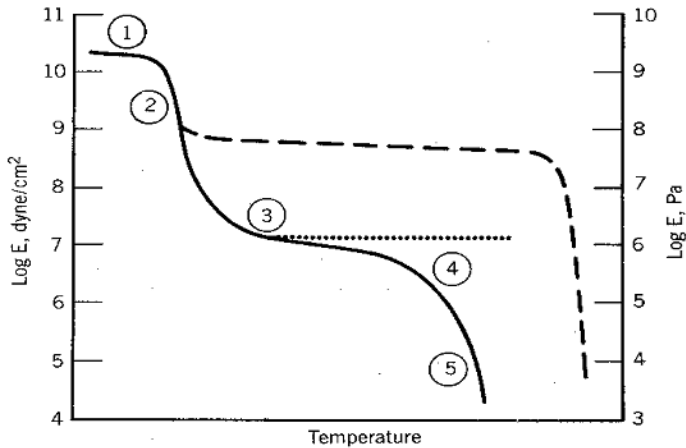


1. (a) 1. Glass region
2. Glass transition region
3. Rubbery plateau region
4. Rubbery flow region
5. Liquid flow region



dash : crystalline polymer, dot : crosslink

채점 기준

영역 이름을 모두 정확하게 쓰면	1점
그림을 정확하게 그렸을 경우 각 1점	2점
이유를 제대로 설명하면 각 1점	2점
합계	5점

(b) free volume theory: T_g 이상에서의 polymer chain의 움직임은 free volume이 결정한다.

Kinetic theory: 실험 조건에서의 시간이 중요하다라는 점에 착안해 분석한 이론

Thermodynamic theory: 실험 시간을 무한대로 했을 때를 두고 T_g 를 찾는 이론.

채점 기준

세 가지 이론과 설명을 제대로 할 경우	5점
이름을 쓰지 못하거나 설명을 못 할 경우	각 -1점

(c)

	Advantage	Disadvantage
Free volume	시간과 온도에 따른 예측 T_g 이상에서의 팽창계수 예측	실제 분자거동을 define하지 못함

Kinetic	시간에 따른 Tg 예측 열용량 계산	무한대 스케일에서 Tg 예측 불가
Thermodynamic	여러 변인에 따른 Tg 예측 가능 무한대 시간 스케일에서의 2 nd order transition T 예측	측정에 무한대의 시간 필요 실제의 2 nd order transition T define x

채점 기준

각 요인당 1점씩 총 10개 10점

2.

$$f = -\frac{1.5}{15 \ln \frac{273 - T_n}{T_n}} = 0.0373$$

$$T_n = 255.5K$$

$$\ln \frac{\eta}{\eta_0} = B \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{f_0} \right) \text{에서}$$

$$\ln \frac{\eta}{\eta_0} = -15 \ln \frac{313 - 255.5}{255.5} + 15 \ln \frac{273 - 255.5}{255.5}$$

$$\frac{\eta}{7.88 \times 10^{13}} = \left(\frac{273 - 255.5}{313 - 255.5} \right)^{15}$$

$$\eta = 1.40 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

채점 기준

Tn을 제대로 구하면	5점
viscosity를 구하기 위한 식을 제대로 세우면	10점
답을 구하는 과정이 맞으면	5점
합계	20점
계산실수	-2점
단위를 빼먹은 경우	-2점

3. (a) A: Glass transition, C: Melting transition, D: 확실히 알 수 없으나 Glass transition

채점 기준

B의 경우 문제가 잘못되어 기본적으로 1점

나머지 세 개의 경우 각 3점씩

9점

합계

10점

C에서 확실히 알 수 없다고 하고 (b)에서 hysteresis이야기를 하면 3점

C에서 Glass transition이라고 하고 (b)에서 hysteresis이야기를 하면 1점

D에서 확실히 알 수 없다는 것을 명시 하지 않고 그냥 Glass transition이라 밝혀도 점수 인정

D에서 확실히 알 수 없다고만 한 경우 1점 감점

D에서 Melting이라 하고 (b)에서 근거를 타당하게 대한 2점.

문제를 잘못 알고 전부를 하나로 대답한 경우 전부 같은 대답으로 하여 채점

(b) A: Melting 시에는 고체와 액체간의 부피 차이 때문에 volume이 점프하는 모양을 보인다. 기
울기만 변하는 것은 glass transition

C: peak를 보이는 것은 melting transition일 때이다. 혹은 glass transition이지만 hysteresis peak때
문에 나타난 것일 수도 있다.

D: 확실하진 않으나, melting transition을 하였다면 liquid가 되어 halo대신 전체가 뿌옇게 나왔을
것이다. glass transition을 하여 rubbery state가 되어 부분적인 order만 가져 halo를 형성했을 것
이다.

채점 기준

마찬가지로 B의 경우 기본적으로

1점

나머지 세 개의 경우 각 3점씩

9점

합계

10점

C에서 hysteresis일지 모르기 때문에 확실히 알 수 없다고 하면 3점

C에서 hysteresis일지 모르기 때문에 Glass transition이라고 하면 점수 없음 ((a)와는 다르게 이유
를 가지고 채점하는 문제이므로. 이미 그 점수는 (a)에서 가산)

D의 경우 Melting transition이라고 하고 근거가 논리적이면 3점 인정

4. 먼저 K_H 를 구하면,

$$K_H = \eta/Z_w^{3.4} = 1.5 \times 10^3 / 800^{3.4} = 2.02 \times 10^{-7}$$

$$\eta = 2.02 \times 10^{-7} \times (950)^{3.4} = 2.69 \times 10^3 \text{poise}$$

$$\therefore \log \left(\frac{2.69 \times 10^3}{\eta_{Tg}} \right) = - \frac{14.5(433 - 373)}{50.4 + (433 - 373)}$$

$$\therefore \eta_{Tg} = 2.04 \times 10^{11} \text{poise}$$

$$\log \left(\frac{1.5 \times 10^3}{2.04 \times 10^{11}} \right) = - \frac{14.5(T - 373)}{50.4 + (T - 373)}$$

$$T = 437.4K \text{ or } 164.4^\circ C$$

Polyisobutylene의 경우 C1과 C2, Tg값만 바꾸어 식에 그대로 대입하면 된다. 같은 계산 스텝을 밟으면,

$$\therefore \eta_{Tg} = 7.52 \times 10^{14} \text{poise}$$

$$T = 450.3\text{K or } 177.3^\circ\text{C}$$

Poly(ethyl methacrylate)의 경우에도

$$\therefore \eta_{Tg} = 6.24 \times 10^{16} \text{poise}$$

$$T = 462.1\text{K or } 189.1^\circ\text{C}$$

채점 기준

KH를 제대로 구하면	4점
를 제대로 구하면	4점
각각 답을 구하는 과정까지 올바르게 4점씩	12점
합계	20점
계산실수	-2점

5. (a) syndiotactic polymer가 Tg가 더 크다. syndiotactic은 atactic polymer에 비해 규칙성이 높아 chain간 interaction이 크다.

채점 기준

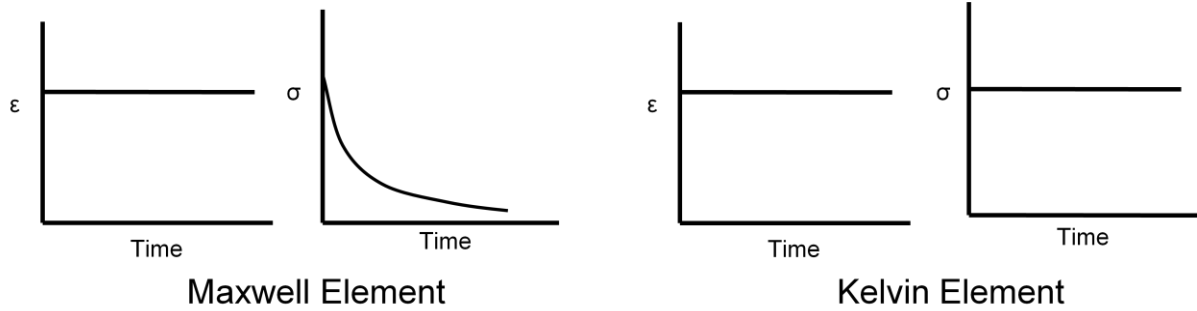
정답을 정확히 고르면	3점
이유가 맞으면	2점
합계	5점

(b) 벤젠링이 달린 polymer가 Tg가 더 크다. side chain에 flexible한 group이 있는 경우 chain간 friction을 줄여 rotation할 때 필요한 에너지를 줄이기 때문이다.

채점 기준

정답을 정확히 고르면	3점
이유가 맞으면	2점
합계	5점

6. (a) Relaxation은 strain이 일정하다.



Maxwell model이 relaxation model을 더 잘 describe한다.

채점 기준

각 curve당 2점씩	2점
Maxwell model이 더 잘 describe한다고 밝히면	2점
합계	10점
stress가 exponential하게 감소하지 않고 linear하게 감소하면 1점 감점	

(b)

$$\therefore \epsilon = \frac{\sigma}{E} (1 - e^{-(E/\eta)t})$$

$$= \frac{\sigma}{E} (1 - e^{-(t/\tau_0)})$$

where $\tau_0 = \frac{\eta}{E}$

이고,

80°C에서의 viscosity를 구하기 위해 WLF Eq를 사용하면,

$$\log \frac{\eta}{\eta_g} = \frac{-17.6(353 - 335)}{65.5 + (353 - 335)}$$

에서 $\eta = 1.607 \times 10^7$ Pa·s, $E = 5 \times 10^7$ Pa이다.

우리가 구하는 것은 $1 - e^{-(E/\eta)t} = 0.5$ 가 되는 곳이므로,

$$e^{-(5/1.607)t} = 0.5 \text{에서,}$$

$$t = 0.223s$$

채점 기준

80°C에서의 viscosity를 구하기 위해 WLF Eq를 사용하면	5점
80°C에서의 viscosity를 제대로 구하면	5점
답을 구하기 위한 식을 정확하게 알면	5점
답을 구하는 과정이 올바르고 답이 맞으면	5점
합계	20점
계산실수	-2점

7. Weissenberg effect에 관련된 식은 다음과 같다.

$$\frac{d(\tau_{33} + p)}{d \ln r} = 2\tau_{21} \frac{d}{d\tau_{21}} (\tau_{22} - \tau_{33}) + (\tau_{11} - \tau_{22}) + \rho v_1^2$$

polymeric fluid는 τ_{11} - τ_{22} 가 0보다 작으면서 절대값이 첫째항인 τ_{22} - τ_{33} 보다 훨씬 크다. 그래서 우변이 음이 되고 좌변 또한 음이다. 좌변이 음인 것은 r이 커지면 τ_{33} 이 감소한다는 것을 의미하므로, 중앙에는 힘이 위쪽으로 작용하다가 바깥쪽으로 향할수록 작아진다는 것을 알 수 있다.

Newtonian fluid는 τ_{11} - τ_{22} 와 τ_{22} - τ_{33} 이 모두 0이다. 그래서 우변이 양수이며, 좌변도 양수이기 때문에 r이 커지면 τ_{33} 도 증가한다. 그래서 바깥쪽으로 갈수록 위로 힘을 받아 액체가 바깥쪽이 치솟는 형태가 된다.

채점 기준

식을 제대로 쓰면	2점
polymeric fluid에 관한 설명이 정확하면	9점
Newtonian fluid에 관한 설명이 정확하면	9점
합계	20점

정성적으로 설명을 하면 설명의 정확성에 따라 1~8점씩 부여.

8. 우선 Z_{CW} 부터 구해야 한다.

$\eta = K_H Z_w^{3.4}$ 와 $\eta = K_L Z_w^{1.0}$ 가 만나는 점 Z_{CW} 는

$$K_H Z_{CW}^{3.4} = K_L Z_{CW}^{1.0} \text{에서}$$

$$2.02 \times 10^{-10} \times Z_{CW}^{2.4} = 9.40 \times 10^{-4}$$

$$\therefore Z_{CW} = 600$$

주어진 커브는 마스터 커브이므로 A만 알면 주어진 온도에서의 viscosity를 구할 수 있다. 여기서 A란

$$\log \frac{\eta_0(T)}{\eta_0(1.2T_g)} = \log \frac{\eta_{cr}(T)}{\eta_{cr}(1.2T_g)} = A \left(\frac{T_g}{T} - 1 \right) \text{에서}$$

$$A = \frac{1}{2.3} \frac{E_\eta(\infty)}{RT_g} = \frac{26000}{2.3 \times 8.3145 \times 171} = 7.95 \approx 8 \text{이다.}$$

12°C에서 $T_g/T=0.6$ 이므로, $A=8$, $T_g/T=0.8$ 에서의 $\frac{\eta_0(T)}{\eta_0(1.2T_g)}$ 는 10^{-4} 이다.

주어진 값으로부터 $\eta_0(285)=10^{-0.2}$ Pa·s이고, Z_w 를 구하기 위해 K_H , K_L 모두 대입하여 값을 구해보면

$$10^{-0.2} = 2.02 \times 10^{-10} \times Z_w^{3.4}$$

$$Z_w = 620$$

$$10^{-0.2} = 9.40 \times 10^{-4} \times Z_w^{1.0}$$

$$Z_w = 671$$

∴ High DP영역이고, 이 때 DP는 polybutadiene이라서 $Z_w=4DP$, $DP = 150$

채점 기준

A를 구하는 법을 알면	4점
285°C에서 viscosity를 구하는 방법을 알면	4점
Zw를 구하는 방법을 알면	4점
Critical value를 구하면	4점
DP를 구하기 위해 Zw를 4로 나누어주면	4점
합계	20점

A를 구하지 못하더라도 이후 과정을 구하는 법을 알면 이후 과정은 점수부여

9.

채점 기준

쓰면 10점