풀이와 채점 기준
실험

II. 원통 구멍

a) 관성 모멘트 I 유도 (0.5점)

배치 그림 1.2(a)

$$I_1 = \frac{1}{6}Ma^2 - \frac{1}{2}mb^2 = \frac{1}{6}\left(\rho a^3\right)a^2 - \frac{1}{2}\left(\rho\pi b^2 a\right)b^2$$
$$= \frac{1}{6}\rho a^5 - \frac{1}{2}\rho\pi ab^4$$

배치 그림 1.2(b)

$$I_2 = \frac{1}{6}Ma^2 - \frac{1}{12}ma^2 - \frac{1}{4}mb^2 = \frac{1}{6}\left(\rho a^3\right)a^2 - \frac{1}{12}\left(\rho\pi b^2 a\right)a^2 - \frac{1}{4}\left(\rho\pi b^2 a\right)b^2$$
$$= \frac{1}{6}\rho a^5 - \frac{1}{12}\rho\pi a^3 b^2 - \frac{1}{4}\rho\pi ab^4$$

진동 주기 T 유도

두 배치 모두:

복원 돌림힘 $\tau = Fd$

여기서 $F = \frac{1}{2}m_0 g\frac{\delta s}{\ell}$ 및 $\frac{\delta s}{d/2} \approx \theta$

$$F \approx \frac{1}{2}m_0 g\,\frac{d}{2\ell}\theta$$ (0.5점)

알짜 질량 $m_0 = \rho a^3\left(1-\pi\frac{b^2}{a^2}\right) = \rho a^3\left(1-\pi x^2\right)$ 여기서 $x \equiv \frac{b}{a}$

한편 $\tau = I\alpha$, $\alpha = \dfrac{\frac{1}{4}m_0 g\frac{d^2}{\ell}\theta}{I}$ (0.5점)

$$\omega^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{\frac{1}{4}m_0 g\frac{d^2}{\ell}}{I}$$
$$T^2 = \frac{4\pi^2 I\ell}{\frac{1}{4}m_0 g d^2} = \left(\frac{16\pi^2 I}{m_0 g d^2}\right)\ell$$

그림 2.2(a)의 배치에서,

$$T_1^2 = \left(\frac{16\pi^2}{gd^2}\,\frac{\frac{1}{6}\rho a^5 - \frac{1}{2}\rho\pi ab^4}{\rho a^3\left(1-\pi x^2\right)}\right)\ell$$

$$= \frac{8\pi^2}{3g}\left(\frac{a}{d}\right)^2\left(\frac{1-3\pi x^4}{1-\pi x^2}\right)\ell \qquad (0.5점)$$

그림 2.2(b)의 배치에서, $T_2^2 = \left(\frac{16\pi^2\frac{1}{6}\rho a^5\left(1-\frac{\pi}{2}\frac{b^2}{a^2}-\frac{3\pi}{2}\frac{b^4}{a^4}\right)}{\rho a^3(1-\pi x^2)gd^2}\right)\ell$

$$= \frac{8\pi^2}{3g}\left(\frac{a}{d}\right)^2\left(\frac{1-\frac{\pi x^2}{2}-\frac{3\pi}{2}x^4}{1-\pi x^2}\right)\ell$$

b) 그림 2.2(a)의 배치에서, $d = 7.0$ cm

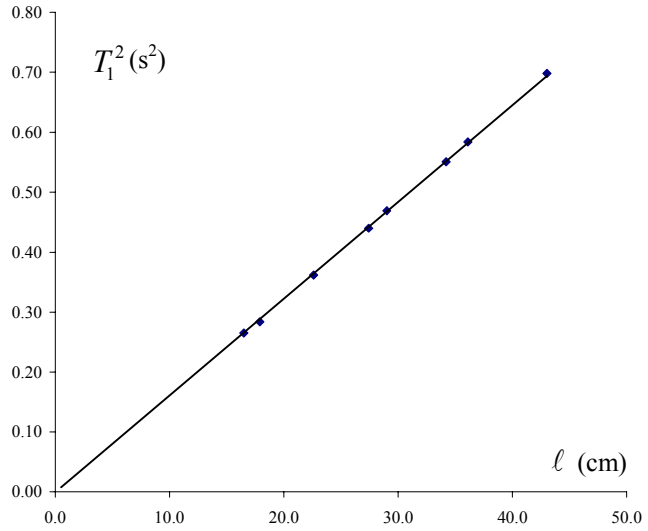
ℓ (cm)	40회 진동의 T_1 (s)			T_1 (s)	$(T_1)^2$ (s^2)
16.5	20.60	20.50	20.70	0.515	0.265
17.9	21.35	21.35	21.30	0.533	0.284
22.6	24.05	24.00	24.00	0.601	0.362
27.4	26.55	26.45	26.55	0.663	0.440
29.0	27.40	27.40	27.40	0.685	0.469
34.2	29.75	29.70	29.65	0.743	0.551
36.1	30.60	30.60	30.50	0.764	0.584
43.0	33.40	33.35	33.50	0.835	0.698

(3점):

n회 진동 3세트 (1점) [2세트 −0.3, 1세트 −0.7]

$n \geq 20$ (1점) [≥15: −0.3, ≥10: −0.7, <10: −1.0]

길이 수,, ≥5 (1점) [4: −0.3, 3: −0.5, 1 또는 2: −1.0]

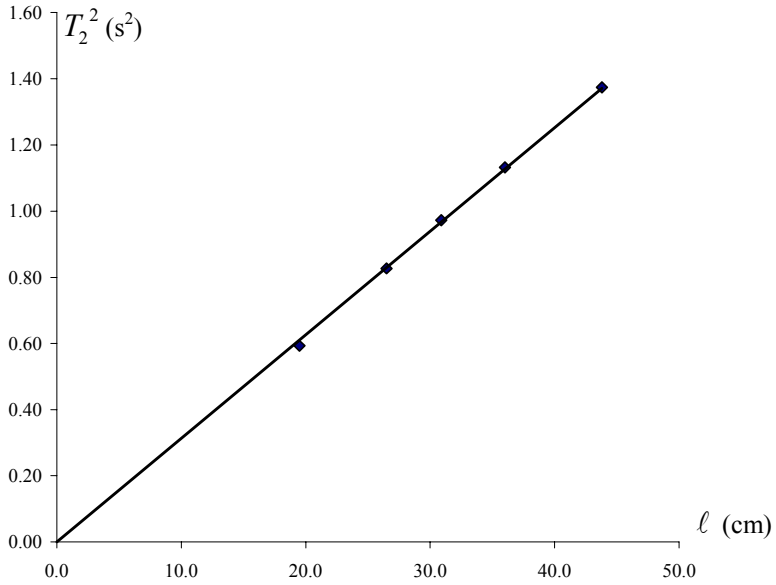


그래프 기울기: $s_1 = \frac{0.698-0.265}{(43.0-16.5)\times10^{-2}} = \frac{0.433}{26.5\times10^{-2}} = 1.634$ s^2/m

$$x = \frac{b}{a} = 0.24 \pm 0.02$$

그림 2.2(b)의 배치에서, $d = 4.9$ cm

ℓ (cm)	40회 진동의 T_2 (s)			T_2 (s)	$(T_2)^2$ (s^2)
43.8	46.95	46.90	46.80	1.172	1.374
36.0	42.70	42.45	42.50	1.064	1.132
30.9	39.60	39.40	39.35	0.986	0.973
26.5	36.40	36.30	36.45	0.909	0.827
19.5	30.80	30.85	30.75	0.776	0.593



그래프 기울기: $s_2 = \dfrac{1.374 - 0.827}{(43.8 - 26.5)\times 10^{-2}} = \dfrac{0.547}{17.3\times 10^{-2}} = 3.14\ s^2/m$

$$x = \frac{b}{a} = 0.25 \pm 0.03$$

그래프 (3.0점): 좋은 그래프 (1.5점)
기울기 (1.0점)
실험 점의 오차 (0.5점)

계산: $\dfrac{b}{a}$ (1.0점) 오차 어림 (1.0점)