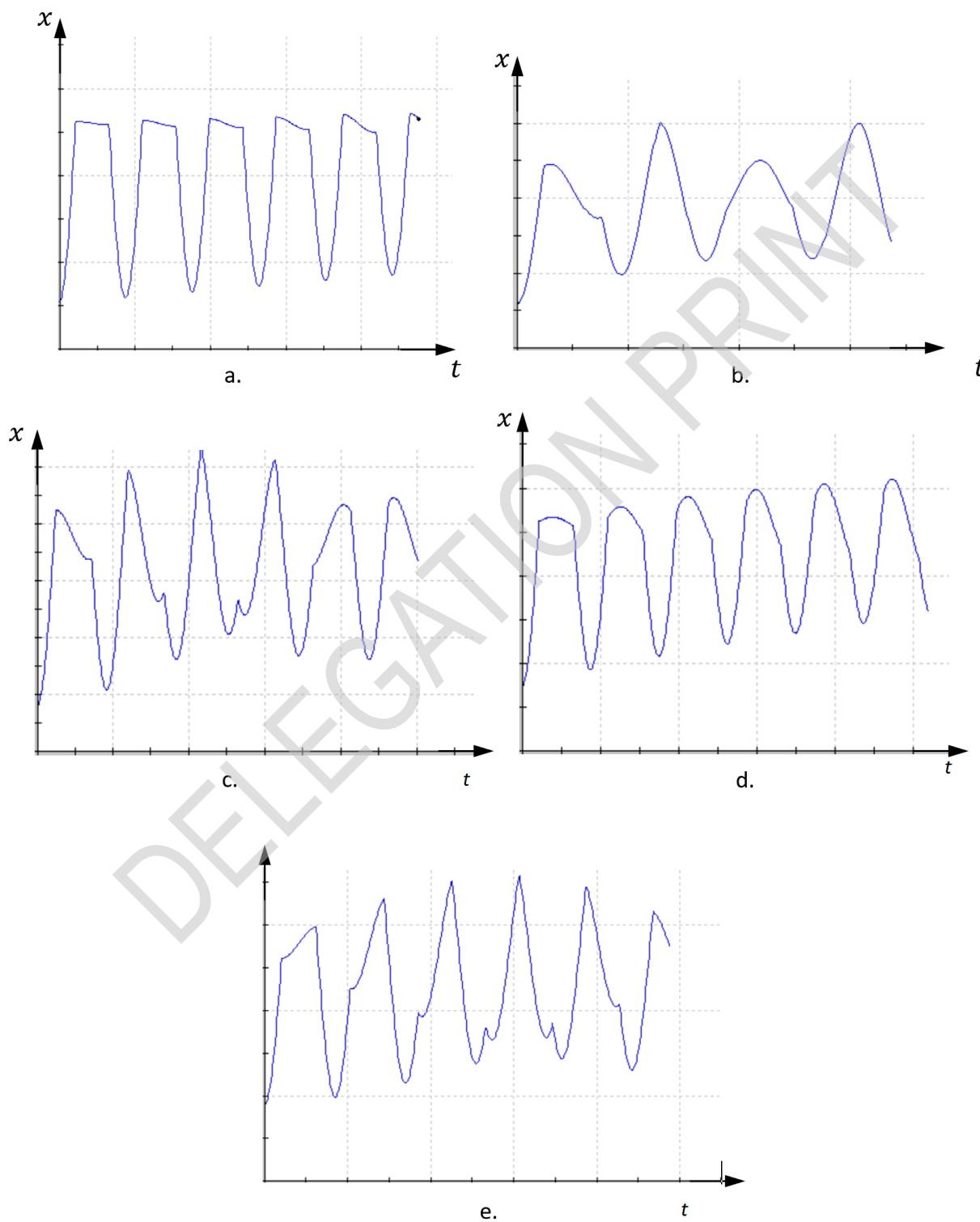


그림 5

C.1 두 개의 금속 구가 거치대에 매달린 채 안정적으로 평형 위치에 있을 때, 금속 구 1의 중심을 좌표계의 원점으로 정한다. 그러면 금속 구들의 위치는 두 금속 구 각각의 중심 사이의 x 방향으로의 변위 $d_x = 2R$, y 방향으로의 변위 $d_y = 0$, z 방향으로의 변위 $d_z \approx 1 \sim 2 \text{ mm}$ 로 나타낼 수 있고, 두 개의 구가 매달린 줄은 거의 평행하게 만든다(그림 4.a). 금속 구 2가 평형 위치에 있을 때, 초기 각도가 25° 에서 30° 사이에 있던 금속 구 1은 초기 속도 없이 초기 각도 위치에서 놓이게 된다. 동일한 크기의 구 충돌 거동에 대한 접촉 위치의 영향을 눈으로 관찰한다. 0.2pt

C.2 $d_x - 2R \approx 1 \text{ mm}$, $d_y = 0$, $d_z = 0$ 및 두 개의 구가 달린 줄은 평행하다. 즉, 두 금속 구에 대한 거치대를 옮겨서 두 개의 구 사이 간격이 1 mm 가 되도록 만든다(그림 4.b). 금속 구 2가 평형 위치에 있을 때, 초기 각도가 25° 에서 30° 사이에 있던 금속 구 1은 초기 속도 없이 초기 각도 위치에서 놓이게 된다. 동일한 크기의 구 충돌 거동에 대한 접촉 위치의 영향을 눈으로 관찰한다. 0.2pt

C.3 두 금속 구가 접촉하고 있으며, $d_x \approx 2R$, $d_y = 0$, $d_z = 0$ 이고 두 금속구 거치대가 서로 접촉하고 있다. 이 경우 두 개의 금속 구가 매달린 줄은 평행하지 않다(그림 4.c). 금속 구 2가 평형 위치에 있을 때, 초기 각도가 25° 에서 30° 사이에 있던 금속 구 1은 초기 속도 없이 초기 각도 위치에서 놓이게 된다. 동일한 크기의 구 충돌 거동에 대한 접촉 위치의 영향을 눈으로 관찰한다. 0.2pt

C.4 두 금속 구가 접촉하고 있는 상황, 즉 $d_x \approx 2R$, $d_y = 0$, $d_z = 0$ 이며 두 금속 구 거치대 사이의 간격이 벌어져 있고 두 금속 구가 매달린 줄은 서로 평행하다(그림 4.d). 금속 구 2가 평형 위치에 있을 때, 초기 각도가 25° 에서 30° 사이에 있던 금속 구 1은 초기 속도 없이 초기 각도 위치에서 놓이게 된다. 동일한 크기의 구 충돌 거동에 대한 접촉 위치의 영향을 눈으로 관찰한다. 0.1pt

파트 D: 충돌 시간 [3.0 점]

헤르츠 접촉은 특정 시간 동안 지속된 후, 두 금속 구는 분리된다. 이 파트에서는 몇 번의 충돌 실험을 동일한 크기의 두 구, 다른 크기의 두 구 사이에 수행함으로써 구의 어떤 매개변수가 접촉시간(τ)에 영향을 끼치는지 탐구할 것이다.

접촉 시간을 측정하기 위해 그림 6에 표시된 전기 회로가 사용된다. 금속 구를 거치대에 매단 줄만이 구의 진동에 관여하며, 추가적인 가는 금속 선들이 금속 구에 연결된다. 가는 금속 선을 교체할 때는, 금속 선이 구와 접촉하고 있는지 잘 확인해야 한다. 금속 선과 구의 접촉을 잘 유지하기 위해서는, 제공된 나무 이쑤시개를 금속 구에 줄을 걸기 위한 구멍의 한쪽에 잘 꽂아 넣으면 된다. 금속 선을 교체하기 위해서는 종이 클립을 이용하여 잠금 이쑤시개를 먼저 제거해야 한다. (그림 7).

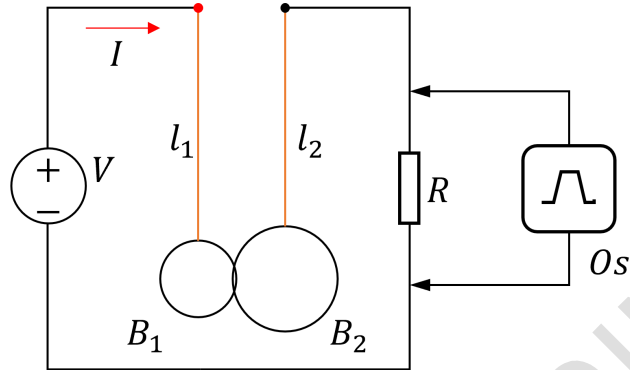
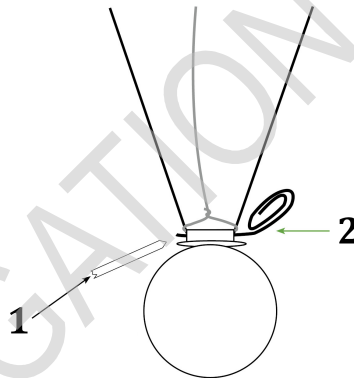
그림 6 (B_1 - 금속 구 1, B_2 - 금속 구 2, O_s - 오실로스코프)

그림 7 (1 - 이쑤시개, 2 - 종이 클립)

D.1 금속 구 사이의 충돌 시간 τ 는 다음 식과 같이 주어진다: $\tau = A \cdot x_1^{e_1} \cdot x_2^{e_2} \dots \cdot x_n^{e_n}$ 여기서 A 는 단위가 없는 상수이고, $x_1, x_2, \dots, x_n$ (어떤 정수 값 n 에 대해)는 충돌과 관련된 물리적 매개변수들이다. 이 물리적 매개변수들이 무엇인지 구하시오. 지수(exponent) 값들 $e_1, e_2, \dots, e_n$ 또한 문제 D.2 과 D.3에서 구하게 될 것이다. 0.4pt

D.2 실험을 통해 적절히 선형화된 그래프들을 그림으로써 문제 D.1에서 τ 를 표현하는데 사용된 지수 값들을 구하시오. 1.2pt

D.3 차원해석과 D.2에서 얻어낸 지수 값들을 활용하여, 나머지 지수 값들을 구하시오. 0.4pt

D.4 적어도 네 개 이상의 유효숫자를 갖는 정확도로 A 의 값을 구하시오. 1.0pt

파트 E: 헤르츠 변형의 매개변수들 [3.0 점]

A.2에서 얻은 최대 속도에 관한 방정식과 D.2에서 얻은 실험 데이터를 사용하여 일정 범위의 초기 각도에 대해 다음 매개변수들을 찾으시오($\nu = \nu_1 = \nu_2 = 0.3$, $E = E_1 = E_2 = 200 \text{ GPa}$, $m_1 = 131.48 \text{ g}$, $m_2 = 67.55 \text{ g}$, $d_1 =$

Experiment



Q1-10

Korea (Korea)

31.74 mm, $d_2 = 25.42$ mm):

E.1	평균 힘 F_{av} 를 나타내는 식과 값을 구하시오.	0.6pt
E.2	헤르츠 변형 δ 를 나타내는 식과 값을 구하시오.	0.6pt
E.3	헤르츠 접촉 반지름 a 를 나타내는 식과 값을 구하시오.	0.6pt
E.4	헤르츠 압력 P_0 를 나타내는 식과 값을 구하시오.	0.6pt
E.5	평균 압력 P_{av} 를 나타내는 식과 값을 구하시오.	0.6pt

문제 2: 열 변형된 표면에 의한 빛의 간섭

빛이 물질과 상호 작용하면 다양한 현상이 발생한다. 이 실험은 강한 빛에 의해 열변형된 아크릴 표면에서의 빛의 회절을 조사한다.

아크릴은 일반 유리보다 5배 강하고 다양한 응용이 가능한 유기소재이다. 메틸 메타크릴레이트의 액상 단량체는 아크릴의 주요 재료이다. 액체 상태는 고체 상태에 비해 밀도가 낮다. 다양한 착색제와 경화제가 액상 단량체에 첨가된다. 열성형 온도 범위는 160에서 190°C이다. 아크릴은 유해한 화학 물질을 방출하지 않기 때문에 환경 친화적인 소재이며, 어린이 장난감, 식기, 장치 틀 제작에 널리 사용된다. 또한 물에 대한 저항성이 있다.



실험 장치:

1. 각도 조절 장치가 있는 레이저
2. 구멍이 있는 스크린
3. 멀티미터 2개(전류계 1개와 전압계 1개)

4. 레이저와 컨트롤 박스 연결을 위한 전선
5. 멀티미터 사이의 연결을 위한 전선
6. 컨트롤 박스
7. 전원 어댑터
8. 위치 조절 장치가 있는 스탠드와 아크릴판

실험 장치의 개략도

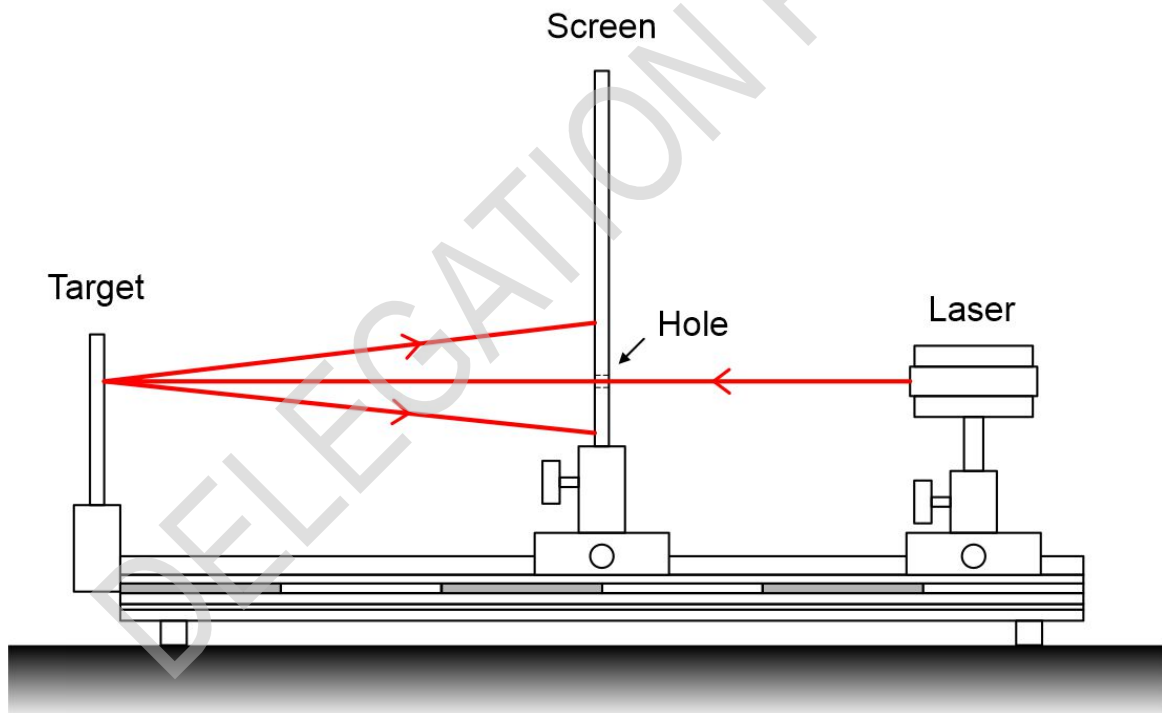


그림 1a. 장치의 측면 모습. 레이저 빔은 스크린의 구멍을 통과한 후 아크릴판에 반사되어 스크린에 회절 무늬를 형성한다.

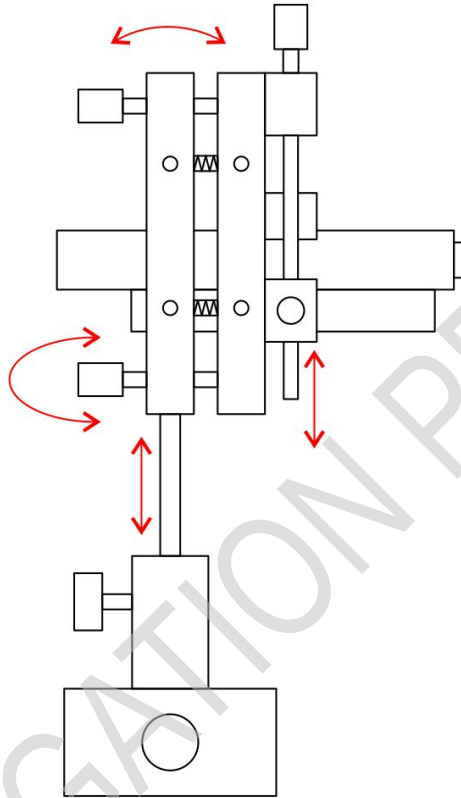


그림 1b. 레이저 조절 장치의 옆면 모습. 움직일 수 있는 나사가 빨간색 화살표로 표시되어 있다.

이 실험은 두 부분으로 구성된다. 첫 번째 부분은 원형 간섭 무늬의 지름, 갯수, 폭을 레이저에 공급되는 전력의 함수로 구하는 것이다.

두 번째 부분은 간섭 무늬를 형성하는 회절 구멍의 특성을 나타내는 수치를 레이저에 공급되는 전력의 함수로 구하는 것이다.

실험 수행을 위한 도구

1. 이전 실험에서 금속 공을 매달기 위해 사용했던 장치를 기본 받침대에서 분리한 다음 부드러운 매트 위에 놓는다.
2. 그림과 같이 기본 받침대에 레이저, 스크린, 아크릴 받침대를 설치한다. 레이저 빔이 스크린의 구멍을 통과할 수 있도록 스크린의 구멍과 같은 높이로 레이저를 설치한다. 레이저 빔이 아크릴 표면에 거의 수직으로 입사하도록 레이저의 위치와 각도를 조절한다.
3. 마그네틱 홀더로 아크릴 판을 고정한다. 아크릴 판의 흰종이가 붙은 면은 레이저 빔이 아크릴 판에 초점을 맺는지 확인할 때 사용된다.

참고 1: 레이저를 비추는 동안 컨트롤 박스의 다이얼을 돌려 레이저 밝기를 낮은 값부터 점차적으로 올리고 밝은 빛이 눈에 직접 노출되지 않도록 주의한다.

참고 2: 스티커를 제거한 아크릴 판의 표면이 완전히 깨끗한지 확인하십시오. 레이저가 도달하는 면이 더러워 닦아야 할 경우 제공된 렌즈 청소용 물티슈를 사용하십시오. 형검 등으로 닦으면 마찰로 인해 쉽게 대전되고 먼지가 붙을 수 있으므로

주의하시오.

4. 종이가 붙은 반대면의 보호 필름을 제거한다. 눈금을 이용하여 레이저가 닿는 지점을 확인할 수 있다. 표면이 더럽거나 지나치게 밝은 빛에 노출되면 간섭 무늬가 왜곡되고 타원형이 될 수 있으며 추가 줄무늬가 형성될 수도 있으므로 주의하시오.
5. 레이저를 켜기 위해서는 컨트롤 상자의 스위치를 "ON" 위치로 이동하면 된다.
6. 레이저와 컨트롤 상자 사이 회로에 멀티미터를 연결하여 DC 전류 및 DC 전압을 측정할 수 있도록 한다. 스위치를 켜고 레이저에 가해지는 전압을 변화시켜 빛의 세기를 증가시킨다. 가장 높은 설정에서 가장 낮은 설정까지 측정 범위를 조정할 수 있으며 전압은 최대 45V까지 올릴 수 있다.
7. 레이저 빔은 불투명하고 광택이 있는 평평한 아크릴 표면에서 반사된다. 빛의 세기가 점차 증가함에 따라 표면이 특정 세기 값에서 녹기 시작한다. 홀더에서 분리하여 아크릴 판의 표면을 살펴보면 녹은 부분을 시각적으로도 찾아 낼 수 있다.
8. 레이저 앞 부분을 돌려 아크릴 표면에 초점을 맺도록 조정할 수 있다.
9. 위 사항들을 참고하여 아래 실험을 수행한다. 레이저 빔을 적절히 조절하여 스크린 구멍을 통과하여 아크릴 판 표면에서 반사된 빛이 스크린에 광점을 형성하도록 하시오. 컨트롤 박스의 다이얼을 돌려 빛의 세기를 단계적으로 증가시키면서 레이저 세기를 높였다 낮출 때 광점의 모양과 크기가 어떻게 변하는지 관찰하시오.

파트 A [0.8점]

스크린에 형성된 간섭 무늬는 레이저에 공급되는 전력이 특정 값에 도달할 때 까지는 레이저의 세기를 키웠다가 줄일 때 다시 수축하는 가역성을 보인다. 이 파트에서는 이러한 열탄성을 보이는 범위의 상한값 즉 더이상 가역성을 보이지 않기 시작하는 항복 강도를 알아낸다.

A.1	항복 강도(p_{max})에 해당하는 레이저 전력을 알아내시오.	0.3pt
A.2	레이저의 전력이 항복 강도에 해당하는 값에 도달하였을 때 가장 바깥쪽 밝은 무늬의 지름을 측정하시오.	0.5pt

파트 B [3.5점]

B.1	형성된 가장 바깥쪽 밝은 무늬의 지름과 간섭 무늬의 개수를 레이저 전력을 변화시키며 측정하고 그 결과를 답안지의 표에 기록하시오.	1.5pt
B.2	가장 바깥쪽 밝은 무늬의 지름을 레이저 전력에 대해 나타낸 그래프를 그리시오.	1.0pt
B.3	간섭무늬의 개수를 레이저 전력에 대해 나타낸 그래프를 그리시오.	1.0pt

파트 C [3.7점]

C.1	하나의 전력 값에 대해, 어두운 간섭 무늬의 각도폭(n 번째 무늬의 광선과 $n+1$ 번째 무늬의 광선 사이의 각도) 및 가시각(n 번째 무늬의 광선과 x 축 사이의 각도)을 무늬의 차수 n 에 대해 측정하시오. 답안지 표에 결과를 기록하시오.	1.2pt
C.2	가시각을 간섭무늬 차수의 함수로 나타내는 선형 그래프를 그리시오.	1.0pt

C.3 C.2에서 그린 그래프의 기울기와 Y-절편을 구하시오.

0.5pt

C.4 각도폭을 간섭무늬 차수의 함수로 나타내는 그래프를 그리시오.

1.0pt

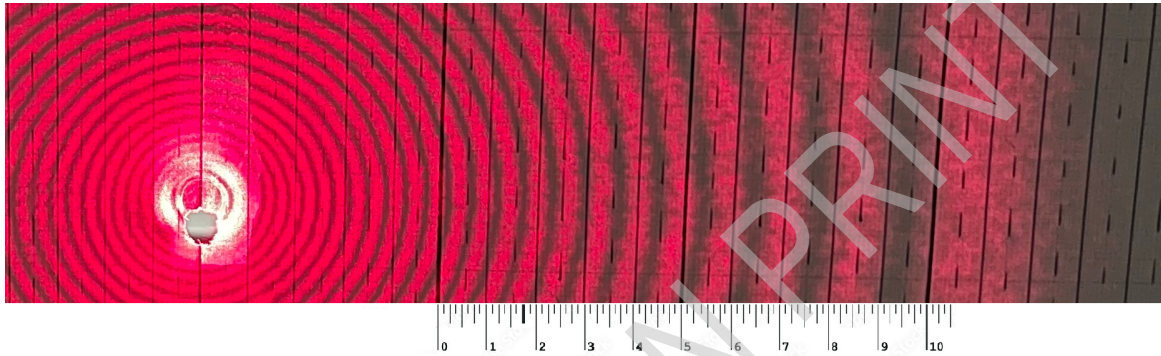
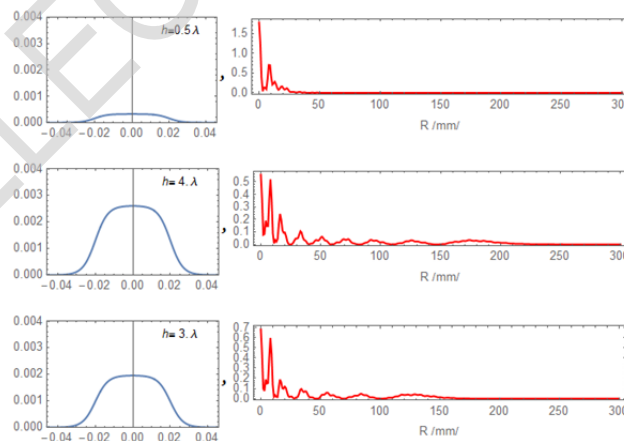


Fig 2. 스크린에 나타나는 간섭 무늬의 사진

파트 D [2.0점]

이 부분에서는 간섭무늬로부터 열변형의 매개변수를 알아낸다. 레이저가 표면을 가열하면 열변형이 발생하여 아래 그림과 같이 스크린에 간섭무늬가 형성된다.



파란색 그래프는 이러한 열 변형 프로파일의 단면을 보여준다. 빨간색으로 표시된 그래프는 원형 간섭무늬의 중심에서부터의 거리에 따른 빛의 밝기를 나타낸다. 표면에 쏘이는 레이저의 세기가 증가함에 따라 변형의 높이가 증가하고 밝은 간섭무늬의 개수도 증가한다. 그림에서 볼 수 있듯이 변형 높이 (h)와 간섭무늬의 개수(m) 사이에는 실험적으로 $m = 2h/\lambda$ 인 관계가 있다.

D.1 간섭무늬의 개수를 세어 간섭무늬의 가장 높은 차수를 알 수 있다. 이러한 자료로부터, 레이저 파장을 단위로 한 변형의 높이를, 레이저 전력의 함수로 나타낸 그래프를 그리시오. 힌트: 데이터에 200mW에서 400mW의 범위가 포함되도록 하시오.

1.4pt

- D.2** 다음 입력 레이저 전력에 대한 변형 높이는 얼마인가? 레이저 파장을 단위로 하여 답하십시오. 0.6pt
- 200mW
 - 300mW
 - 400mW

DELEGATION PRINT