

1. (a) 둘의 contour length가 같으므로 $N_A b_A = N_B b_B$ 인데, mean-square end-to-end distance는 C_{∞} 가 더 큰 rigid한 polymer의 경우에 더 큰 값을 갖는다. ($\langle R^2 \rangle = C_{\infty} n l^2$ 이므로)
 $\therefore \langle R_A^2 \rangle (= N_A b_A^2) > \langle R_B^2 \rangle (= N_B b_B^2)$ 이므로 b_A 가 b_B 보다 크다는 것을 알 수 있다.

채점 기준

타당한 근거를 대면	5점
b_A 가 b_B 보다 크다는 것을 밝히면	5점
합계	10점
근거가 명확하지 않을 시 감점	

(b) Rouse-Bueche model: Polymer chain을 Spring과 bead의 구성으로 보고 이 때의 restoring force는 다음과 같이 주어진다.

$$f_i = \frac{-3kT}{a^2} (x_{i-1} + 2x_i - x_{i+1})$$

Rouse-Bueche model에서는 chain segment가 움직일 때 받는 힘을 속도에 비례 한다고 보고,

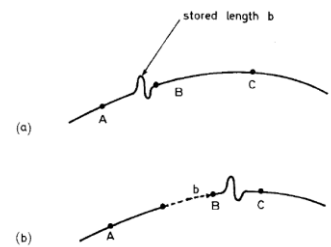
$$f_i = \rho \left(\frac{dx_i}{dt} \right) = \rho X_i$$

로 놓고

$$\tau_{p,i} = \frac{6\eta_0 M_i^2}{\pi^2 c R T M_w \rho^2}$$

를 구하였다. 그러나 1% 농도 이하에서만 적용이 가능하다. 정성적인 개념을 설명하는데에는 효과적이었으나 정량적으로 실험치와 잘 들어맞지 않는다는 문제가 존재한다.

de Gennes Reptation Theory: polymer chain이 뱀과 같은 운동을 한다고 가정하고 stored length b 를 갖는 defect가 migrate한다고 기술한다. Diffusion coefficient는 $D \propto M^{-2}$ 와 같이 주어진다.



Nonlinear Chains: branched polymer의 경우 두 가지의 설명이 있는데, 한 가지는 polymer가 앞으로 전진하면서 branch를 끌고 간다는 설명이고, 다른 한 가지는 conformation을 새롭게 하며 전진한다는 설명이다. 전자의 경우 entropy의 감소를 불러오기 때문에 후자의 경우가 에너지적으로 더 선호되는 process이다.

채점 기준

Rouse-Bueche model에 관한 가정	2점
---------------------------	----

Rouse-Bueche model의 한계	2점
de Gennes Reptation Theory에 관한 설명	3점
Nonlinear Chains에 관한 설명	3점
합계	10점
식을 쓰고 그에 대한 설명이 뒤따를 시 가산점	+1점 (10점 만점)

2. (1) $\left(\frac{d\Sigma}{d\Omega}\right)^{-1} = \frac{1}{C_N M_w} \left(1 + \frac{K^2 R_g^2}{3} + \dots\right)$ 에서 주어진 data를 plot하면,

$$y = ax + b$$

$$a = 765.756142\dots$$

$$b = 0.42889363\dots$$

절편 $b = 1/C_N M_w$ 에서 C_N 이 $10.0 \times 10^{-5} \text{ mol/gcm}$ 으로 주어져 있으므로
 $M_w = 2.33 \times 10^4 \text{ g/mol}$

R_g 는 기울기로부터 구한다. $a = R_g^2 / 3C_N M_w$ 이므로 R_g 에 대해서 정리하여 위에서 구한 값을 대입하면,

$$R_g = 73.2 \text{ \AA}$$

채점 기준

최소자승법, 혹은 끝점을 이용하여 계산을 하면	3점
기울기와 절편값을 제대로 구하면	3점
M_w 와 R_g 를 구하는 식을 명시하면	3점
M_w 값을 정확하게 구하면	3점
R_g 값을 정확하게 구하면	3점
합계	15점
다른 방법으로 구했을 시, 과정과 답이 맞으면 상응하는 점수	
계산법에 의한 오차는 상관없으나 계산실수가 보이면	-1점
답에서 단위를 잘못쓰거나 안쓰면	-2점

(2) random coil에서, end-to-end distance에 관련된 식이 두 개 존재한다.

$$r^2 = CM$$

$$r^2 = 6R_g^2$$

$$\therefore CM = 6R_g^2$$

$$C = 6R_g^2/M$$

C 는 molecular structure에 의해서 주어지는 상수로, c 가 크다면 같은 분자량일 때 end-to-end distance를 증가시키는, 즉 rigidity에 관련한 상수임을 알 수 있다. 그런데 C 가 $6R_g^2/M$ 와 일치하

므로, $(R_g^2/M_w)^{1/2}$ 를 rigidity의 척도로 사용할 수 있음을 알 수 있다.

채점 기준

식을 정리하여 C를 $(R_g^2/M_w)^{1/2}$ 와 연관시키면	5점
C가 rigidity와 관련이 있음을 설명하면	5점
$(R_g^2/M_w)^{1/2}$ 가 chain stiffness 혹은 rigidity라 설명하면	5점
합계	15점
기타 다른 방법으로 설명하면 상응하는 점수 부여	

3.

Avrami equation

빛방울이 떨어져 파면이 성장하는 것처럼 crystal이 성장한다고 묘사한 것으로, x개의 하면 특정 점을 지나갈 확률을 $P_x = \frac{e^{-E} E^x}{x!}$ 라고 하면 $P_0 = e^{-E}$ (E and 0! are both unity) 이고, 발생단계 $= 1 - X_t$

초기에서 $1 - X_t = e^{-V_t}$ 이다.

핵이 predetermined일 때

$$dV_t = 4\pi r^2 L dr, \therefore V_t = \int_0^t 4\pi g^2 t^2 L g dt = \frac{4}{3} \pi g^3 L t^3 \text{ 이고,}$$

sporadic일 때

$$dV_t = 4\pi g^2 (t - t_i)^2 l t g dt$$

이므로

$$V_t = \frac{2}{3} \pi g^3 l \pi t^4$$

$$1 - X_t = e^{-Zt^n} \text{ 를 구할 수 있다.}$$

$$\ln(1 - X_t) = -Zt^n$$

Avrami equation은 발생 초기에는 잘 들어맞으나 그 이후에는 잘 맞지 않는다.

Keith-Padden

spherulite의 내부구조를 묘사한다는 점에서 avrami보다 조금 더 진보한 모델이다.

coarseness $\delta = \frac{D}{G}$ 를 미분하여 성장속도 $G = G_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{RT}\right) \exp\left(\frac{-\Delta F^*}{RT}\right)$ 를 얻는다. nucleation

과 diffusional growth의 경쟁으로, 저온에서는 growth가, 고온에서는 nucleation이 전체 속도를 결정한다. 최대성장은 그 중간온도에서 일어난다.

Hoffman theory

surface에서의 chain이 grow하는 것을 더 자세히 묘사한 것으로 표면의 nucleated chain이 옆으로 성장하는 속도 r과 nucleation되는 속도 i의 경쟁으로 결정된다. $r \gg i$ 일 때 surface가 모두 성장

한 후에 그 다음 surface가 성장하고, $l \gg r$ 일 때는 다음 surface가 성장하기도 전에 계속하여 핵 생성이 이루어지는 현상이 일어나게 된다.

채점 기준

Avrami theory

이론의 가정	2점
설명	3점
한계	2점
Keith-Padden 설명	7점
Hoffman theory 설명	6점
합계	20점

설명 대신 식 위주로 해설 하였을 경우에도 동일한 점수 가산

4. Hoffman theory를 따르면 $T_f = T_f^0 [1 - \frac{2\sigma_e}{\Delta h_f l}]$ 로 주어진다. $l=10\text{nm}$ 에서의 T_f 값을 구하려면 T_f^0 을

먼저 구해야 하는데, 그 전에 계산할 때의 단위를 먼저 맞춰야 한다. 단위를 mks로 통일하면, $l=100\text{nm}$ 일 때 $l = 10^{-7} \text{ m}$ 이고, $\sigma_e=9 \times 10^{-2} \text{ J/m}^2$, $\Delta h = 2.93 \times 10^8 \text{ J/m}^3$ 이다.

T_f^0 를 구하면 $T_f^0 = T_f / [1 - \frac{2 \times 9 \times 10^{-2}}{2.93 \times 10^8 \times 10^{-7}}] = 415\text{K}$ 이고, (50nm를 대입해도 같은 결과 나옴) 거

꾸로 $l=10\text{nm}$ 를 대입하여 T_f 를 구하면, $T_f = T_f^0 [1 - \frac{2 \times 9 \times 10^{-2}}{2.93 \times 10^8 \times 10^{-8}}] = 389.5\text{K}$

채점 기준

Hoffman theory에 의한 식을 제시하면	3점
계산이 올바르면	12점
합계	15점
계산실수 하나 당	-2점

식을 제시하지 않더라도 유도하여 사용하면 동일한 점수 가산

5. (a) X-ray diffraction

Crystal은 spot 형태의 pattern을 보인다.

Liquid crystal은 한쪽방향으로의 pattern을 보인다.

amorphous는 pattern없이 뿌연 모습으로 나타난다.

DSC

Crystal은 melting point를 보인다.

liquid crystal은 glass transition과 여러 번의 transition point를 보인다.

amorphous는 glass transition point를 보인다.

편광현미경

crystal은 spherulite를 보인다.

liquid crystal은 schlieren pattern이 나타난다.

amorphous는 특정 pattern이 나타나지 않는다.

채점 기준

세 가지 중 하나를 언급하면	4점
방법을 이용하였을 때 결과 차이를 설명하면	6점
합계	10점

(b) (a)에서 설명한 것을 겹치지 않게 다른 것을 설명하거나, mechanical property가 crystal의 경우가 좋고 liquid crystal이 fluidity가 높음을 말하면 정답.

채점 기준

세 가지 종류의 물질을 위의 기준에 의거하여 설명하면	10점
합계	10점

6. (a) Thermotropic LC는 bulky한 side group이나 flexible segment, bent monomer가 들어가서 분자간 π -interaction이 Lyotropic의 그것만큼 강하지 않다. Lyotropic LC의 경우 π -interaction이 너무 강력하여 녹기 전에 분해되어 버린다.

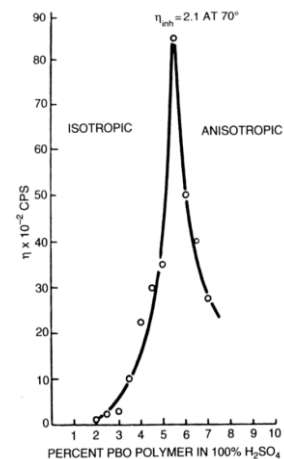
채점 기준

Lyotropic PC의 π -interaction가 강하다는 것을 언급하면	3점
녹기 전에 분해 된다는 것을 언급하면	3점
thermotropic LC의 π -interaction이 강하지 않은 이유를 언급하면	4점
합계	10점

(b) 그래프는 옆의 모습과 같다. critical concentration 이전에는 농도를 높일수록 entanglement만 높아져 viscosity가 증가하지만, critical concentration 이상에서는 분자들끼리 align을 시작하기 때문에 viscosity가 감소한다.

열로 가공할 수 없는 lyotropic liquid crystal의 경우 어쩔 수 없이 solution processing을 해야만 하는 상황에서 viscosity가 높으면 가공하기가 어렵다. 그런데 critical concentration을 넘기면 viscosity가 감소하기 때문에 processing이 쉬워진다.

채점 기준



그래프를 정확하게 그리면	3점
이유를 정확하게 설명하면	3점
가공에 미치는 긍정적인 영향을 설명하면	4점
합계	10점

- (c) 1. crystal에서 LC로 갈 때, LC에서 liquid state로 갈 때 각각 적어도 한번씩의 first order transition이 있어야 한다.
 2. 1-D나 2-D order를 보여야 한다.
 3. 어느정도의 degree of fluidity를 보여야 한다.

채점 기준

1번 이유	4점
2, 3번 이유	각 3점
합계	10점

7. $U_{\max} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \sin \frac{\theta_{\max}}{2} = 4.1$ 이므로, peak점에서의 θ 만 구하면 쉽게 R을 구할 수 있다. R에

대해서 식을 정리하면, $R = \frac{4.1\lambda}{4\pi \sin \frac{\theta_{\max}}{2}}$ 이고, $\theta = 1.5$ 이므로 식을 정리하면

$$R = 2.49\lambda \text{ nm}$$

채점 기준

어떤 식을 써야 하는지 정확하게 제시하면	10점
$\theta = 1.5$ 임을 제시하면	5점
R에 대해 정리하여 제시하거나 λ 에 임의의 숫자를 넣어 구하면	5점
합계	20점

8. Kevlar의 경우 벤젠링이 있어 매우 rigid하다. 그로 인해 매우 ordered된 structure를 가지고 있고 hydrogen bonding을 매우 강하게 하고 있다. 반면 nylon의 경우 flexible한 부분이 있기 때문에 disordered structure를 가지고 있어 hydrogen structure가 kevlar에 비해 강하지 않다.

Thermal property: 강한 Hydrogen bonding때문에 Kevlar는 degradation이 melting보다 먼저 일어난다.(~450°C) 반면 Nylon은 melting temperature가 160~350°C 정도로 낮다.

Mechanical property: 마찬가지로 강한 Hydrogen bonding때문에 Kevlar는 Young modulus도 크고 UTS도 크다. 반대로 Elongation은 disordered structure를 가지고 있는 Nylon이 늘어날 여유분이 더 많기 때문에 더 큰 값을 가진다.

채점 기준

Thermal property를 올바르게 기술하면	5점
근거를 타당하게 밝히면	5점
Mechanical property를 올바르게 기술하면	5점
근거를 타당하게 밝히면	5점
합계	20점

9.

채점 기준

쓰면 10점