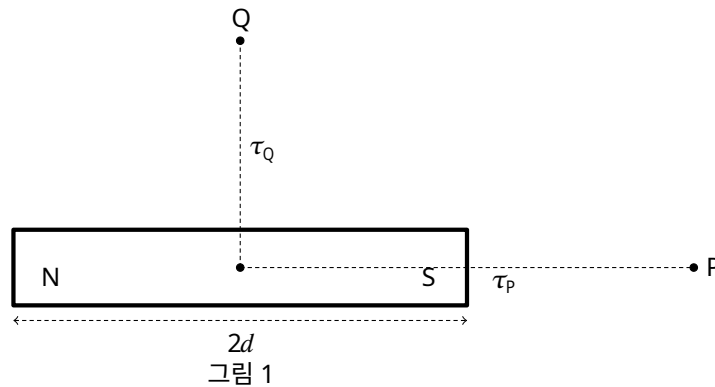


마그네틱 블랙박스:¹

스마트폰은 홀 효과 기반 자력계를 사용하여 주변의 자기장을 측정합니다. 자력계는 자기장의 세 가지 구성 요소를 모두 측정합니다. 자력계 센서는 휴대폰의 회로 기판에 장착되어 있으며 외부에서는 보이지 않습니다.

자석의 자기장

그림 1은 길이가 절반인 작은 막대 자석(d)과 쌍극자 모멘트(M)를 보여줍니다.



점 P에서 막대 자석의 축 방향 자기장의 크기 ($B_{\text{축}}$) 및 점 Q의 수직 이등분선($B_{\text{적도}}$)은 다음 공식에 의해 주어집니다.

$$B_{\text{축}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2M\tau_P}{(\tau_P^2 - d^2)^2} \quad (1)$$

$$B_{\text{적도}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M}{(\tau_Q^2 + d^2)^{3/2}} \quad (2)$$

여기서 μ 는 자유 공간의 투과성 ($\mu / 4\pi = 10^{-7} \text{NA}^{-2}$), τ_P, τ_Q 두 공간 사이의 거리입니다.

자석의 중심에서 자기장이 측정되는 지점까지의 거리를 구합니다. 주어진 문제에서 자석을 점 쌍극자($d \ll \tau_P, \tau_Q$)로 간주합니다.

화면의 시뮬레이션에 대해 설명합니다:

화면에 격자 형태의 흰색 배경 캔버스가 표시됩니다. 이 그리드 캔버스는 실험이 수행되는 수직 평면의 일부입니다. 캔버스에는 네 개의 개체가 있습니다:

1. 스마트폰
2. 파란색(S) 및 빨간색(N) 색상의 자석
3. 두께가 균일한 어두운 음영의 중공 파이프
4. '표시/숨기기' 버튼을 클릭하여 활성화할 수 있는 보정된 눈금입니다. 그리드 캔버스의 그리드 간 간격은 1cm입니다.

시험 포털에서 'EQ1-마그네틱 블랙박스' 링크를 클릭하여 실험 시험에 응시하세요.

¹ 찬단 릴레카르(방갈로르 IISc), 시단트 무커지(영국 캠브리지 대학교), 싯다르트 티와리(뭄바이 IIT 포와이), 차루닷 카돌카르(IIT 구와하티), 프라빈 파탁(뭄바이 HBCSE-TIFR)이 이 문제의 주 저자였습니다. 학술 위원회와 국제 이사회의 공헌에 감사드립니다.

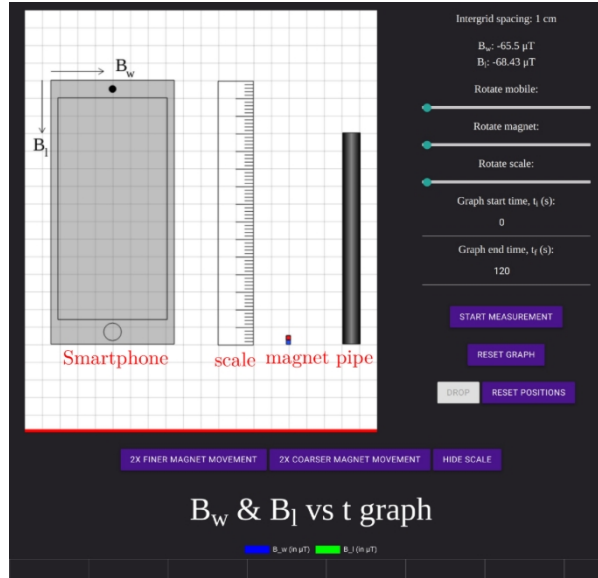


그림 2: 시뮬레이션 스크린샷

설정이 완료되었습니다:

마우스를 누른 채로 드래그하여 개체를 이동할 수 있습니다. 스마트폰, 눈금, 자석도 평면에서 회전할 수 있습니다. 회전 제어 슬라이더는 오른쪽 패널에서 사용할 수 있습니다. 슬라이더를 드래그하여 방향을 변경할 수 있습니다. 더 나은 제어를 위해 슬라이더를 클릭한 후 화살표 키를 사용하여 개체를 회전할 수 있습니다.

휴대폰 내부에는 주변 자석의 자기장을 측정하는 자력계가 있습니다. 휴대폰 내 자력계의 정확한 위치는 제공되지 않습니다. 자력계의 위치에 따라 오른쪽 패널에는 다음과 같이 스마트폰에서 측정한 자석의 자기장의 구성 요소 B_w 및 B_l 각각 폭과 길이에 따라 표시됩니다.

를 클릭합니다. 컴포넌트 B_w 는 휴대폰의 기본 위치(가로/세로 방향)로 오른쪽을 가리킵니다. 컴포넌트 B_l 는 휴대폰의 길이 방향을 따라 아래쪽을 가리킵니다.

측정값입니다:

'측정 시작'을 클릭하면 시간에 따른 B_w 및 B_l 의 변화 그래프를 볼 수 있습니다. 'RESET GRAPH'를 클릭하면 이 기록된 모든 값이 지워집니다. 그래프에서 커서를 곡선 위로 이동하면 해당 데이터 포인트의 값을 확인할 수 있습니다. '그래프 시작 시간(t_i)' 및 '그래프 종료 시간(t_f)' 필드에 시간을 입력하면 그래프의 일부를 확대할 수 있습니다.

스마트폰이 높은 자기장에 노출되면 손상될 수 있습니다. 이를 방지하기 위해 스마트폰에서 측정한 순 자기장 값이 $6500\mu\text{T}$ 를 초과하면 측정이 중지되고 오른쪽 패널에 '최대 자기장 초과'라는 경고가 표시됩니다. 자석을 휴대폰에서 충분한 거리만큼 떨어뜨리면 측정이 복원됩니다.

추가 기능:

자석을 키보드 화살표 키로 상하 및 좌우 방향으로 움직일 수 있습니다. 캔버스의 아무 곳이나 클릭하면 됩니다. '2X 더 미세한 자석 움직임/2X 더 거친 자석 움직임'을 클릭하면 자석을 더 미세하게/더 거칠게 움직일 수 있습니다. 이 버튼을 클릭할 때마다 무브먼트가 두 배 더 미세하게/더 거칠게 움직입니다. 최대 거칠기/세세기 레벨에 도달하면 버튼이 회색으로 바뀝니다.

중력은 화면 하단을 향해 아래쪽 방향으로 작용합니다. 바닥은 빨간색 선으로 표시됩니다. 화면 평면에 있는 모든 물체만 고려합니다. 파이프에 대한 자세한 정보는 파트 (B) 앞에 제공됩니다.

자석을 화면의 아무 곳이나 놓으면 자석이 고정된 위치에 있다고 생각하세요. '드롭' 버튼을 클릭하면 자석이 풀리고 내려 오기 시작합니다. '측정 시작' 버튼을 클릭한 후에만 자석을 떨어뜨릴 수 있다는 점에 유의하세요. '위치 재설정' 버튼을 누르면 자석이 마지막으로 떨어뜨렸던 위치로 되돌아갑니다. 필요한 경우 개체를 캔버스 밖으로 이동할 수 있습니다.

이 실험에서는 자석을 점 쌍극자라고 가정합니다.
이 질문에는 오차 추정이 필요하지 않습니다.

A.1 휴대폰에서 자력계의 위치를 파악합니다. 답에 도움이 되도록
안지에 이 부분을 1pt로 표시하면 회로도 내부에 더 세밀한 격자가 만들어집니다.
로 설정합니다. 더 미세한 격자의 격자 간 간격은 . 스마트폰의 적절한 위치에 "⊗"를 그려 자력계
의 위치를 표시합니다. 답

A.2 적절한 선형 그래프를 플롯하고 다음에서 자석의 쌍극자 모멘트를 구합니다. 2.3pt
그래프를 그립니다. 측정한 방법의 기록된 데이터에 대한 표를 채우세요.
계략.

유한하고 균일한 두께의 속이 빈 비자성 수직으로 고정된 파이프가 화면에 표시됩니다. 자석을 파이프 안에 떨어뜨리려면 자석이 파이프의 축에 올바르게 정렬되어 있어야 합니다. '드롭' 버튼을 누르면 자석이 수직 평면에서 해제됩니다. 파이프 내부의 자석의 움직임은 볼 수 없습니다. 자석을 파이프 내부에 떨어뜨렸을 때 자석이 내려오면서 기울어지거나 회전하지 않는다고 가정합니다. 파이프는 세 부분으로 구성되어 있습니다: 한 부분은 나무(W), 다른 부분은 전기 전도도 $= 3.77 \times 10^7 \text{A}^{(-1)} \text{m}^{-1}$ 인 알루미늄(Al), 나머지 부분은 전기 전도도 $= 5.96 \times 10^7 \text{A}^{(-1)} \text{m}^{-1}$ 인 구리(Cu)로 만들어져 있습니다. 이 세 가지 재료는 이 순서가 아닐 수도 있고 아닐 수도 있습니다. 자석을 수직으로 떨어뜨리면(예를 들어 아래쪽을 따라 떨어뜨리면 y-축), 자석의 낙하는 다음에 의해 결정됩니다.

$$m\ddot{y} = mg - ky \quad (3)$$

여기서 m 은 자석의 질량, g 은 중력에 의한 가속도 ($g = 9.8 \text{m/s}^2$), k 은 파이프의 와류 발생에 따른 감쇠 상수입니다. 나무에 대한 감쇠 상수입니다,

알루미늄, 구리 섹션은 각각 $0, k_{Al}, k_{Cu}$ 입니다. 다음 단계에 따라 자석을 파이프 안에 떨어뜨립니다:

1. 휴대폰, 자석, 파이프를 적절히 배치합니다.
2. '측정 시작' 버튼을 클릭합니다.
3. '드롭' 버튼을 클릭합니다.

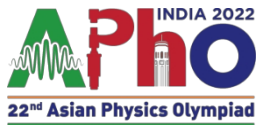
자력계는 파이프의 와류로 인해 생성되는 아주 작은 자기장은 측정할 수 없습니다. 자석이 파이프를 통해 내려가면 시간에 따른 B_w 및 B_l 그래프가 화면에 표시될 수 있습니다.

B.1 화면에 표시된 자기장 대 시간 그래프에서, 파이프의 서로 다른 재료의 단면이 0.3pt씩 이어지는 순서를 찾으십시오. 답을 표시하세요.
파이프의 재질 옆에 위에서 아래로 순서대로 번호를 적습니다: 상단 섹션은 1, 중간 섹션은 2, 하단 섹션은 3입니다.

B.2 2.6pt 파이프의 알루미늄 섹션에서 자석의 단자 속도를 결정하여 적절한 선형 그래프를 그립니다. 답안지에는 시뮬레이션 화면과 유사한 캔버스 격자가 제공됩니다. 이 파트의 데이터를 얻기 위해 사용한 정확한 위치와 방향에 스마트폰, 파이프 및 자석의 개략도를 그립니다. 상자를 사용하여 전하기를 표시합니다.
그래프를 그리는 데 사용하는 관련 데이터 세트로 표를 채웁니다. 파이프의 알루미늄 부분의 길이를 측정합니다. 파이프의 알루미늄 섹션의 길이를 측정하는 데 그래픽 방법을 사용할 수도 있고 사용하지 않을 수도 있습니다. 그래프/데이터 세트를 사용하여 길이를 결정하는 경우, 표의 추가 열을 사용하여 관련 데이터 세트를 보고하세요.

B.3 파이프의 구리 부분에서 자석의 단자 속도를 결정합니다(2.2pt 적절한 선형 그래프를 그리기). 파이프의 구리 부분의 길이를 결정합니다. 파이프의 구리 섹션 길이를 측정할 때 그래픽 방법을 사용할 수도 있고 사용하지 않을 수도 있습니다. 그래프/데이터 세트를 사용하여 길이를 결정하는 경우 표의 추가 열을 사용하여 관련 데이터 세트를 보고하세요.

실험



Q1-5

공식(영어)

- B.4** 파이프의 나무 부분의 길이를 결정합니다. 사용할 수도 있고 사용하지 않을 수도 있습니다. 1.6pt
- 파이프의 나무 부분 길이를 측정하는 그래픽 방법. 만약
그래프/데이터 집합을 사용하여 길이를 결정하는 경우 테이블의 추가 열을 사용하여 관련 데이터
집합을 보고합니다.

어쿠스틱 블랙박스¹

음원이 일정한 각속도 m 로 x - y 평면에서 고정 반지름 R 의 원 위에서 움직이고 있습니다. 원은 또한 일정한 속도 v_s 로 이동하여 x -축과 각도 β ($0^\circ < \beta < 90^\circ$) 를 이루고 있습니다. 그림 1은 빨간색 대시 점선으로 소스의 궤적을 보여줍니다. 시간 $t=0$ 에서 원의 중심은 좌표 (X_C, Y_C) , 소스의 위치는 C에서 벡터 $\vec{CA}$ 로 주어집니다. 또한 소스 S는 시계 반대(반시계) 방향으로 이동하기 시작합니다(그림 1 참조). 1) 동시에 시간 $t = 0$ 에서 주파수 f_0 의 소리를 방출합니다. 벡터 $\vec{CA}$ 는 $t = 0$ 에서 x -축에 대해 ϕ 각도를 만듭니다 (그림 1 (a)의 $\angle BCA = \phi$). 검출기 D는 원점으로부터의 거리와 위치 벡터가 x -축과 이루는 각도가 각각 r_D 및 θ 이 되도록 동일한 평면(x - y)에 유지됩니다(그림 1(b)에서). 검출기 D와 소스 S를 잇는 선은 x -축과 이루는 각도 α 를 만듭니다. 소스와 검출기의 모든 움직임은 xy 평면에만 있습니다. 음속 c 은 330m/s입니다. 또한 소스의 순 속도는 c 보다 작습니다.

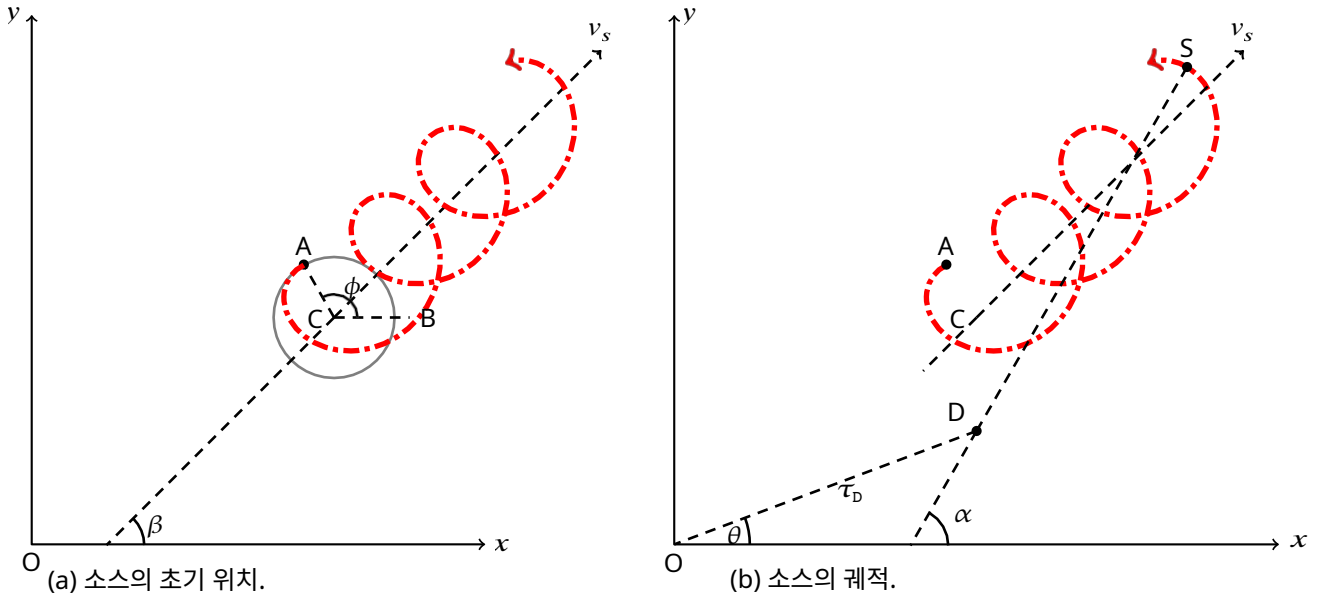


그림 1

소스가 방출하는 소리는 주파수 $f(t)$ 로 t 시간에 감지기에 의해 감지됩니다. 시뮬레이션은 감지된 주파수 $f(t)$ 를 표시합니다.

A.1 소스의 궤적 $(x(t), y(t))$ 의 방정식을 β, ϕ, v_s 및 기타 관련 수량.

0.2pt

시험 포털에서 "EQ2- 어쿠스틱 블랙박스"를 클릭하여 시험 시험에 응시하세요.

¹ Siddharth Tiwary(मुंबई IIT फोवाई), Siddhant Mukherjee(영국 캠브리지 대학교), Chandan Relekar(방갈로르 IISc), Charudutt Kadolkar(IIT 구와하티), Praveen Pathak(मुंबई HBCSE-TIFR)가 이 문제의 주 저자였습니다. 학술 위원회와 국제 이사회의 공헌에 감사드립니다.

시뮬레이션 정보:

시뮬레이션에는 두 부분이 있습니다. 패널의 위쪽은 감지기의 매개변수 입력 패널이고 패널의 아래쪽은 t 시점에 감지기가 감지한 주파수($f(t)$)의 그래픽 출력을 표시하는 부분입니다.

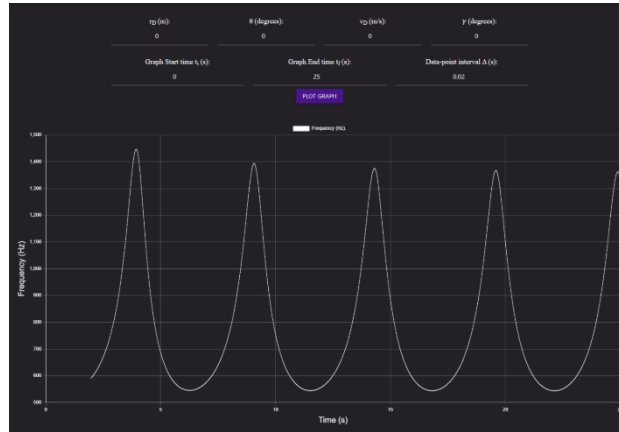


그림 2: 기본 시뮬레이션 화면

입력 패널에 τ_D 및 θ 값을 입력하여 감지기의 위치를 변경할 수 있습니다. 패널에서 값을 변경한 경우 '플롯 그래프'를 클릭하여 변경된 출력을 확인해야 합니다.

$f(t)$. "데이터 포인트 간격 Δ " 필드에서 데이터를 수집하는 간격을 변경할 수 있습니다. 이 간격은 0.001초의 배수만 가능합니다.

속도 v_d 와 각도 γ , 속도 벡터 $\vec{v}_d$ 를 x 축으로 입력하여 감지기를 균일한 동작으로 설정할 수 있습니다. 변경된 매개변수에 대한 출력을 보려면 다시 "그래프 그리기" 버튼을 클릭해야 합니다.

그래프 그리기 버튼을 클릭하면 '그래프 시작 시간' 간격에 대한 그래프가 표시됩니다.

(t_i)를 "그래프 종료 시간 (t_f)"으로 변경합니다. 그림 (2)에서 패널은 동안의 그래프를 표시합니다.

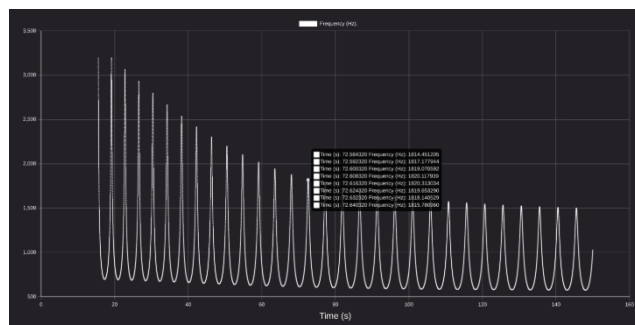


그림 3: 변경된 입력 값에 대한 시뮬레이션 화면

그래프 시작 및 종료 시간 입력을 사용하여 그래프의 일부를 확대할 수도 있습니다. 예를 들어, 그림 (3)은 감지기를 5000m에 78 각도로 배치한 경우의 출력을 보여줍니다. 그래프 출력은 사이에 표시되며, 데이터는 0.수집됩니다. 커서를 곡선의 데이터 포인트 위에 놓으면 데이터 포인트의 값이 표시됩니다. 시간 간격이 매우 작기 때문에 커서를 곡선 위에 놓으면 여러 데이터 포인트의 값이 표시될 수 있습니다. 그림 (3)에는 8개의 데이터 포인트가 표시됩니다. **주의:** 데이터 포인트 간격(Δ)을 매우 작게(예: 0.001) 유지하고 긴 시간 간격(예: 그래프 시작 시간($t_i = 0$)에서 그래프 종료 시간($t_f = 25s$))으로 그리는 경우 시뮬레이션에 다음과 같은 시간이 걸립니다. 장시간 사용하거나 컴퓨터의 용량에 따라 멈출 수 있습니다. 이러한 상황에서 멈춘 경우 상황에서는 일반 지침에 제시된 단계를 따르세요. 매우 작은 Δ 는 플롯의 작은 시간 간격에만 사용할 수 있습니다. 시뮬레이션을 실행하는 동안 시뮬레이터가 플롯할 수 있는 최대 데이터 포인트 수는 그래프 종료 시간(t_f (초))에 관계없이 25000개입니다.

시뮬레이션에서 다양한 값의 검출기 매개변수를 시도하고 출력을 주의 깊게 관찰하세요. 다음 부분의 계산에는 그래프의 출력을 사용합니다. 필요한 경우 어느 부분에서든 그래프 용지를 사용할 수 있습니다.

A.2 시뮬레이션에서 탐지기를 $\tau_D = \theta = 0$ 에 정지 상태로 유지합니다. 출력을 관찰합니다. 그래프 시작과 종료 시간 각각 5초와 55초 사이의 $f(t)$ 의 1.2pt 그래프. 범위의 모든 최소값($f_{\min}$ 및 해당 시간 t)을 표로 작성합니다. 플롯 $f_{\min}$ 대 t

A.3 감지기가 이벤트가 발생할 최소 주파수에 대한 식을 구합니다. 1.0pt
아군이 정지해 있을 때 감지하는 최소 빈도를 구합니다. v_s, m, R 로 답을 표현하세요. 관련 변수를 설정합니다.

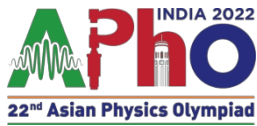
패널의 다양한 입력 값을 사용하여 다음 파트의 답을 구하십시오. A2-4 페이지의 표에 주어진 $\tau_D, \theta, v_D, \gamma, t_i, t_f, \Delta$ 의 다양한 값 중 수량 또는 중간 방정식을 구하는 데 사용한 값을 보고하십시오. 또한 입력 값에 대한 해당 수량 또는 해당 방정식을 언급하십시오.

이 부분을 풀 때 사용하는 공식/방정식은 반드시 답안지에 자세히 기재해야 합니다. 최종 답안만으로는 점수가 부여되지 않습니다. 그래프를 사용하려는 경우 답안지에 그래프 용지 번호를 기재해야 합니다. 이 문제에서는 오차 추정이 필요하지 않습니다.

다음 네 가지 문제를 적절하다고 생각되는 순서대로 풀어보세요.

A.4 소스의 초기 좌표(E_A, Y_A) 즉, 다음 위치에서 점 A의 좌표를 얻습니다. 1.4pt
시간 $t = 0$ (미터).

실험



Q2-4

공식(영어)

A.5 f_0, m, R, ν_s 의 값을 구합니다.

2.1pt

A.6 β 의 값을 도 단위로 구합니다.

2.0pt

A.7 소스의 초기 중심 좌표(E_C, Y_C)를 구합니다.
점 C의 좌표(미터 단위)를 구합니다.

2.1pt