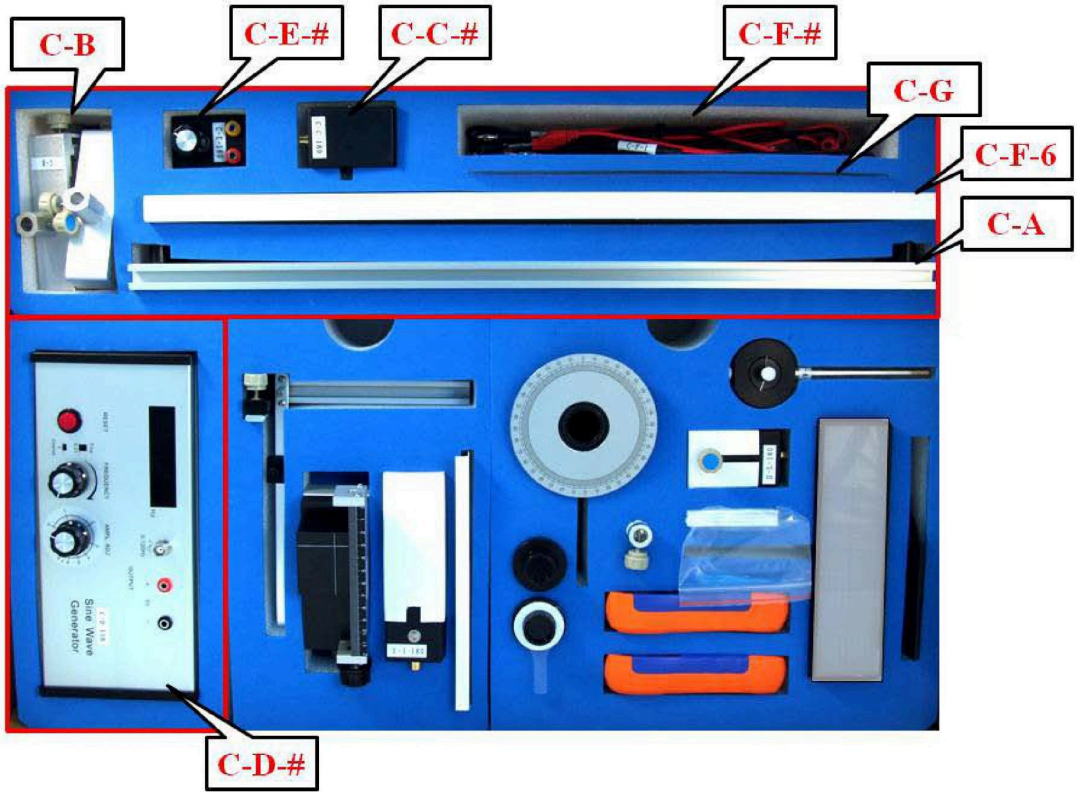
실험 부품

Set-C 공통 부품:

표지	품목	수량
C-A	광학 레일 (60 cm)	1
C-B	광학 클램프	4
C-C-#	평행광 레이저 다이오드 (CLD)	1
C-D-#	사인파 발생기 (사인파, 직류 5V 출력)	1
C-E-#	가변 저항 (5 kΩ)	1
C-F-#	연결 도선	4
C-F-6	부품 스탠드	1
C-G	자	1

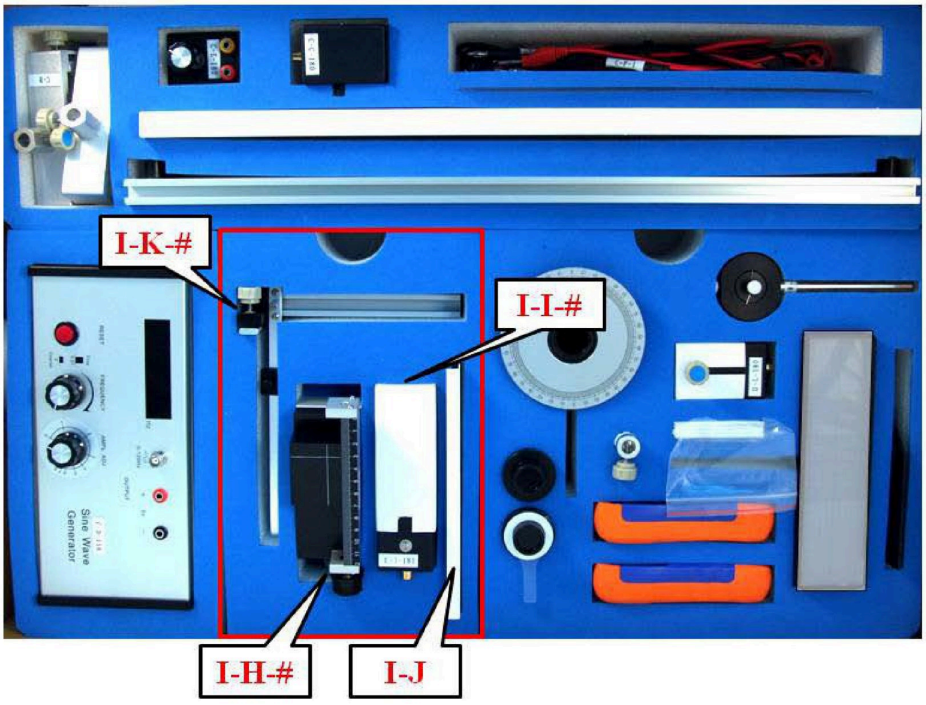
주: “#”는 부품의 일련번호이다. 이 번호는 채점자가 쓴다.



실험 I용 Set-I

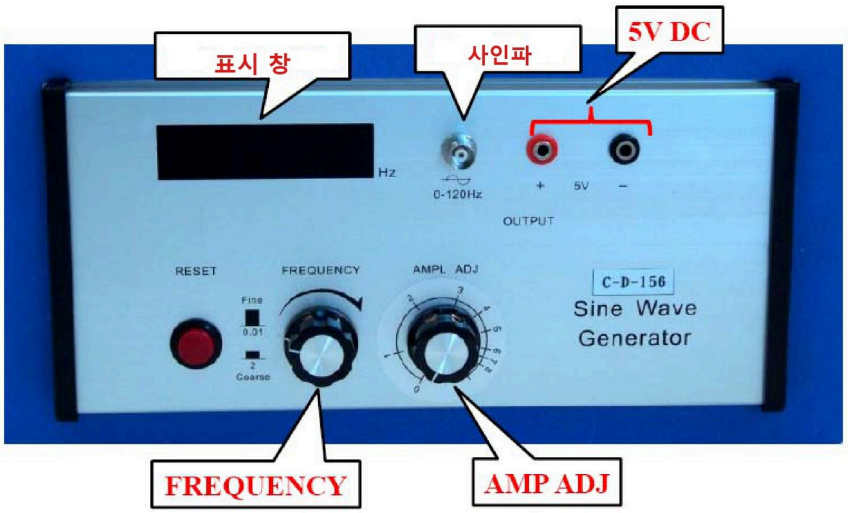
표지	품목	수량
I-H-#	1차원 이동 받침대 위의 블랙박스	1
I-I-#	구동 상자에 붙은 황동 리드*	1
I-J	진폭 측정용 화면	1
I-K-#	수직 슬라이더 (자와 자석 포함)	1

*한쪽 끝이 상자 안에 고정된 황동 리드는 교류 전압으로 구동되는 압전 소자에 붙어 있다.



◎ 사인파 발생기 사용법:

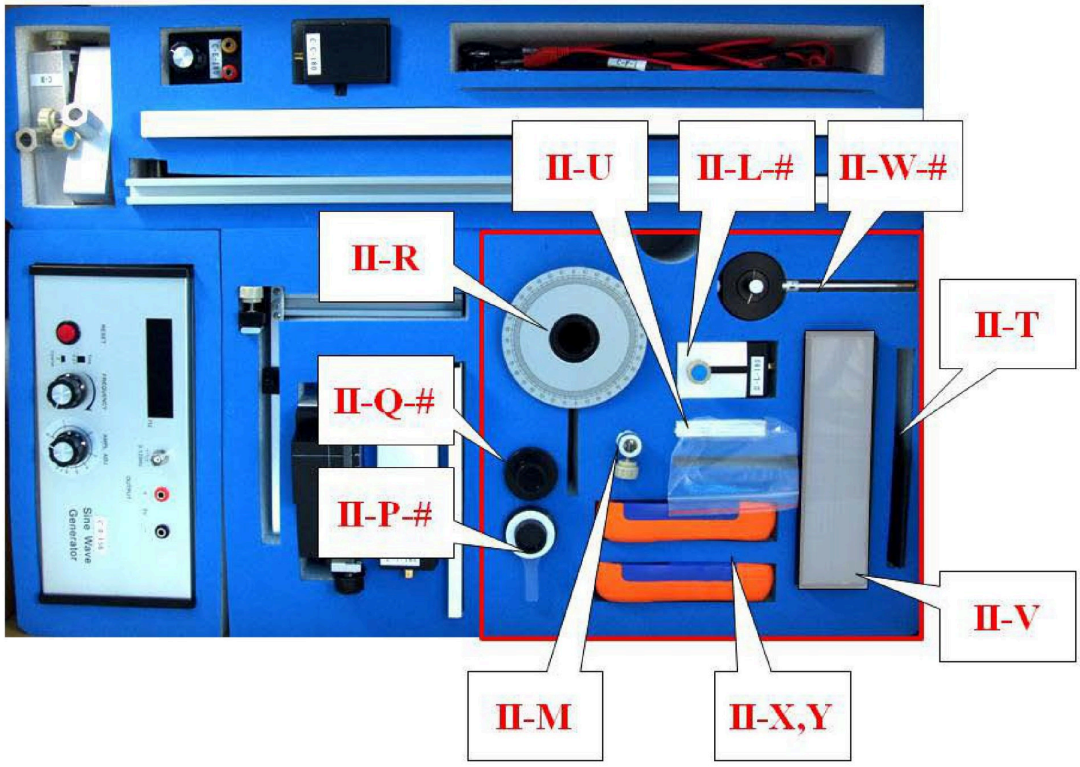
- 사진에는 보이지 않는 전원 단추는 기기의 오른쪽 옆면에 있다.
- “표시 창(Display Panel)”은 출력 사인파의 진동수를 보여 준다.
- 사인파 전압을 공급할 때는 “Sine Wave” BNC 커넥터를 쓴다.
- 5V의 일정한 전압을 공급할 때는 “5V DC” 바나나 커넥터를 쓴다.
- 사인파의 진동수는 “FREQUENCY” 손잡이를 돌려 바꿀 수 있다. 빨리 돌리면 크게, 천천히 돌리면 미세하게 조정된다. “FREQUENCY” 손잡이 옆의 fine, coarse 표시는 무시하시오.
- 사인파 전압의 진폭은 “AMPL ADJ” 손잡이를 돌려 조정할 수 있다.
- “RESET” 단추를 누르면 진동수가 0.00 Hz로 초기화된다.



실험 II용 Set-II

표지	품목	수량
II-L-#	평행하지 않은 레이저 다이오드 (ULD)	1
II-M	ULD 받침	1
II-P-#	눈금 표시가 있는 편광판 (PR2)	1
II-Q-#	편광판 (PR1)	1
II-R	PR1과 PR2 받침	1
II-T	빛 필터 받침	1
II-U	빛 필터	4
II-V	빛살 관찰 상자 (화면)	1
II-W-#	광전도체 (PC)	1
II-X	디지털 멀티미터	1
II-Y	디지털 멀티미터	1

II-L-#, II-M, II-V는 쓰지 않는다.



◎ 디지털 멀티미터 사용법:

- 전원 단추를 눌러 디지털 멀티미터를 켜고 끌 수 있다.
- 전압과 저항을 잴 때는 “VΩ” 단자와 “COM” 단자를 쓴다.
- 작은 전류를 잴 때는 “mA” 단자와 “COM” 단자를 쓴다.
- 기능 다이얼로 알맞은 기능과 측정 범위를 고른다. “V”는 전압 측정, “A”는 전류 측정, “Ω”는 저항 측정이다.
- “HOLD” 단추는 누르지 마시오. 이 단추를 누르면 표시된 읽음값이 고정되고 측정이 멈춘다. 단추를 다시 누르면 풀린다.



실험 I. 자기력 탐침

◎ 들어가며

그림 I-1처럼 리드의 자유단은 외부의 진동하는 힘으로 구동될 때 연직 방향으로 진동할 수 있으며, 그 진동수는 외부 구동원이 정한다. 어떤 감쇠 메커니즘이 있는 진동 리드에서 소모되는 평균 일률을 진동수의 함수로 그리면, 그림 I-2처럼 ***공명 진동수*** f_R라 부르는 어떤 진동수에서 소모 일률이 최대가 됨을 알 수 있다. 공명의 날카로움은 다음과 같은 ***성능 지수*** Q로 나타낸다.

$$Q = \frac{f_R}{\Delta f}$$

여기서 Δf는 그림 I-2와 같은 P_{av}-f 곡선의 반치전폭이다. 곧 $\Delta f = f_2 - f_1$이며, f_1과 f_2는 각각 공명 진동수보다 낮은 쪽과 높은 쪽에서 $P_{\max}/2$에 해당하는 진동수이다.

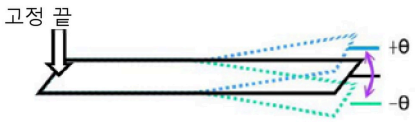


그림 I-1. 진동하는 리드.

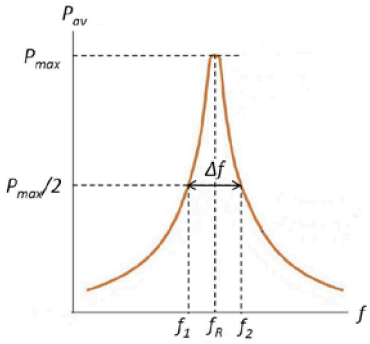


그림 I-2. 구동 진동수에 따른 평균 소모 일률의 그래프.

진동하는 구동력 말고도 리드의 자유단에 균일한 힘이 작용하면, 공명 진동수, 진폭, 성능 지수는 그대로이다. 반면 균일하지 않은 힘을 받으면 공명 진동수 f_R, 최대 진폭 A, 성능 지수 Q 같은 진동 리드의 여러 성질이 자유단의 위치에 따라 달라질 수 있다.

이 실험에서는 그림 I-3처럼 리드의 자유단에 붙인 작은 자석이 탐침 끝 역할을 하고, 탐침 자석 아래의 표적 자석이 균일하지 않은 자기장을 만들어 탐침 자석에 균일하지 않은 힘을 준다. 같은 극이 서로 마주 보게 하여 탐침 자석이 아래의 표적 자석에 다가가면 척력이 세진다. 따라서 리드의 공명 진동수 f_R는 탐침 자석과 표적 자석 사이의 거리에 따라 달라진다. 서로 밀어내는 두 자석 사이의 거리가 줄어들수록 공명 진동수는 커진다. 그러나 그림 I-4처럼 탐침 자석을 표적 자석에서 수평으로 멀어지게 옮기면, 어떤 거리에서는 약한 인력을 느낄 수 있다. 균일하지 않은 힘이 인력이면 공명 진동수는 더 낮은 값으로 옮겨 간다. 리드의 공명 진동수가 탐침 자석과 표적 자석 사이의 거리에 민감하게 의존한다는 이 성질을 이용해, 블랙박스 안에 숨겨진 자석들의 위치를 찾을 것이다.

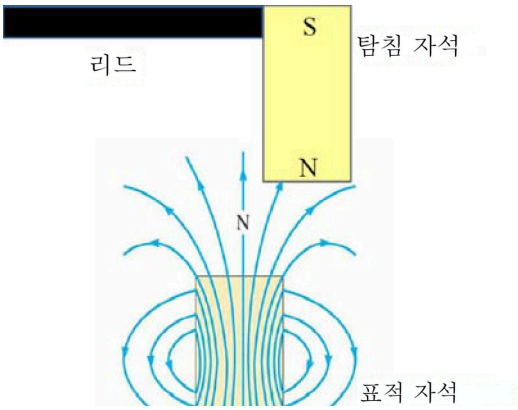


그림 I-3. 표적 자석의 극 가까이에서는 자기장이 균일하지 않다.

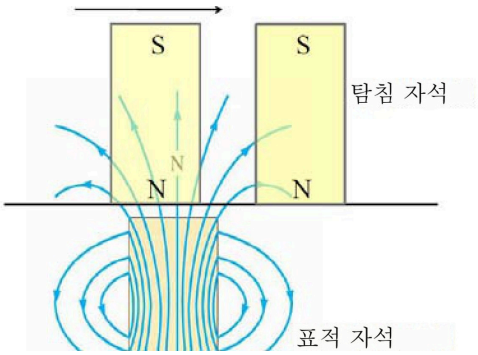


그림 I-4. 탐침 자석을 수평으로 옮기면 인력이나 척력을 느낄 수 있다.

◎ 실험 절차

실험 I의 어느 부분에서도 오차 분석은 요구하지 않는다.

실험 I-A、공명 진동수 재기

Set-C와 Set-I에서 실험 부품을 조심스럽게 꺼내어, 그림 I-A-1처럼 실험 장치를 꾸미시오. 개략도는 그림 I-A-2에 있다. 직류 5V 전압원을 레이저 상자(**C-C-#**)에 연결하시오. 사인파 발생기의 진동 출력을 황동 리드(**I-I-#**)의 구동 상자에 연결하시오. 전원을 켜고 사인파 발생기의 출력 전압을 고정하시오. 레이저 빛살을 황동 리드 자유단의 거울에 비추어, 화면(**I-J**)에 맺힌 반사 빛점으로 리드의 진동 진폭을 정할 수 있게 하시오.

주의: 1) 황동 리드(**I-I-#**)로 실험 측정을 하기 전에 종이 보호 덮개를 조심스럽게 벗기시오. 황동 리드의 공명 진동수는 그 모양에 매우 민감하며, 실험 중에 리드가 조금이라도 변형되면 결과가 부정확해질 수 있다.

2) 레이저 빛살을 직접 들여다보지 마시오. 눈을 다칠 수 있다.

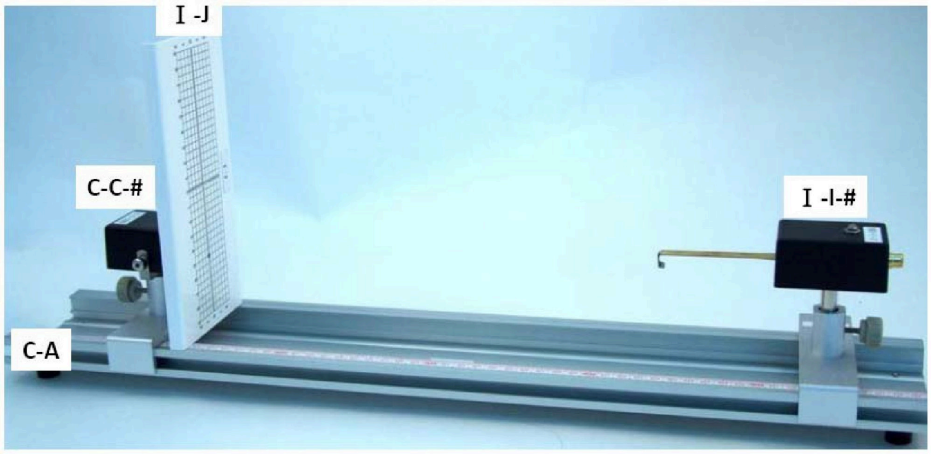


그림 I-A-1. 공명 진동수를 찾는 실험 장치.



그림 I-A-2. 그림 I-A-1의 개략도.

(1) 사인파 발생기의 진동수를 바꾸면서 진동하는 레이저 빛점의 진폭 A를 재시오. 잰 진폭을 진동수의 함수로 답안지의 데이터 표에 기록하시오. **(0.8점)**

(2) 주어진 모눈종이 하나에 알맞은 그래프를 그려 공명 진동수 f_{RO}와 성능 지수 Q를 구하시오. 구한 f_{RO}와 Q를 답안지의 알맞은 빈칸에도 적으시오. **(1.2점)**

실험 I-B、외력에 따른 공명 진동수

이 부분에서는 균일하지 않은 힘의 영향 아래에서 공명 진동수를 조사한다. 균일하지 않은 힘은 N극이 위를 향하도록 수직 슬라이더(**I-K-#**)에 고정된 지름 3 mm의 작은 원기둥 금속 보정 자석 M_C가 준다. 진동하는 리드의 자유단에 붙은 탐침 자석 M_T는 N극이 아래를 향한다. 두 자석의 극축은 같은 연직선 위에 맞추어야 한다.

그림 I-B-1처럼 실험을 꾸미시오. 개략도는 그림 I-B-2에 있다.

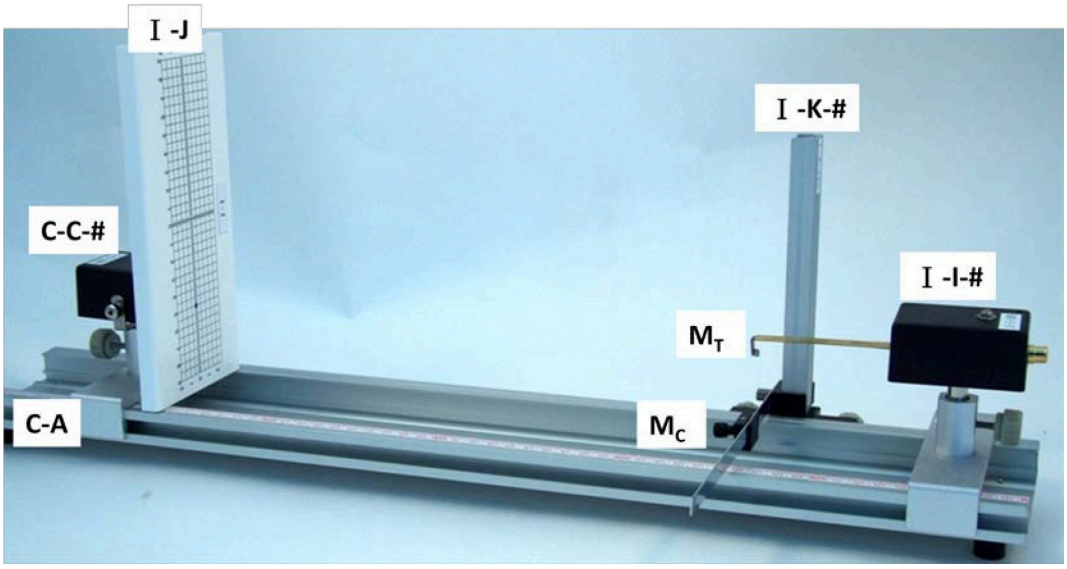


그림 I-B-1. 공명 진동수와 두 자석 M_C, M_T 사이의 명목 거리의 관계를 찾는 실험 장치.

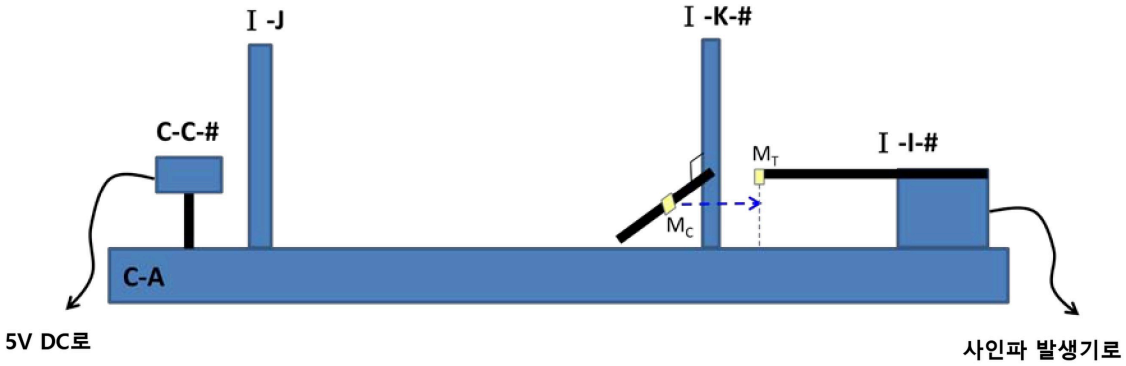


그림 I-B-2. 그림 I-B-1의 개략도.

(1) M_C를 M_T에서 충분히 멀리 옮겨 M_C와의 상호작용이 없는 상태에서, 수직 슬라이더의 눈금으로 탐침 자석 M_T 아랫면의 위치 z_0를 읽으시오. 잰 z_0를 데이터 표에 기록하시오.

(2) 자석 M_C를 M_T 바로 아래에 오도록 조정하시오. 두 자석의 극축은 같은 연직선 위에 맞추어야 한다. M_C의 N극 윗면의 위치 z를 정하시오. $d = z_0 - z$로 정의해 명목 거리 d를 계산하시오. z와 d를 데이터 표에 기록하시오. (주: 두 자석은 서로 밀어내므로 두 자석 사이의 평형 간격은 d와 같지 않다.) **(0.2점)**

(3) 사인파 발생기의 진동수를 조정해 진폭이 최대가 되게 하여 거리 d에 대한 공명 진동수 f_R를 정하시오.

각 거리 d의 f_R를 정하는 데 진폭-진동수 그래프를 그릴 필요는 없다. 정한 공명 진동수 f_R를 데이터 표에 기록하시오.

(4) 자석 M_C의 연직 위치를 바꾸며 단계 (2)와 (3)을 되풀이해, 여러 거리 d와 그에 해당하는 공명 진동수 f_R를 재시오. **(1.2점)**

(5) 모눈종이에 거리 d의 함수로 f_R의 그래프를 그리시오. 눈으로 가늠해 데이터 점들을 지나는 가장 알맞은 선을 그리시오. **(1.2점)**

(6) $\Delta f_R = f_R - f_{RO}$로 정의하고, 다른 모눈종이에 d의 함수로 $\ln(\Delta f_R)$를 그리시오. 눈으로 가늠해 데이터 점들을 지나는 가장 알맞은 선을 그리시오. **(1.0점)**

실험 I-C、블랙박스 안 자석들의 위치와 깊이 찾기

1차원 이동 받침대에 고정된 블랙박스(I-H-#)에는 두 자석 M_A와 M_B가 묻혀 있다. 두 자석의 N극은 모두 위를 향한다. 자석 M_A, M_B와 **실험 I-B**에서 쓴 M_C는 크기, 모양, 자기적 성질이 매우 비슷하다. 자석 M_A와 M_B의 깊이는 다를 수 있다. 자석 M_A는 블랙박스 윗면에 표시된 두 선의 교차점에 있다. 자석 M_B는 그림 I-C-1처럼 긴 선을 따라 어딘가에 있다. 자석 M_A와 M_B 사이의 수평 거리를 $\overline{AB}$로 나타낸다.

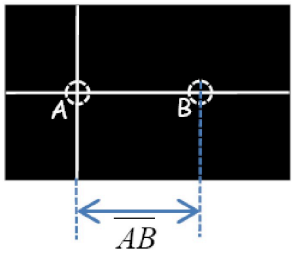


그림 I-C-1. 자석 M_A는 윗면에 표시된 두 선의 교차점 아래에, 자석 M_B는 긴 선을 따라 어딘가에 있다.

(1) 블랙박스 안 자석들과의 상호작용이 없는 상태에서, 수직 슬라이더의 눈금으로 탐침 자석 M_T 아랫면의 위치 z_0를 읽으시오(이 부분의 z_0는 실험 I-B의 z_0와 다를 수 있다). 수직 슬라이더의 눈금으로 블랙박스 윗면의 위치 z_{box}를 읽으시오. z_0와 z_{box}를 답안지에 기록하시오. **(0.2점)**

(2) 블랙박스를 긴 선을 따라 옮기면서 리드의 공명 진동수 f_R의 변화를 관찰해 M_B의 위치를 찾으시오. 잰 거리 y와 그에 해당하는 공명 진동수 f_R를 데이터 표에 기록하시오. **(1.4점)**

(3) 모눈종이에 y의 함수로 f_R를 그려 자석 M_B의 위치를 정하시오. 그래프의 y축에 자석 M_A와 M_B의 위치를 표시하고, $\overline{AB}$의 값을 답안지에 적으시오. **(1.2점)**

(4) 실험 I-B의 결과를 써서 블랙박스 윗면으로부터 자석 M_A와 M_B의 깊이 d_A와 d_B를 정하시오. d_A와 d_B의 값을 답안지에 적으시오. **(1.6점)**