

5.5 실험 결과

고분자 용융체에 대한 전형적인 $\dot{\epsilon}$ 도 신장 점도 데이터(그림 5.12)

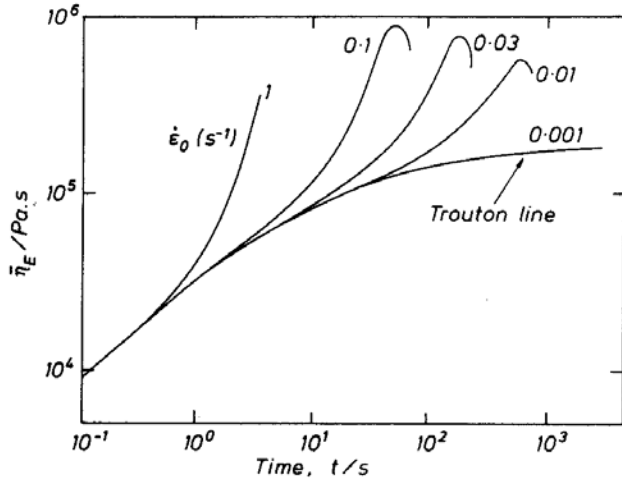


Fig. 5.12 Extensional viscosity growth $\bar{\eta}_E(t, \dot{\epsilon})$ as a function of time t for a low-density polyethylene melt. 423 K (see, for example, Meissner 1985).

변형률 속도 $\dot{\epsilon}$ 증가함에 따라 “Trouton 거동”에서 벗어나면서 급격히 증가
 ==> “변형률 경화(strain hardening)”

높은 변형률에서 데이터를 얻는 것이 어려우므로 $\bar{\eta}_E(t, \dot{\epsilon})$ 의 최대치만을 언급함.
 네 가지의 고분자 용융체의 신장 점도($\bar{\eta}_E(t, \dot{\epsilon})$ 의 최대치) 그래프(그림 5.13)

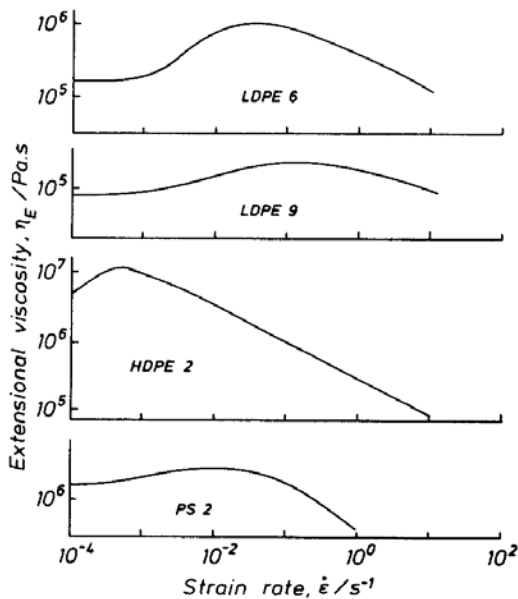


Fig. 5.13 Extensional viscosity data for four polymer melts (after Laun and Schuch 1989). LDPE—low-density polyethylene; HDPE—high-density polyethylene; PS—polystyrene.

응력의 함수로 나타낸 신장 점도와 면찰 점도 그래프(그림 5.14)

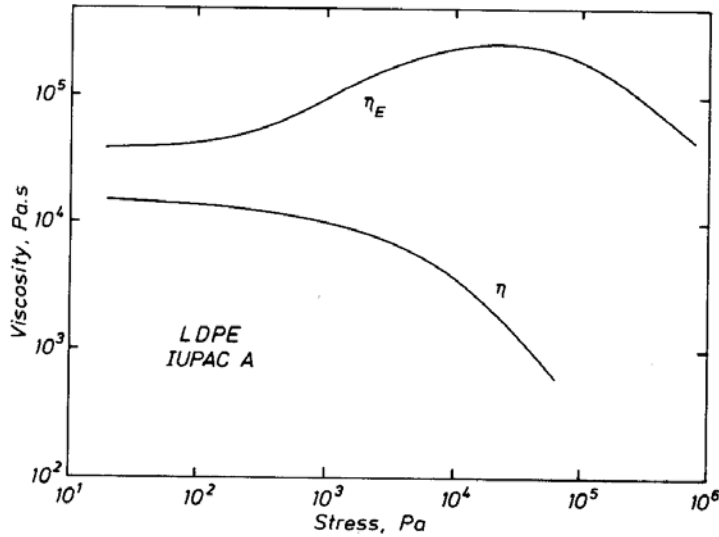


Fig. 5.14 Extensional viscosity and shear viscosity as functions of stress for the low-density polyethylene designated IUPAC A. 423 K (cf. Fig. 5.12) (see, For example, Laun and Schuch 1989).

Spin-line 유변물성측정기로 얻은 신장 점도 데이터(그림 5.15)

<-- Dekalin 속에 녹아 있는 폴리부타다이엔 용액

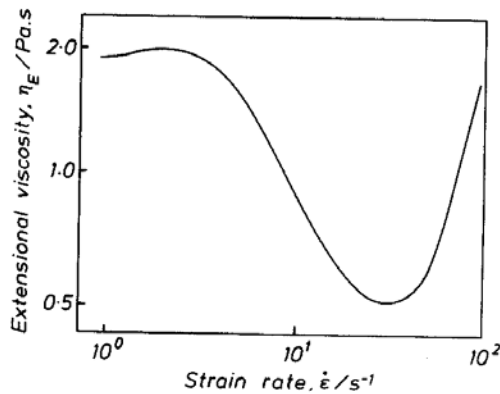


Fig. 5.15 Extensional viscosity curve determined with a commercial spin-line rheometer for a 6.44% solution of polybutadiene in dekalin (cf. Hudson and Ferguson 1976).

==> 장력 담화 영역 뒤에 η_E 가 훨씬 더 증가

(그림 5.13과 5.14의 흐름이 좋지 않은 고분자 물질계에서는 장력 농화의 경향이 일어나는지를 판별할 만큼의 충분히 큰 $\dot{\epsilon}$ 값까지는 확장되어 않았음)

유동성이 좋은 탄성 액체에 대하여 η_E 를 정확하게 측정한다는 것은 대단히 어려움.
지금까지의 증거로는 신장 점도가 대단히 큰 값을 가질 것으로 판단됨.

예: 고분자량 polyacrylamide의 아주 묽은 수용액에 대한 면찰 점도와 신장 점도 (그림 5.16과 5.17)

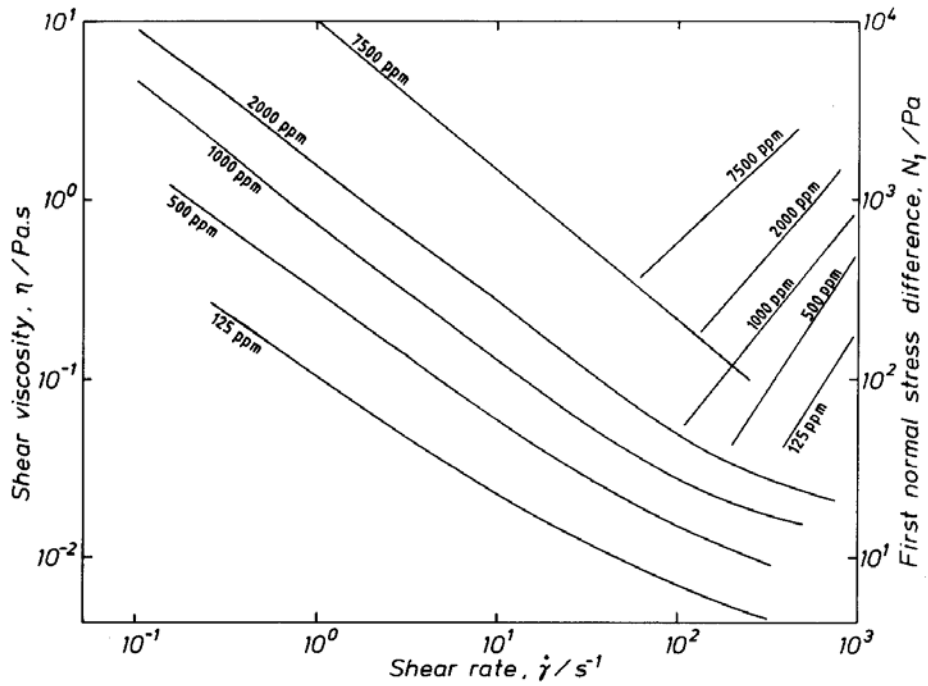


Fig. 5.16 Viscometric data for aqueous solutions of polyacrylamide (1175 grade) (Walters and Jones 1988). Note that viscosity decreases and normal stress increases with shear rate.

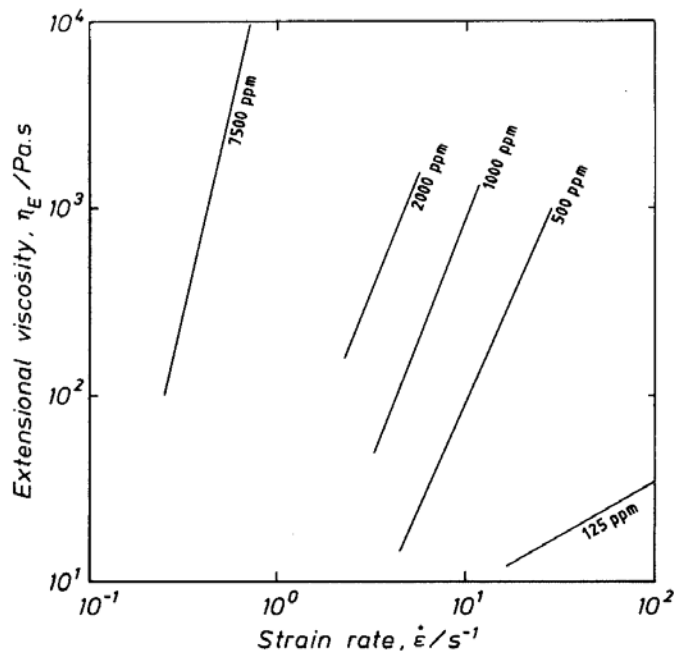


Fig. 5.17 Extensional viscosity data obtained from a spin-line rheometer for the aqueous polyacrylamide solutions of Fig. 5.16 (Walters and Jones 1988). Note that whereas shear viscosity decreased with shear rate, extensional viscosity increases with extensional rate.

==> Trouton 비가 10^4 정도의 큰 값을 가짐을 알 수 있음.

거의 동일한 면찰 점도를 보여주는 고분자 용액의 유변물성 거동(그림 5.18과 5.19)

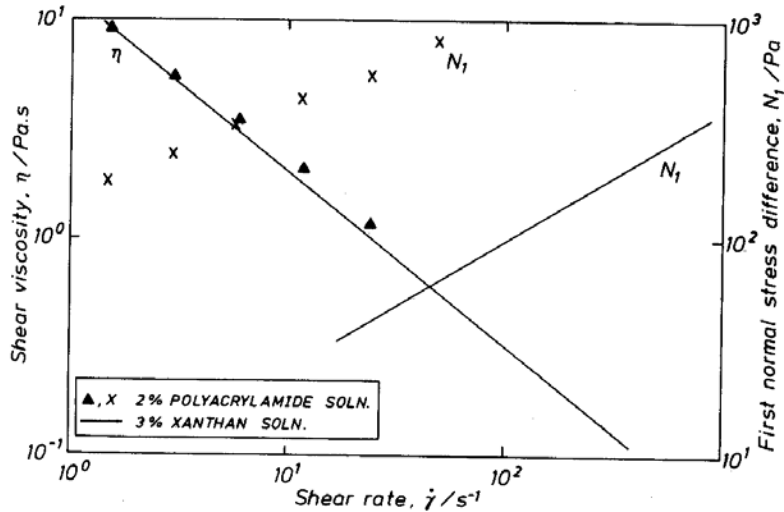


Fig. 5.18 Viscometric data for a 2% aqueous solution of polyacrylamide (E10 grade) and a 3% aqueous solution of Xanthan gum. Note the very different values of N_1 for solutions with almost the same viscosities.

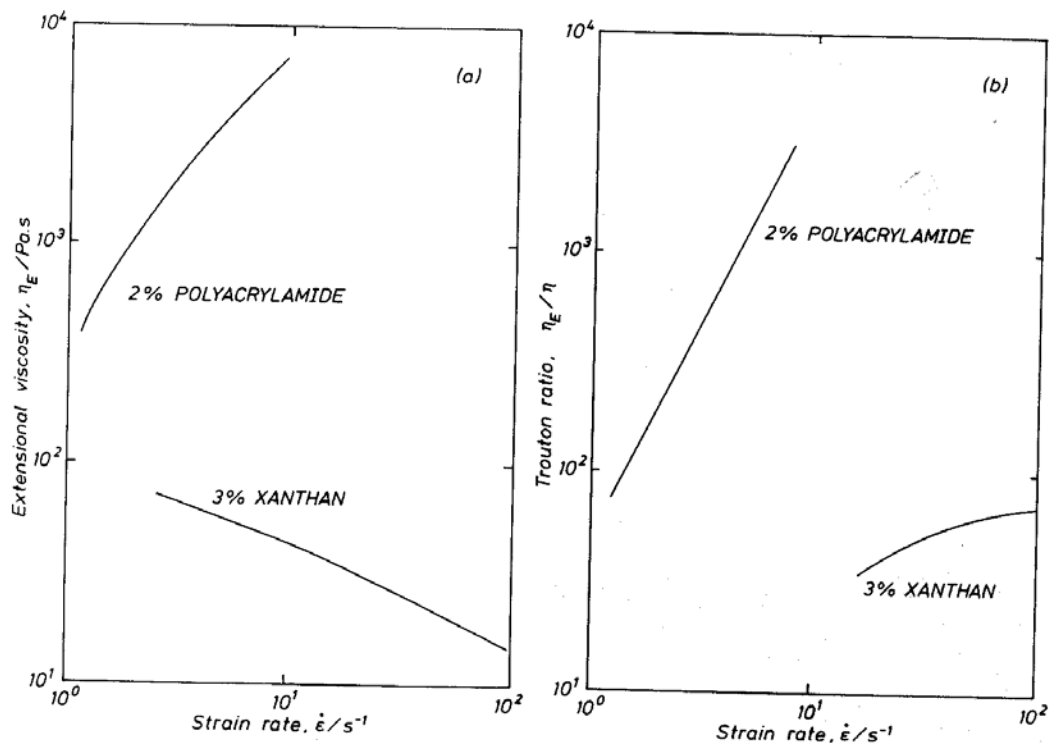


Fig. 5.19 (a) Extensional viscosity data obtained from a spin-line rheometer for the polymer solutions investigated in shear flow in Fig. 5.18; (b) Trouton ratios obtained from Figs. 5.18 and 5.19(a). Note that although the Xanthan gum solution is tension-thinning (Fig. 5.19(a)), the associated Trouton ratios increase with strain rate and are still significantly in excess of the inelastic value of 3.

==> 2% polyacrylamide(E10 등급) 수용액과 3% Xanthan gum 수용액
Polyacrylamide는 막대형인 Xanthan gum보다 훨씬 연질 고분자
Polyacrylamide 용액은 강한 장력 농화, Xanthan gum은 장력 담화 거동을 보여줌.
Trouton 비는 Xanthan gum에서조차도 뉴턴 유체의 3보다 훨씬 높은 값을 가짐.

콜로이드 액체에 대한 Trouton 비는 고분자 액체의 Trouton 비보다 훨씬 작음.

5.6 신장 점도가 큰 유체의 거동에 대한 몇 가지 보기

높은 Trouton 비의 효과가 뚜렷이 나타나는 몇 가지 상황

Polyethylene oxide WSR 301 등급(또는 유사한 고분자 용액) 0.75% 수용액
--> 저장통에 담긴 액체의 액위(level)보다 몇 cm 높은 사이펀 현상 실험 가능

개방된 사이펀 효과의 관찰 (그림 5.20)

--> 상기 용액이 채워진 용기로부터 보다 낮은 곳에 위치한 용기로 수송시 관찰 가능

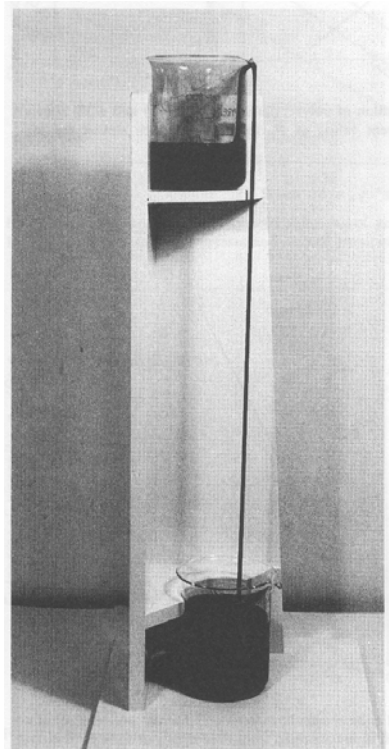


Fig. 5.20 An illustration of the open-siphon effect for a 0.75% aqueous solution of polyethylene oxide.

개방된 사이펀 현상 ~ 고분자 용액의 높은 Trouton 비로 인해 일어나는 대표적인 예

신장 점도가 큰 유체의 거동과 현상에 대한 예

==> Walters와 Broadbent(1980)의 “비뉴턴 유체”라는 영화에 예시되어 있음.

평행한 통로 내에 비대칭적으로 배치시킨 원통 구조물을 지나는 흐름(그림 5.21)

--> 2차원 흐름. 원통 장애물의 위치 조절에 의한 좁은 통로와 넓은 통로로 구성됨.

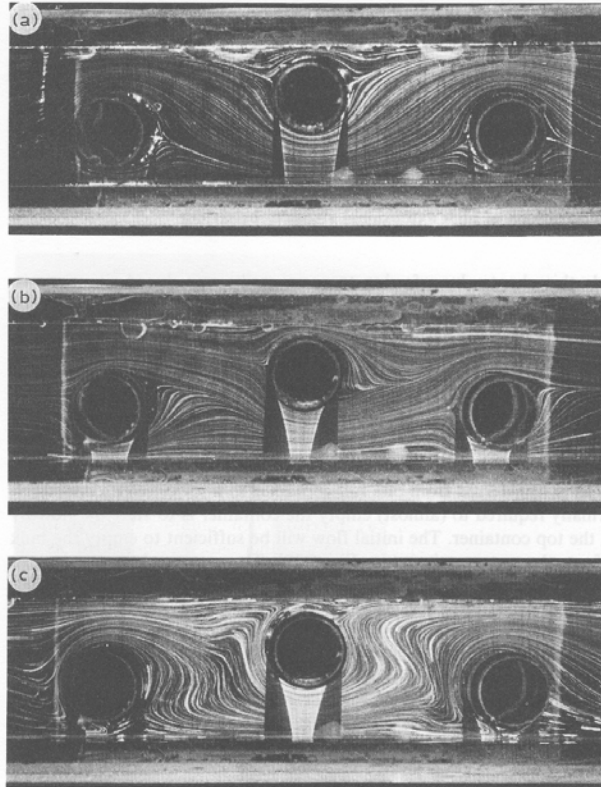


Fig. 5.21 Flow visualization pictures for: (a) a Newtonian liquid; (b) a Xanthan gum solution; (c) a polyacrylamide solution. They show the dominant effects of shear-thinning in the Xanthan gum solution and tension-thickening in the polyacrylamide solution (see, for example, Walters and Jones 1988).

뉴턴 액체의 거동: 대응되는 양만큼의 액체가 좁은 통로를 지나가고 있음.

Xanthan gum 용액: 면찰 당화에 의해 많은 양의 액체가 좁은 통로를 지나가고 있음.

Polyacrylamide 용액: 어떠한 액체도 좁은 통로를 지나가고 있지 않음.

(그림 5.3의 4-를 분쇄기의 상황을 참고).