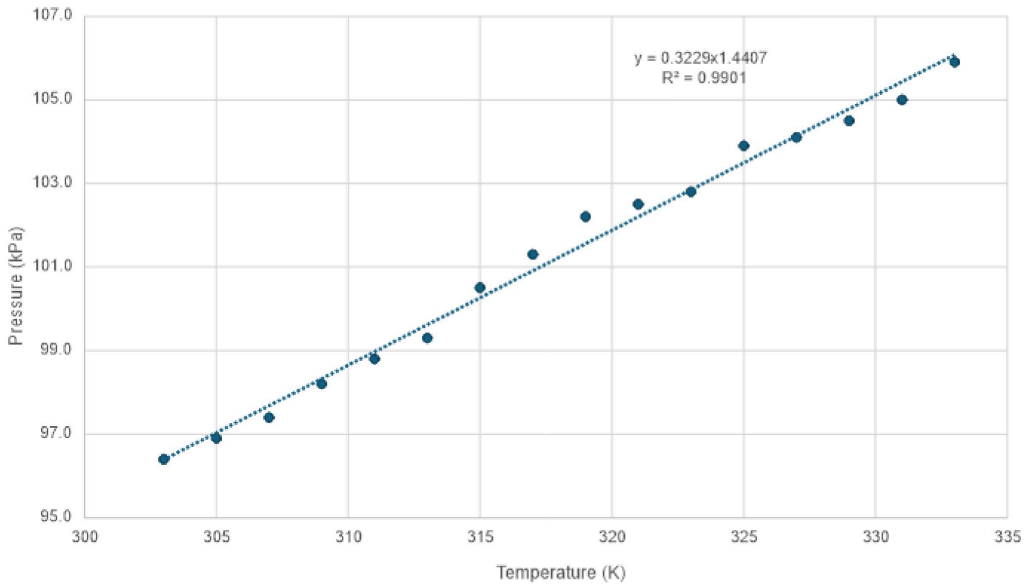
풀이

파트 A. [4점] 등적 과정

A1. [0.5점] 압력 P 를 온도 T 의 함수로 기록하라.

T(K)	P(kPa)
303	96.4
305	96.9
307	97.4
309	98.2
311	98.8
313	99.3
315	100.5
317	101.3
319	102.2
321	102.5
323	102.8
325	103.9
327	104.1
329	104.5
331	105.0
333	105.9

A2. [0.9점] A1에서 얻은 자료로 온도에 대한 압력의 거동을 그래프로 나타내라.



A3. [0.9점] CA의 질량 m, 몰수 n, 전체 공기 분자 수 N 을 구하라.

$H = 9.5 \pm 0.1$ cm 에 대해 $V = 85 \pm 2$ mL, $m = 0.94 \pm 0.02$ g 이다.

$$n = m/\mu, \qquad n = 3.24 \pm 0.7\ \text{mmol}$$

$$N = (1.95 \pm 0.05) \times 10^{21}$$

A4. [1.0점] 그래프를 이용해 보편 기체 상수 R 의 실험값을 구하라.

$$\boxed{R = 8.4 \pm 0.4\ \text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})}$$

A5. [0.7점] 부피 일정에서의 열팽창 계수 β_0 의 값을 구하라.

$$\boxed{\beta_0 = 0.0034 \pm 0.0007\ \text{K}^{-1}}$$

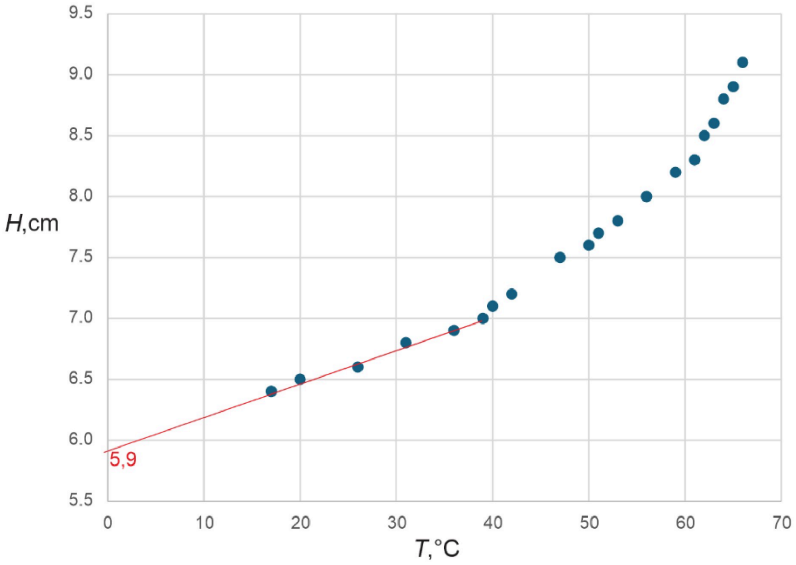
이론값: $\beta_{0,\text{이론}} = 1/273.15\ \text{K} = 0.0037\ \text{K}^{-1}$

파트 B. [8.0점] 물의 증기압. 잠열

B1. [0.5점] 온도 T 와 높이 H 의 자료를 기록하라.

H (cm)	T (K)	P_v (kPa)
9.1	339	18.6
8.9	338	17.1
8.8	337	16.4
8.6	336	14.8
8.5	335	14.1
8.3	334	12.4
8.2	332	11.9
8.0	329	10.6
7.8	326	9.2
7.7	324	8.7
7.6	323	7.8
7.5	320	7.4
7.2	315	5.2
7.1	313	4.5
7.0	312	3.5
6.9	309	3.1
6.8	304	3.3
6.6	299	2.0
6.5	293	2.5
6.4	290	2.0

B2. [1.0점] H 를 T 의 함수로 그래프에 나타내라.



B3. [0.5점] B2의 그래프를 외삽하여 0 °C에서의 H_0 값을 구하라.

그래프의 외삽으로부터 $H_0 = 5.9\ \text{cm}$ 를 얻으며, 이 높이는 $T_0 = 0\ ^\circ\text{C}$ 에서 $V_0 = 53.4\ \text{mL}$ 에 해당한다.

B4. [1.5점] 공기가 이상 기체처럼 거동하고 $T_0 = 0\ ^\circ\text{C}$ 라 할 때, 증기압 P_v 를 $P_{\text{atm}},\ H_0,\ H,\ T_0,\ T$ 로 나타내는 표현식을 유도하라.

건조 공기의 몰수가 일정하므로 $\dfrac{P_{\text{atm}} V_0}{T_0} = \dfrac{(P_{\text{atm}} - P_v) V}{T}$ 이고, $V \propto H$ 이므로

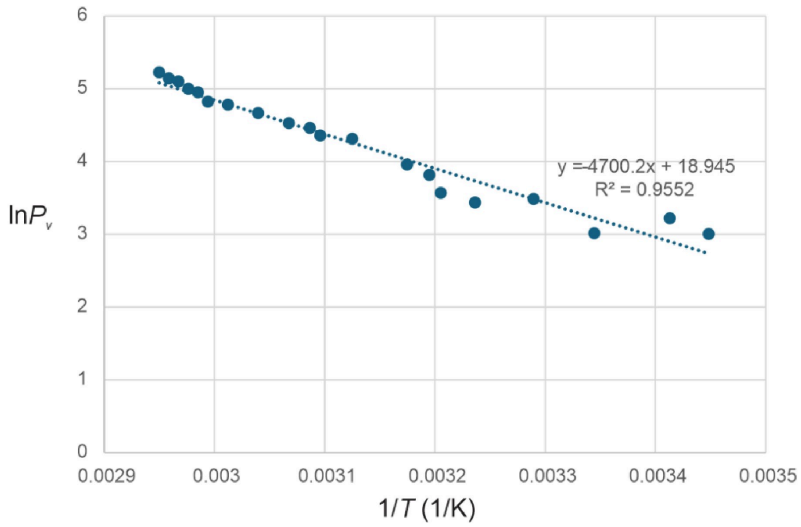
$$\boxed{P_v = P_{\text{atm}} \left(1 - \frac{H_0\, T}{H\, T_0}\right)}$$

B5. [4.0점] 식 (3)을 이용해 적절한 그래프를 그려 물의 몰 기화 잠열 ΔH_v 를 구하라.

식 (3)의 양변에 로그를 취하면

$$\ln P_v = \ln P_{v0} - \frac{\Delta H_v}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) = -\frac{\Delta H_v}{R}\frac{1}{T} + C$$

이므로 $\ln P_v$ 를 $1/T$ 에 대해 그리면 기울기가 $-\Delta H_v / R$ 인 직선이 된다.



기울기는 $a = -4700 \pm 200\ \mathrm{K}$ 이다. 따라서

$$\boxed{\Delta H_v = 39 \pm 2\ \mathrm{kJ/mol}}$$

B6. [0.5점] ΔH_v 의 값으로부터 L_v 를 구하고, 사용한 공식과 불확도 계산을 명시하라.

비(比) 기화열은

$$L_v = \frac{\Delta H_v}{m_w}$$

$$\boxed{L_v = 2190 \pm 110\ \mathrm{kJ/kg}}$$

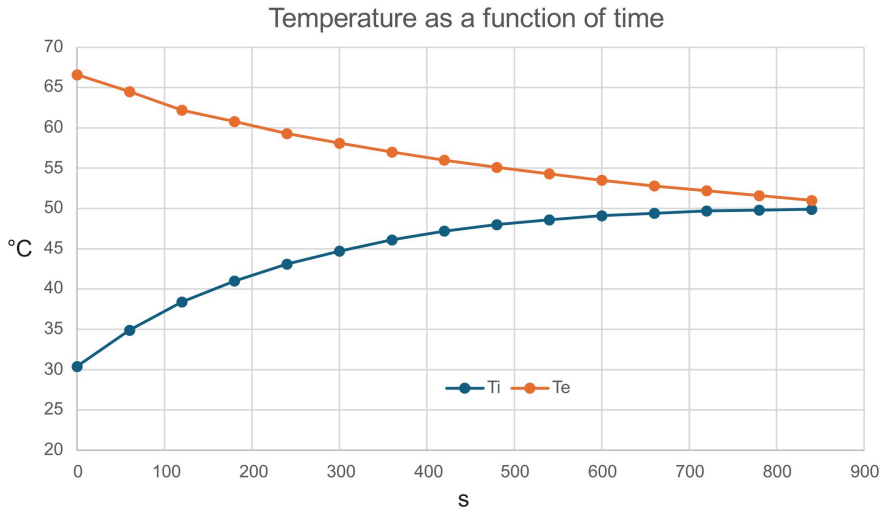
파트 C. [8.0점] 열전도

C1. [0.5점] 시간 t, 내부 온도 T_{IC}, 외부 온도 T_{OC} 의 값을 기록하라.

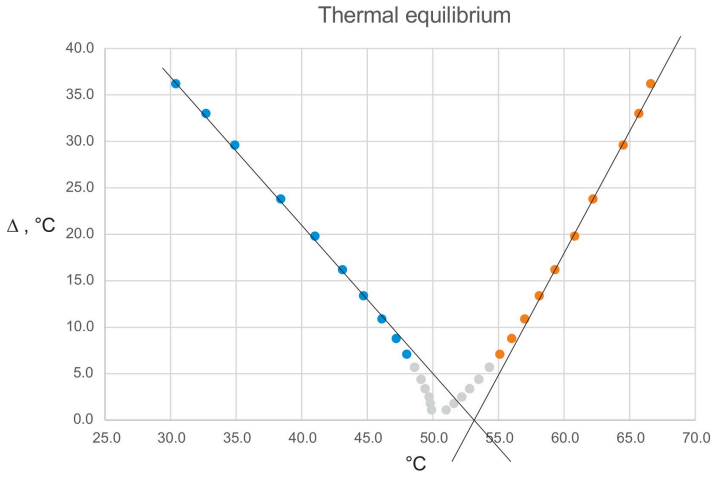
t (s)	T_{IC} (°C)	T_{OC} (°C)
0	30.4	66.6
60	34.9	64.5
120	38.4	62.2
180	41.0	60.8
240	43.1	59.3
300	44.7	58.1
360	46.1	57.0
420	47.2	56.0
480	48.0	55.1
540	48.6	54.3
600	49.1	53.5
660	49.4	52.8
720	49.7	52.2

780	49.8	51.6
840	49.9	51.0

C2. [1.0점] 하나의 그래프에 T_{IC} 와 T_{OC} 를 시간 t 의 함수로 나타내라.



C3. [1.0점] 같은 축에 $(T_{OC} - T_{IC})$ 를 T_{OC} 의 함수로, 그리고 T_{IC} 의 함수로 나타내라.



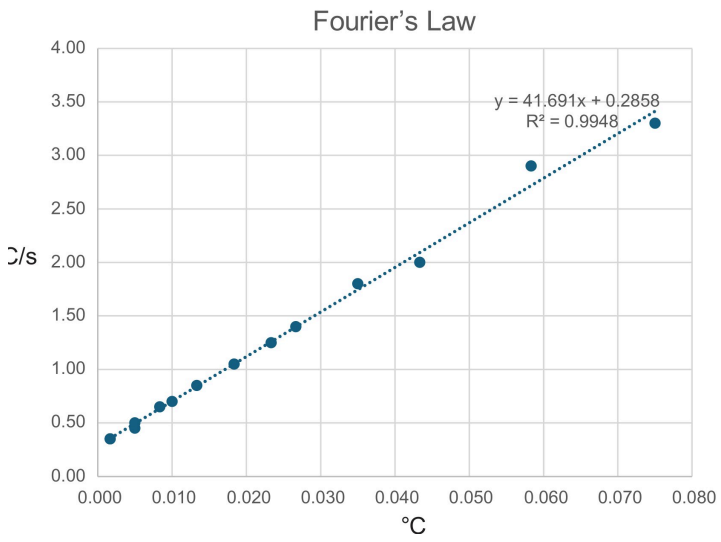
C4. [0.8점] C3의 그래프로부터 T_{eq} 를 구하라. 이 문제에서는 불확도를 계산할 필요가 없다.

외삽에 의해 $\boxed{T_{eq} = 53\ ^\circ\mathrm{C}}$ 이다.

C5. [1.5점] 식 (5)가 가리키는 그래프를 그려라.

$$\frac{(T_j - T_{j-1})_{IC}}{t_j - t_{j-1}} = \frac{1}{c_0 m R_{Th}} \cdot \frac{\Delta T_{OC(j,j-1)} - \Delta T_{IC(j,j-1)}}{2}$$

여기서 j 는 측정 번호, $(T_j - T_{j-1})_{IC}$ 는 연속한 두 측정 사이의 시간 간격 $(t_j - t_{j-1})$ 동안 IC에 담긴 물의 온도 변화이며, $\Delta T_{OC(j,j-1)}$ 와 $\Delta T_{IC(j,j-1)}$ 는 같은 시간 간격에서 각각 OC의 더운물과 IC의 물의 온도 변화이다.



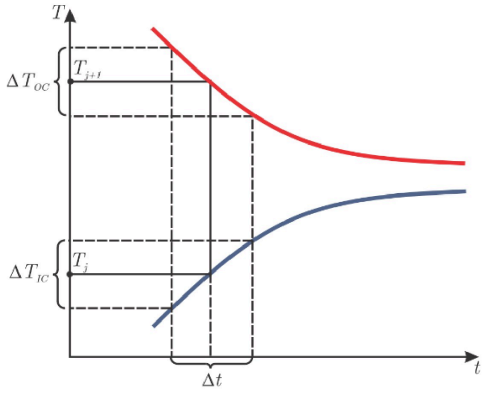
C6. [1.6점] 벽의 유효 열전도도(컨덕턴스)를 나타내고, C5의 그래프로부터 R_{Th} 의 값을 구하라.

기울기는 $a = (2.28 \pm 0.06) \times 10^{-5}\ \mathrm{s}^{-1}$ 로 나오며, 이것이 곧 벽의 열컨덕턴스이다.

물의 질량은 $m = (89 \pm 1)\ \mathrm{g}$ 이다.

$$\boxed{R_{Th} = c_0 m a = (1.17 \pm 0.03)\ \mathrm{K/W}}$$

C7. [1.6점] 식 (4)와 (6)을 이용해 아크릴의 열전도도 λ 의 값을 구하고, 사용한 공식과 불확도 계산을 명시하라.



얇은 원통 벽에 대해 $A = 2\pi r h$ 이므로 식 (6)은

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda\, 2\pi r h \frac{dT}{dr} \;\Rightarrow\; \frac{dQ}{dt} = \frac{2\pi\lambda h\,(T_e - T_i)}{\ln(r_2/r_1)}$$

이를 식 (4)와 비교하면

$$\boxed{\lambda = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi h R_{Th}}}$$

$$\boxed{\lambda = 0.25 \pm 0.01\ \mathrm{W/(m \cdot K)}}$$

불확도는

$$\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{\Delta[\ln(r_2/r_1)]}{\ln(r_2/r_1)}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_{Th}}{R_{Th}}\right)^2$$

R_{Th} 의 불확도가 지배적이므로 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{\Delta R_{Th}}{R_{Th}}$ 로 두어도 된다. 여기서

$$\Delta[\ln(r_2/r_1)] = \sqrt{\left(\frac{\Delta r_1}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_2}{r_2}\right)^2}$$

또는 편미분을 이용해

$$(\Delta\lambda)^2 = \left(\frac{\partial\lambda}{\partial r_1}\Delta r_1\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial r_2}\Delta r_2\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial L}\Delta L\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial R_{Th}}\Delta R_{Th}\right)^2$$

로 계산해도 된다.