

# *MTT 651: Polymer Rheology*

*Prof. Dr. Narongrit Sombatsompop*

*Polymer **PRO**cessing and **Flow** (P-PROF) Group*



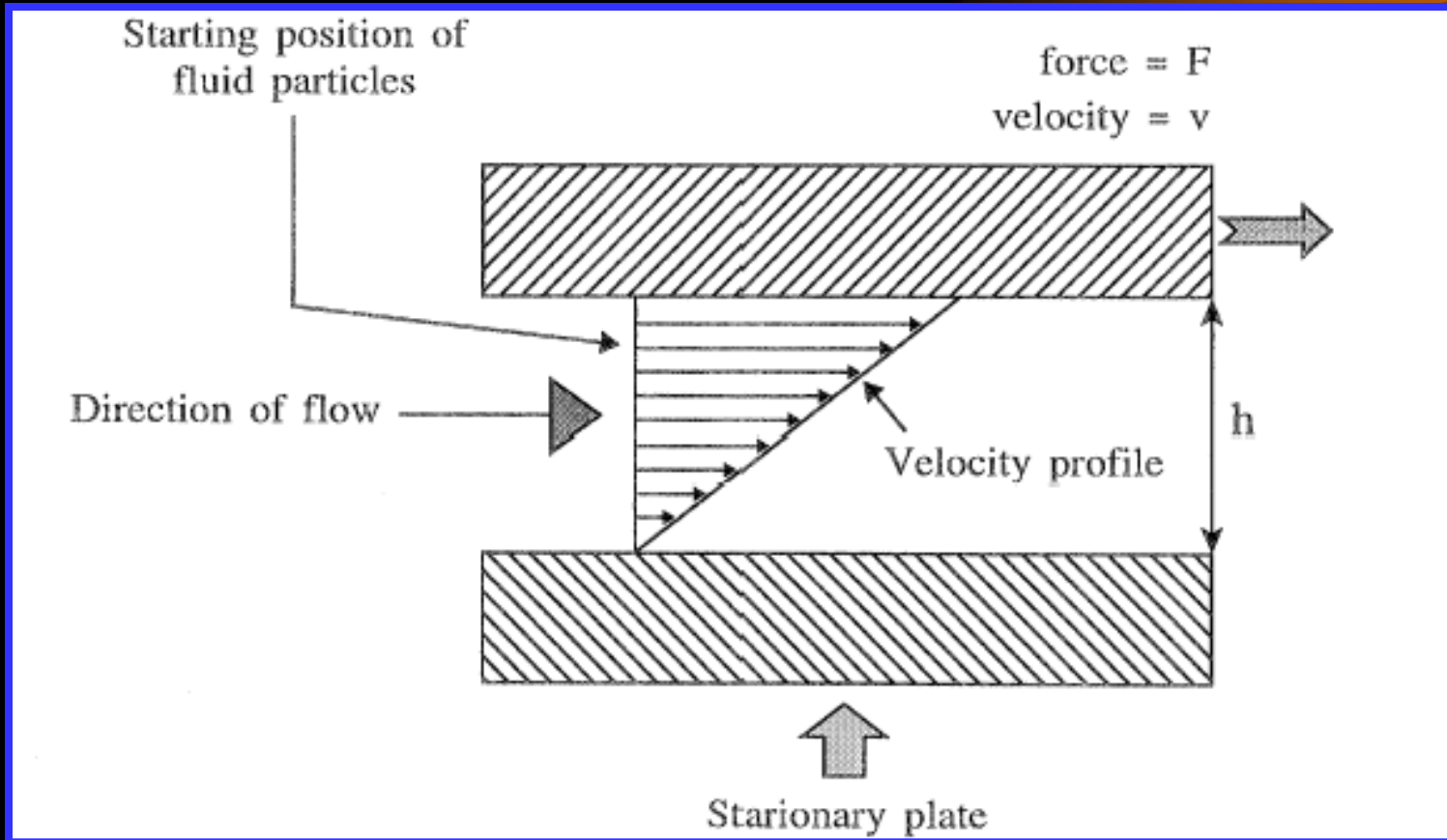
*King Mongkut's University of Technology Thonburi*

*91 Pracha U-tit Rd., Bangmod, Thuug-khru, Bangkok 10140, THAILAND*

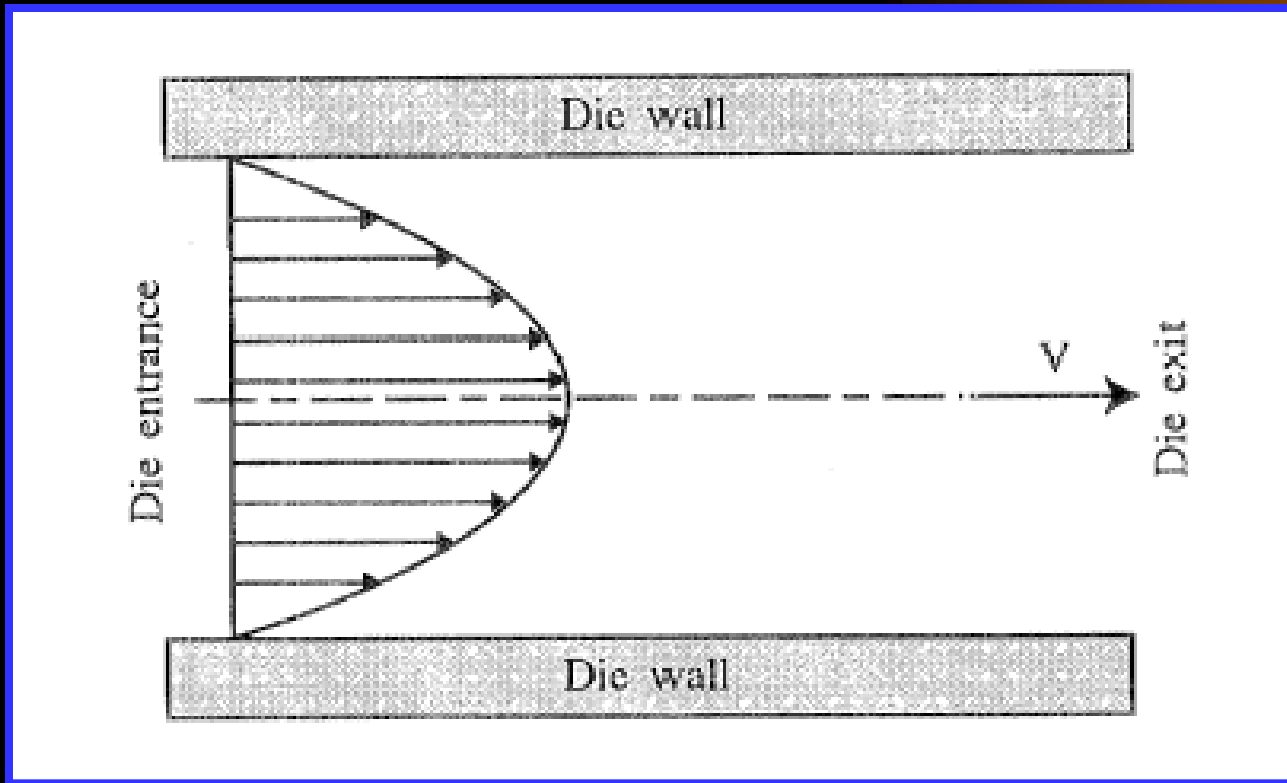
# *Definitions*

- Fluids
- Rheology
- Viscosity
- Laminar and turbulent flows
- Steady and non-steady flows
- Plug flow
- Shear flow (drag and pressure flows)
- Shear stress and shear rate
- Elongational flow
- Visco-elasticity

# การไหลที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นประกบคู่ด้วยความเร็วที่ต่างกัน (Drag Flow)



## การไหลที่เกิดจากความแตกต่างของความดันภายในท่อ (Pressure Flow)



## *Rheological behaviour of materials*

- Inviscid fluids (viscosity=0)
- Linear viscous fluid (Newtonian, water)
- Non-linear viscous fluids (Newtonian, suspension)
- Linear viscoelastic materials (non-Newtonian/ small deformation)
- Non-linear viscoelastic materials (non-Newtonian/ large deformation)
- Non-linear elastic materials (rubber)
- Linear elastic materials (spring)
- Non-deformable solid (viscosity = infinity)

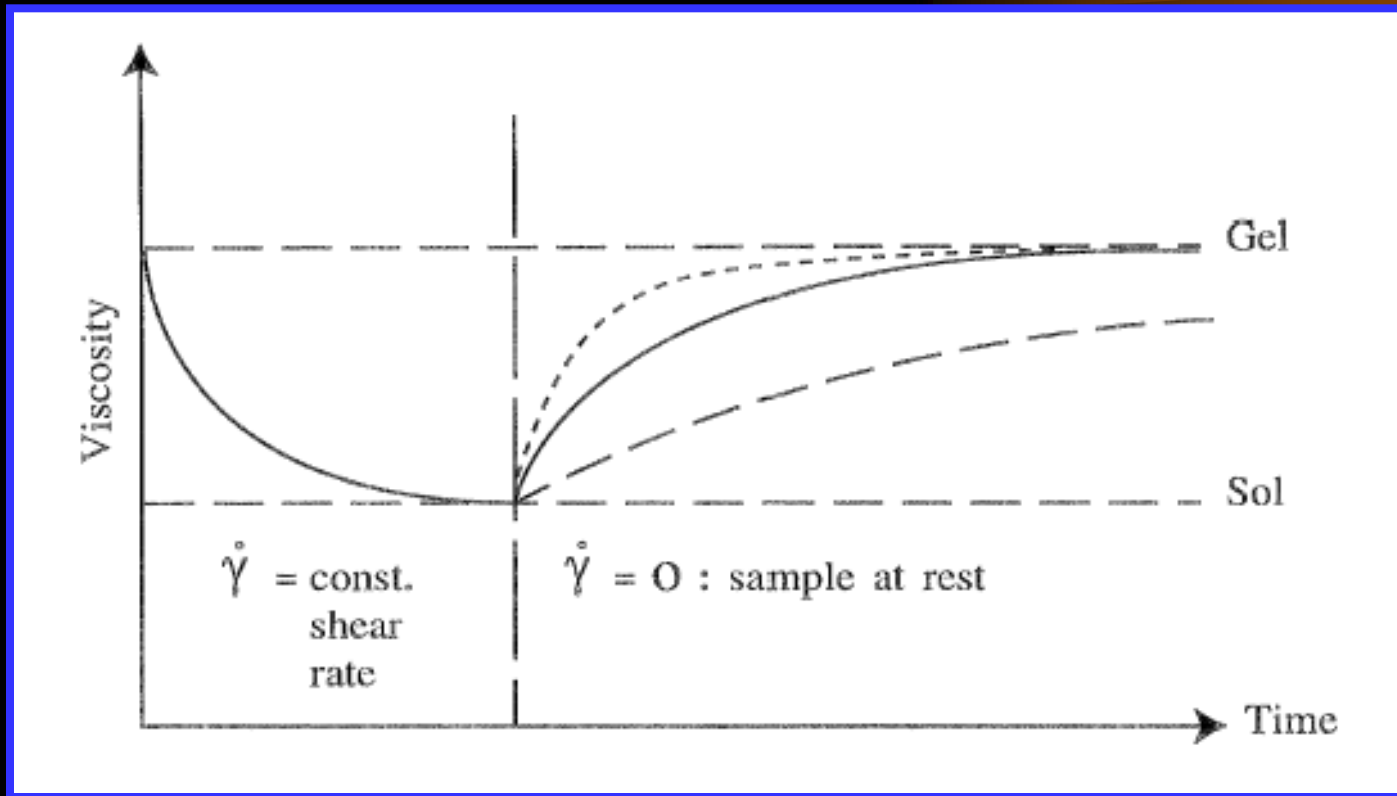
**(Fluids)**

**(Solid)**

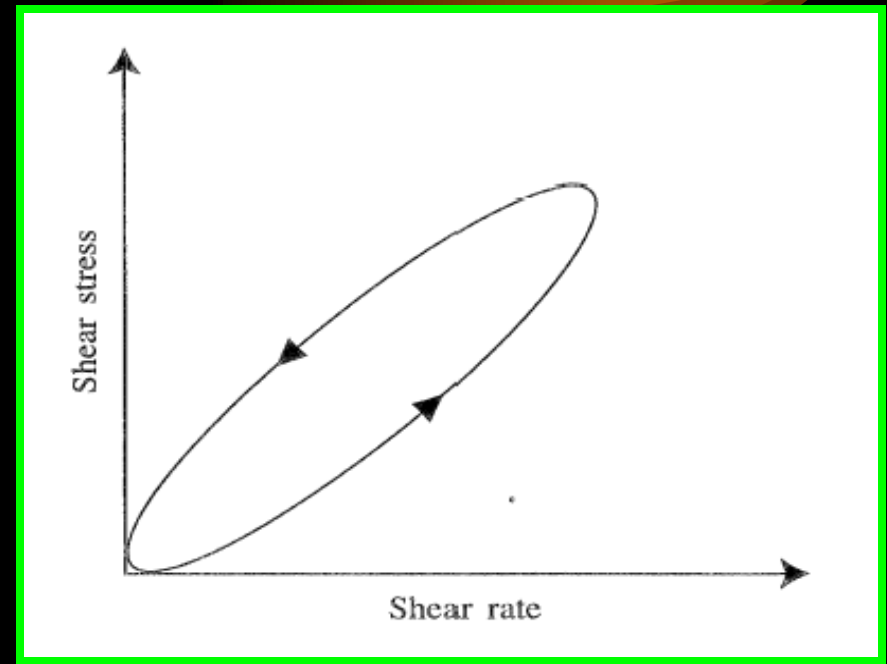
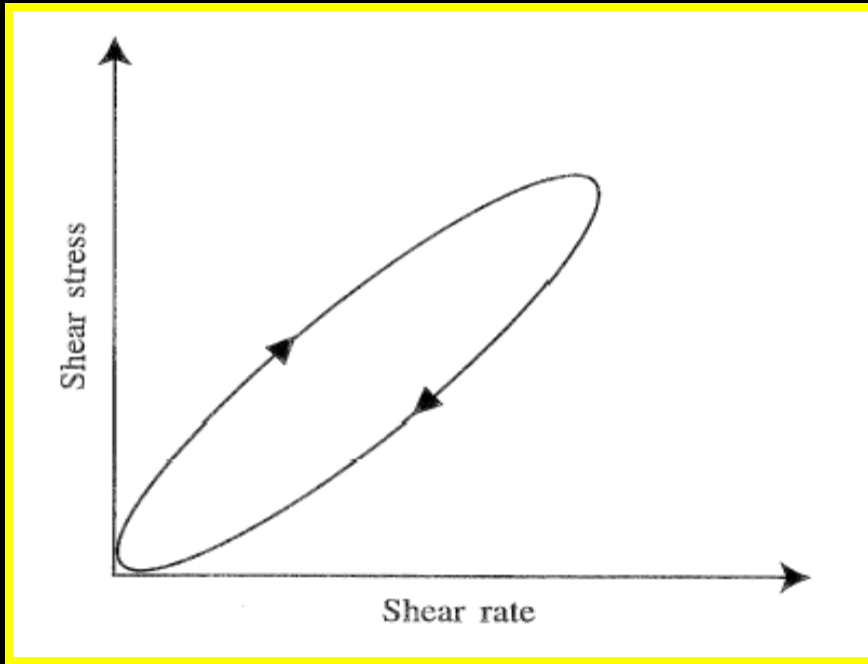
# ***Time dependent fluids***

- Thixotropic fluids - Shear stress decreases with time for a given shear rate. (yogurt, salad dressing)
- Rheopectic fluids - Shear stress increases with time for a given shear rate. (suspended fluids, mud)

## การเปลี่ยนแปลงความเค้นเฉือนตามเวลาของของไหล *thixotropic*



ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือนและอัตราเค้นเฉือน  
ของของไหล *thixotropic*



ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือนและอัตราเค้นเฉือน  
ของของไหล *rheopectic*



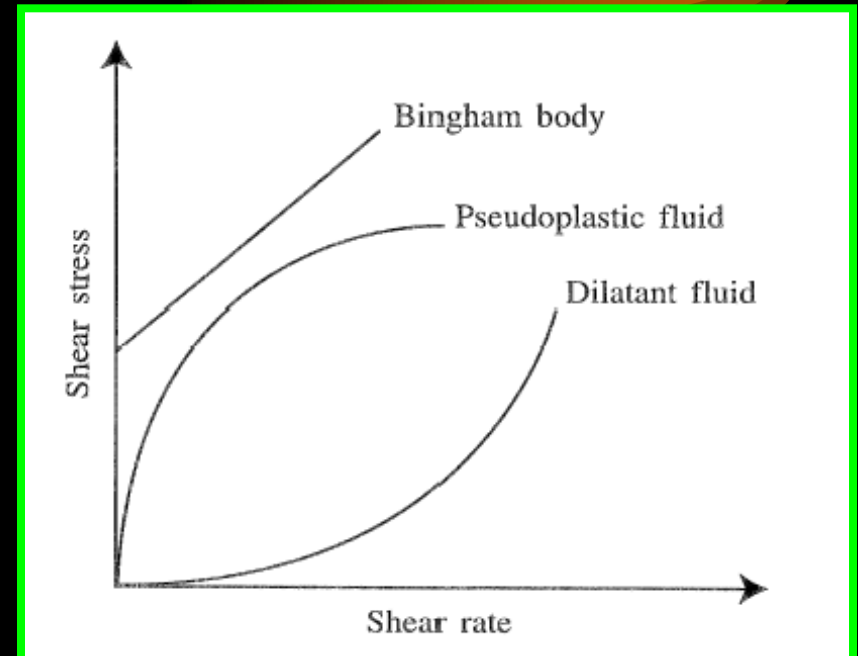
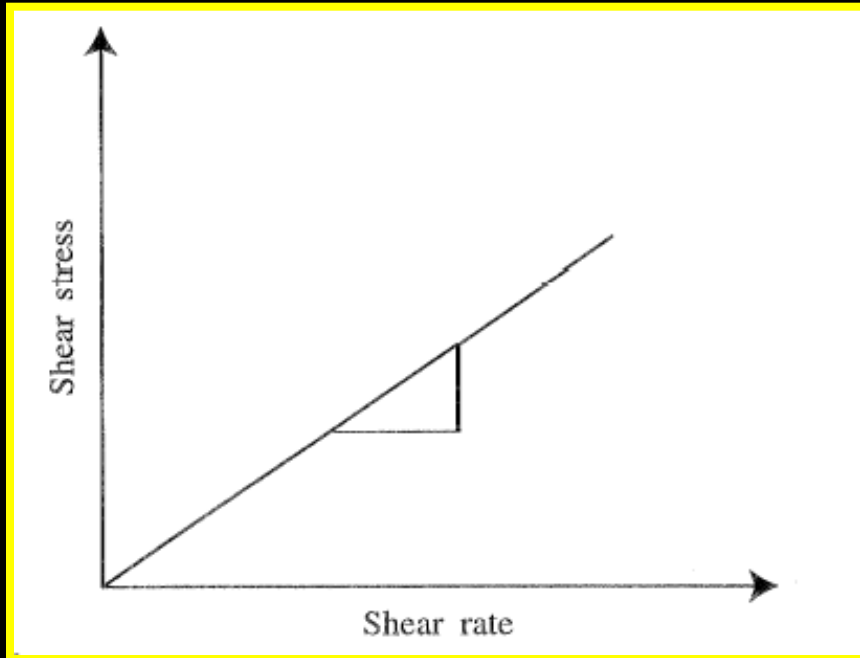
# ***Time independent fluids***

- **Newtonian fluids:** Viscosity is independent of shear rate. The ratio of shear stress and shear rate is constant.
- **Non-Newtonian fluids:** Viscosity is dependent on shear rate.

# **Non-Newtonian fluids**

- Pseudoplastics fluids (shear thinning fluids) such as polymer melts, rubber liquids, adhesives, biological fluids and grease.
- Dilatant fluids (shear thickening fluids) such as PVC pastes and flour in water.
- Bingham fluids such as paints, clays, pea slurry, margarine, soaps, paper pulp, sewage sludge.

## ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือนและอัตราเค้นเฉือนของ ของไหลในกลุ่ม *Newtonian*



## ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือนและอัตราเค้นเฉือนของของ ไหลในกลุ่ม *non-Newtonian*

## Power law index and Power law consistency

$$\tau = K \gamma^n$$

$$\log \tau = \log K + n \log \gamma$$

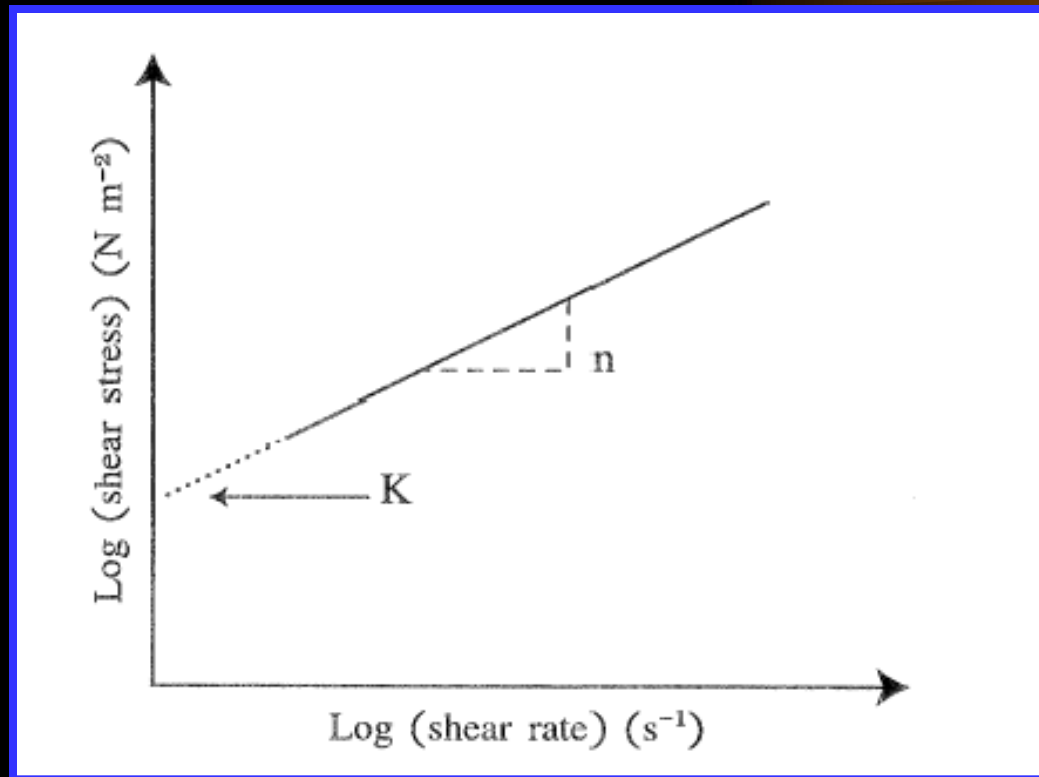
The  $n$  value indicates the type of fluids as follows:

Newtonian fluids  $n = 1$

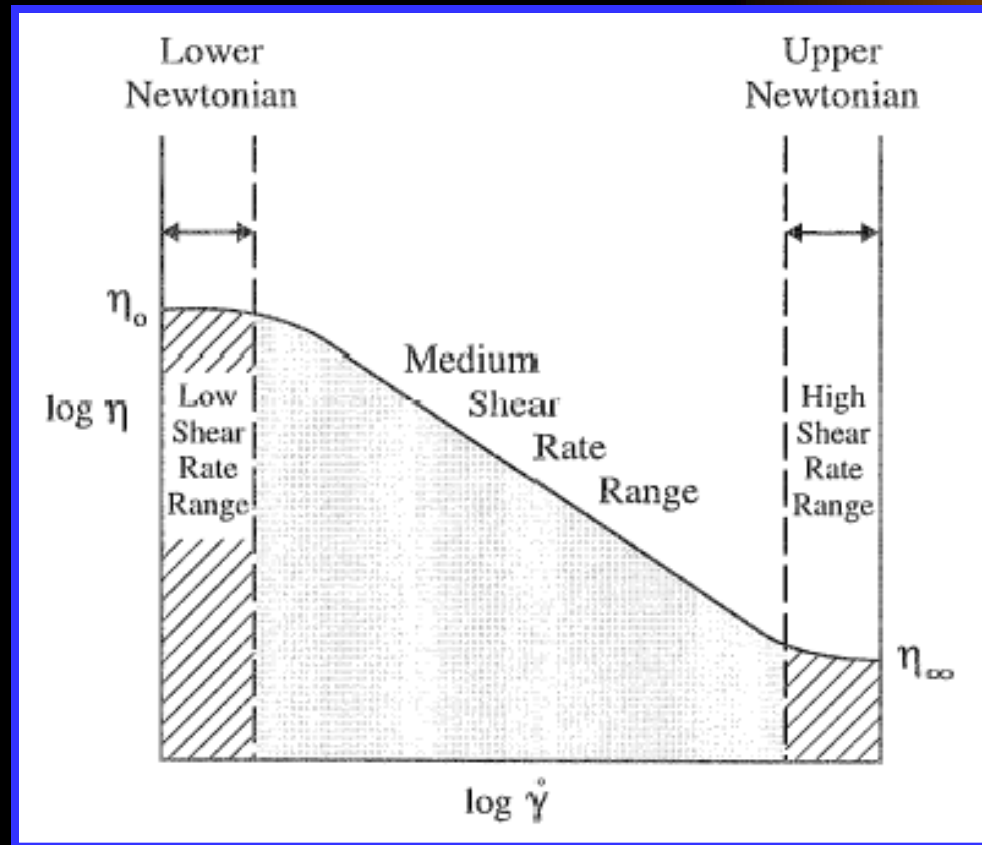
Non-Newtonian fluids  $n \neq 1$

- Pseudoplastic fluids:  $n < 1$
- Dilatant fluids:  $n > 1$

## ความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Log}(\text{shear stress})$ กับ $\text{Log}(\text{shear rate})$



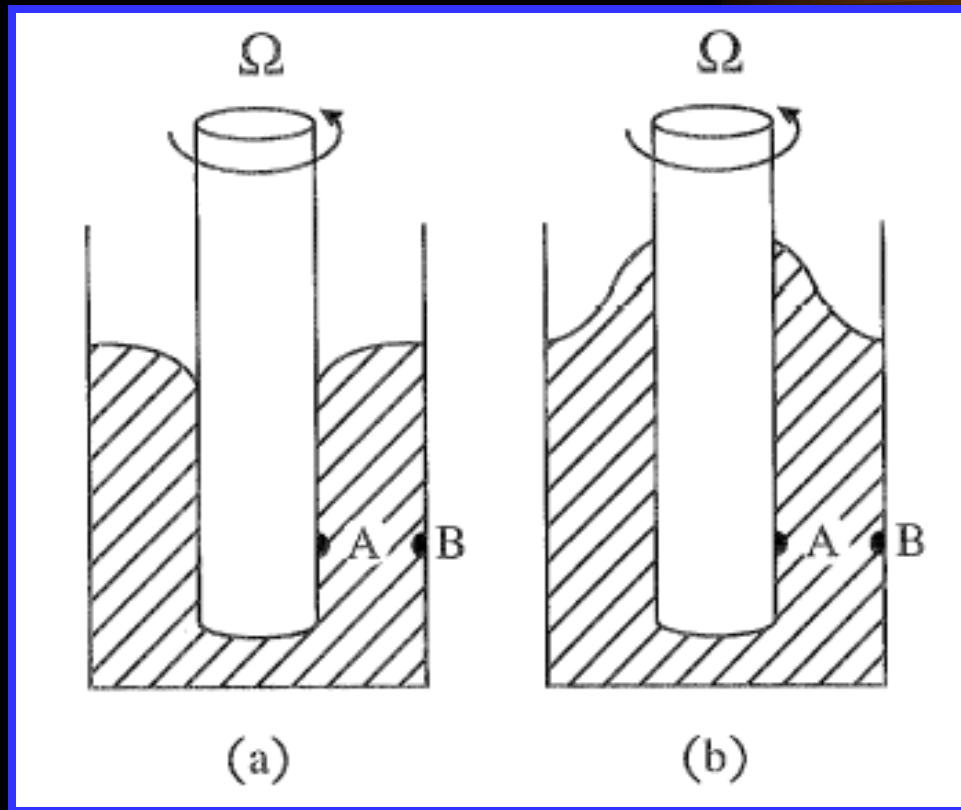
## ความสัมพันธ์ระหว่าง *shear viscosity* กับ *shear rate*



## Examples of materials viscosities ( $\text{Nsm}^{-2}$ )

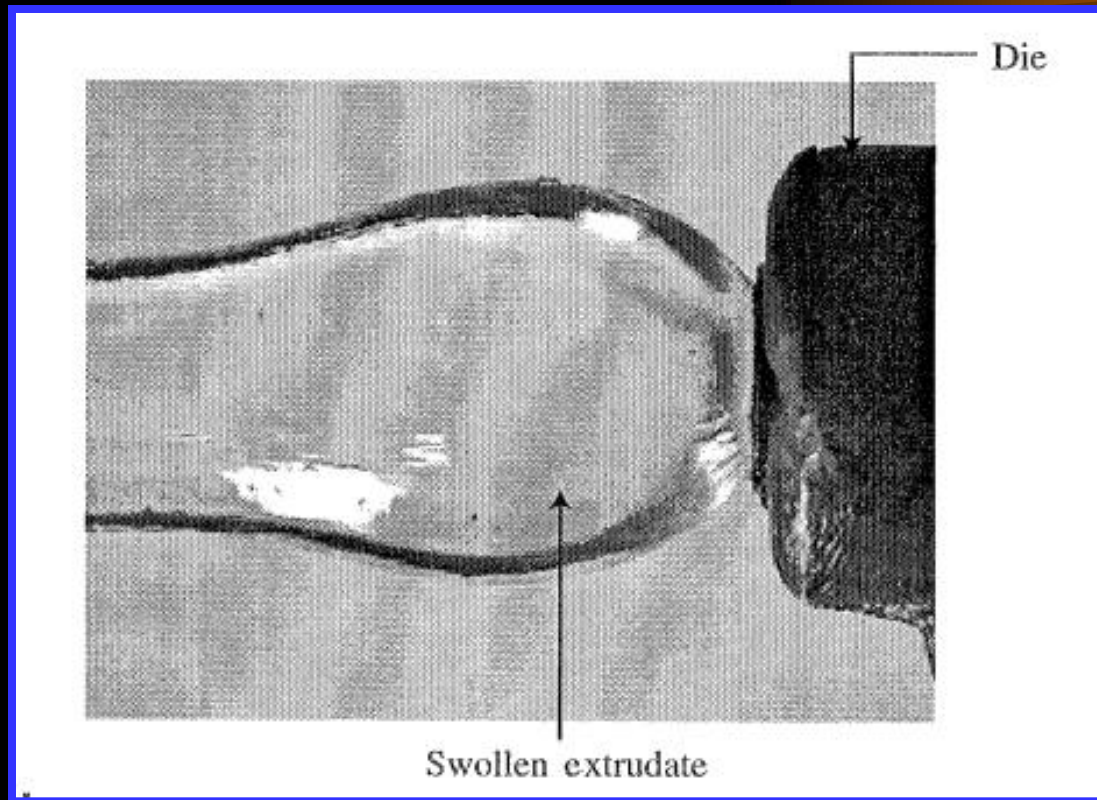
- 10 poise = 1  $\text{Nsm}^{-2}$
- Air (gaseous) =  $10^{-5}$  (0.01 poise)
- Water =  $10^{-3}$  (10 poise)
- Oil =  $10^{-1}$
- Glycerine = 1
- Syrup =  $10^2$
- Polymer melts =  $10^2 - 10^6$
- Glass =  $10^{21}$

## Weissenberg effects for Newtonian (a) and Viscoelastic fluids (b)

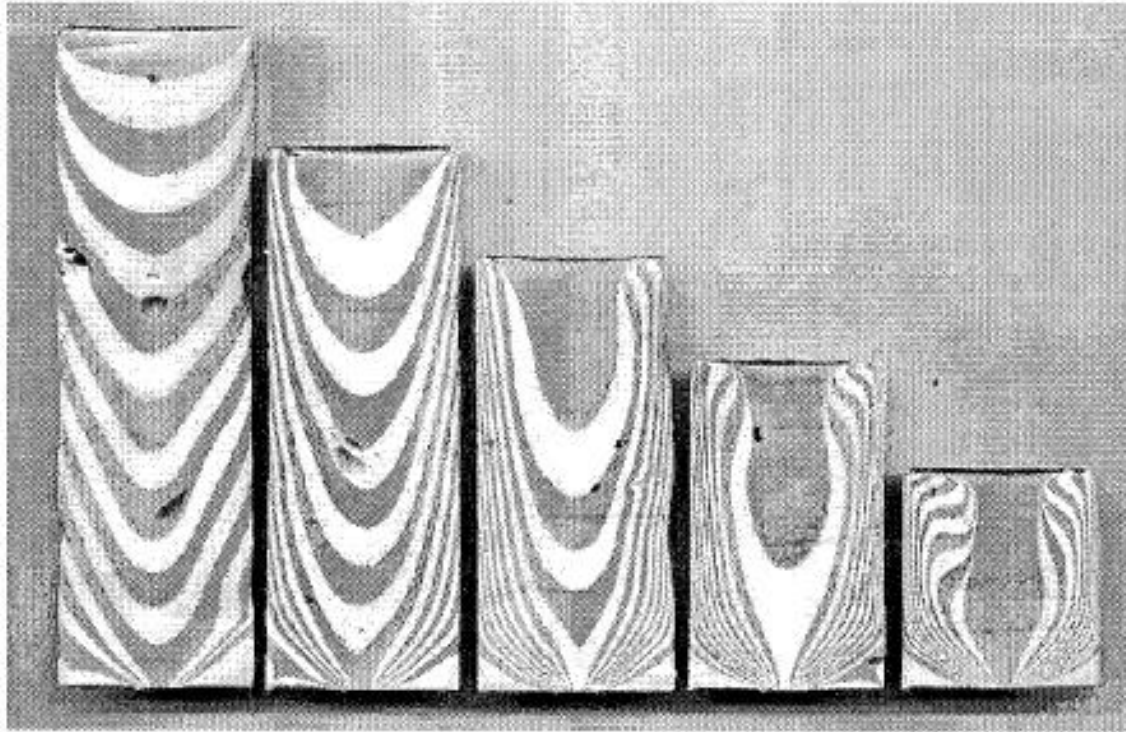




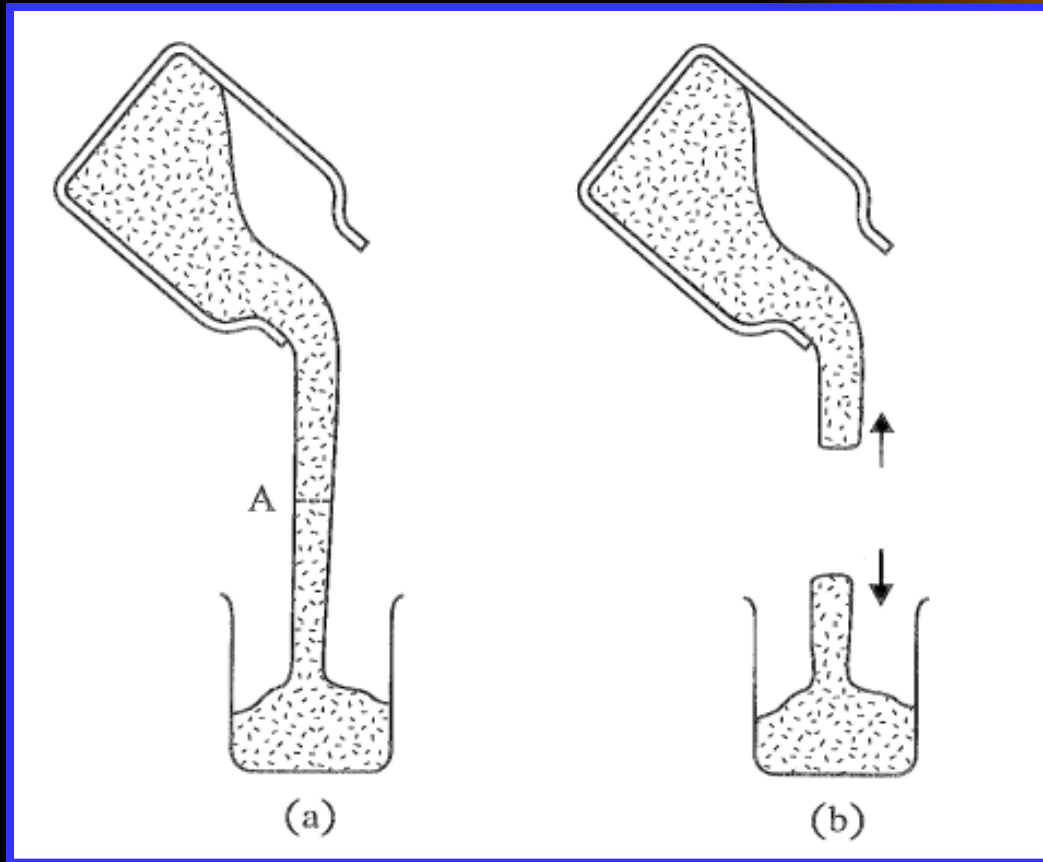
## พฤติกรรมการบวมตัวของพอลิเมอร์หลอมเหลวขณะอัดรีด (*die swell*)



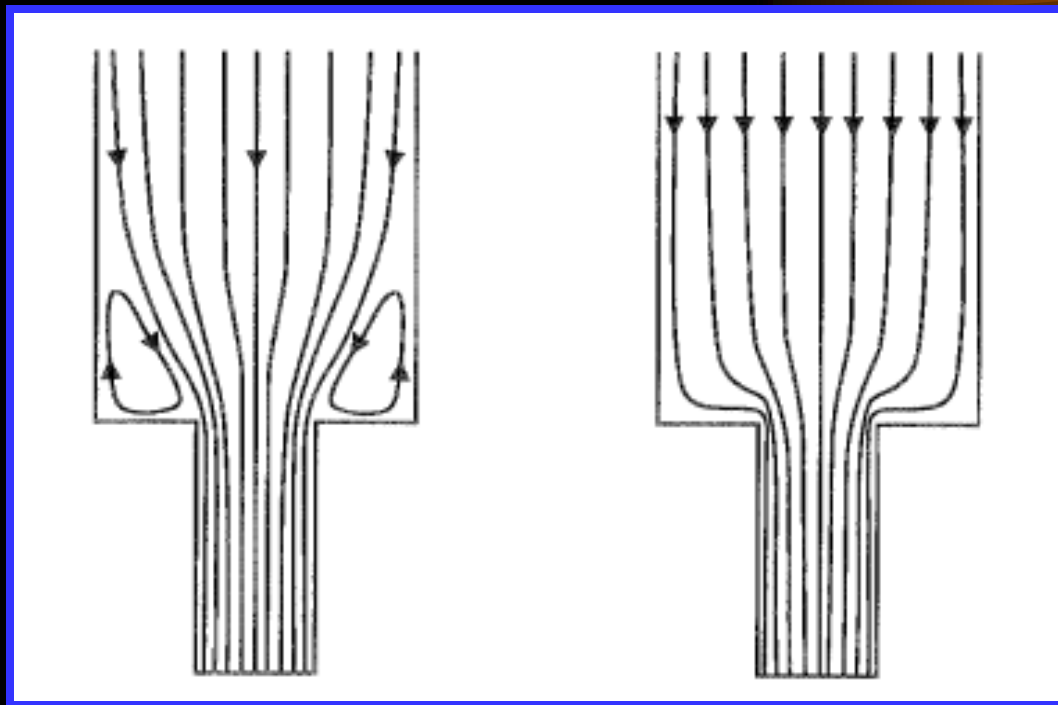
## *Flow of polymer melts in a rheometer*



## Recoiling behaviour of viscoelastic fluids



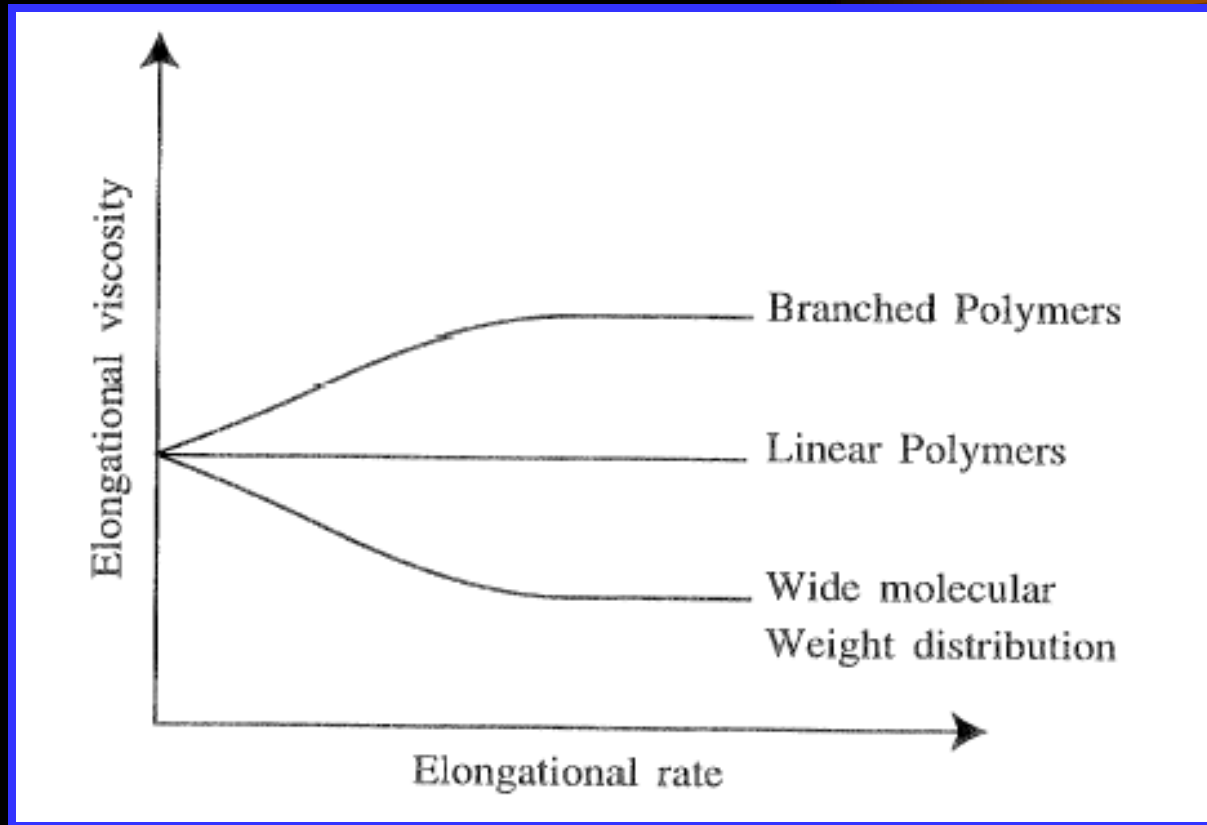
## Dead flows of polymer melts



**LDPE**

**LLDPE**

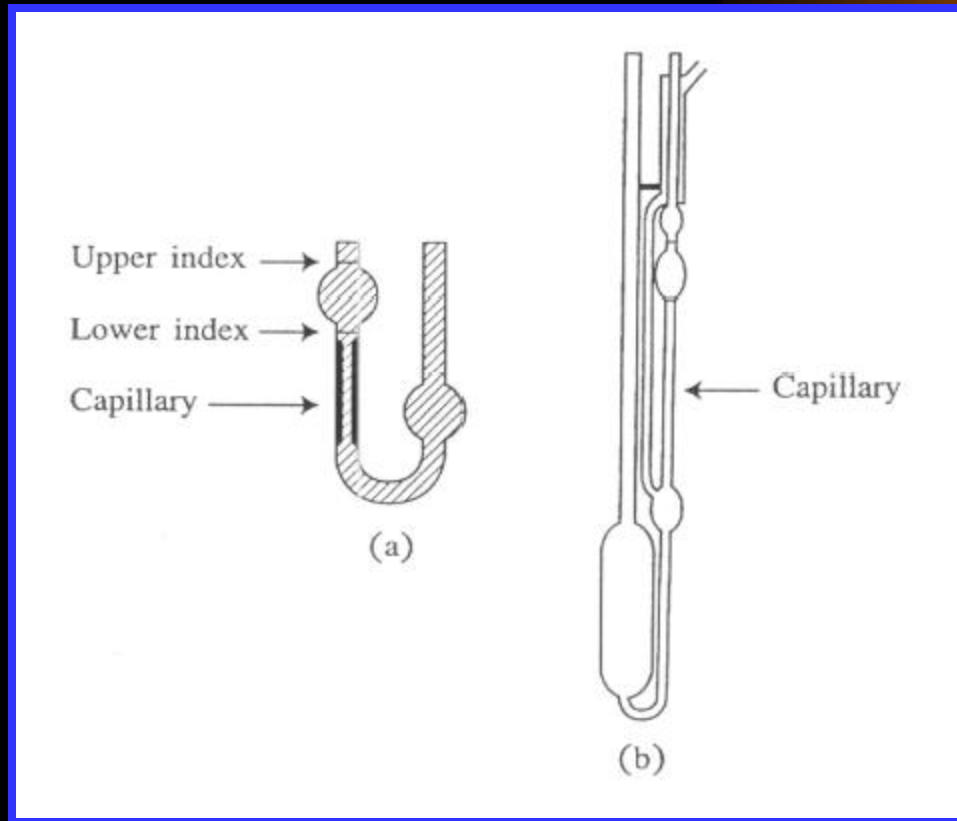
## Elongation properties of melts



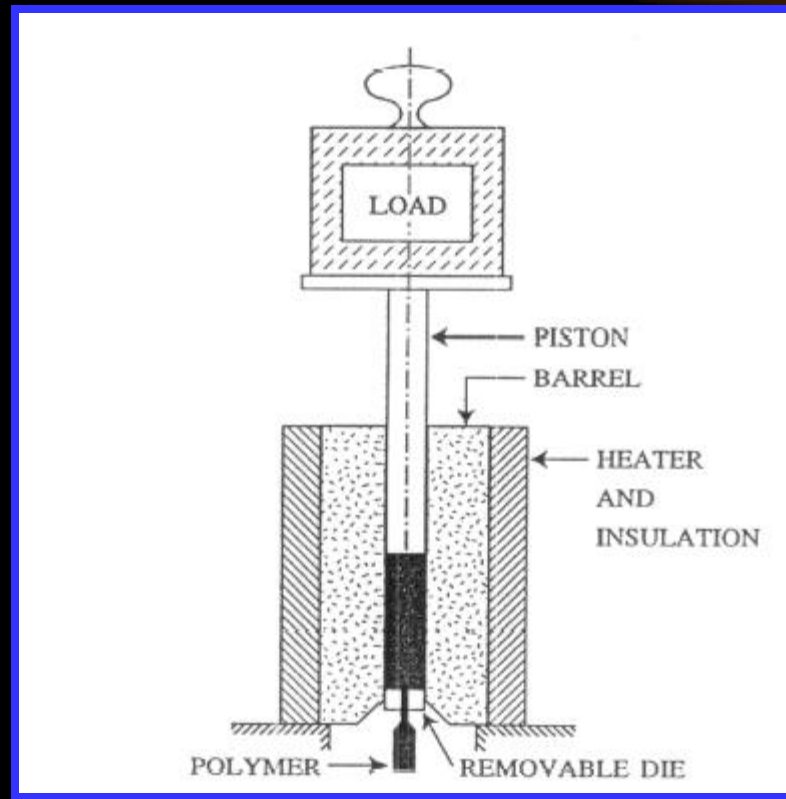
# *Measurement of Rheological Properties*

- Ostwald Glass Viscometer
- Melt Flow Rate (MFR)
- Falling Ball Viscometer
- Rolling Ball
- Capillary Rheometer

# Ostwald Glass Viscometer

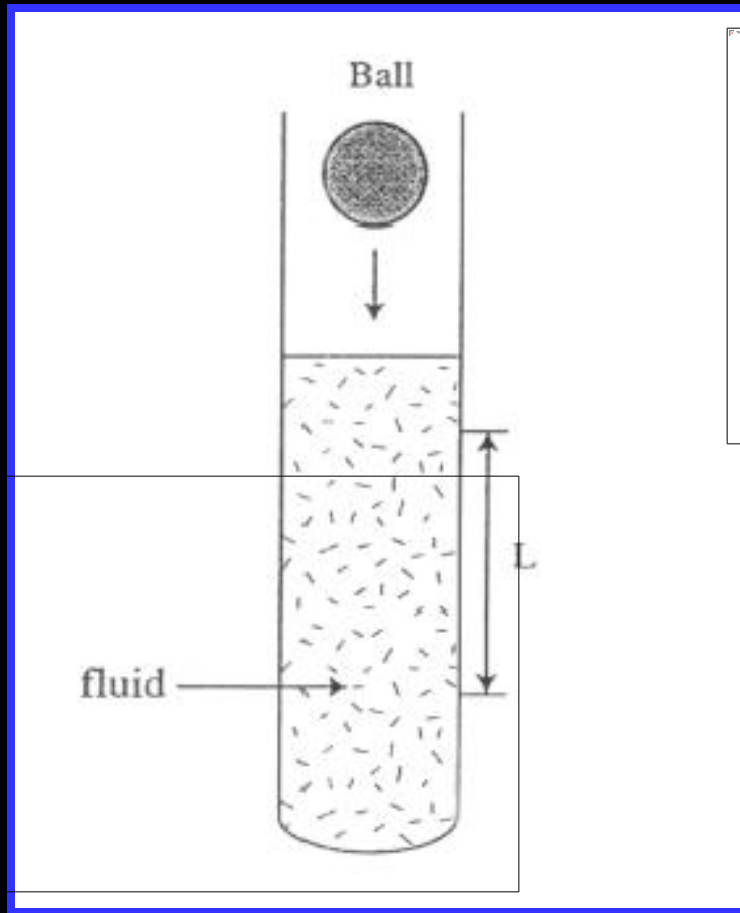


# Melt Flow Rate (MFR)



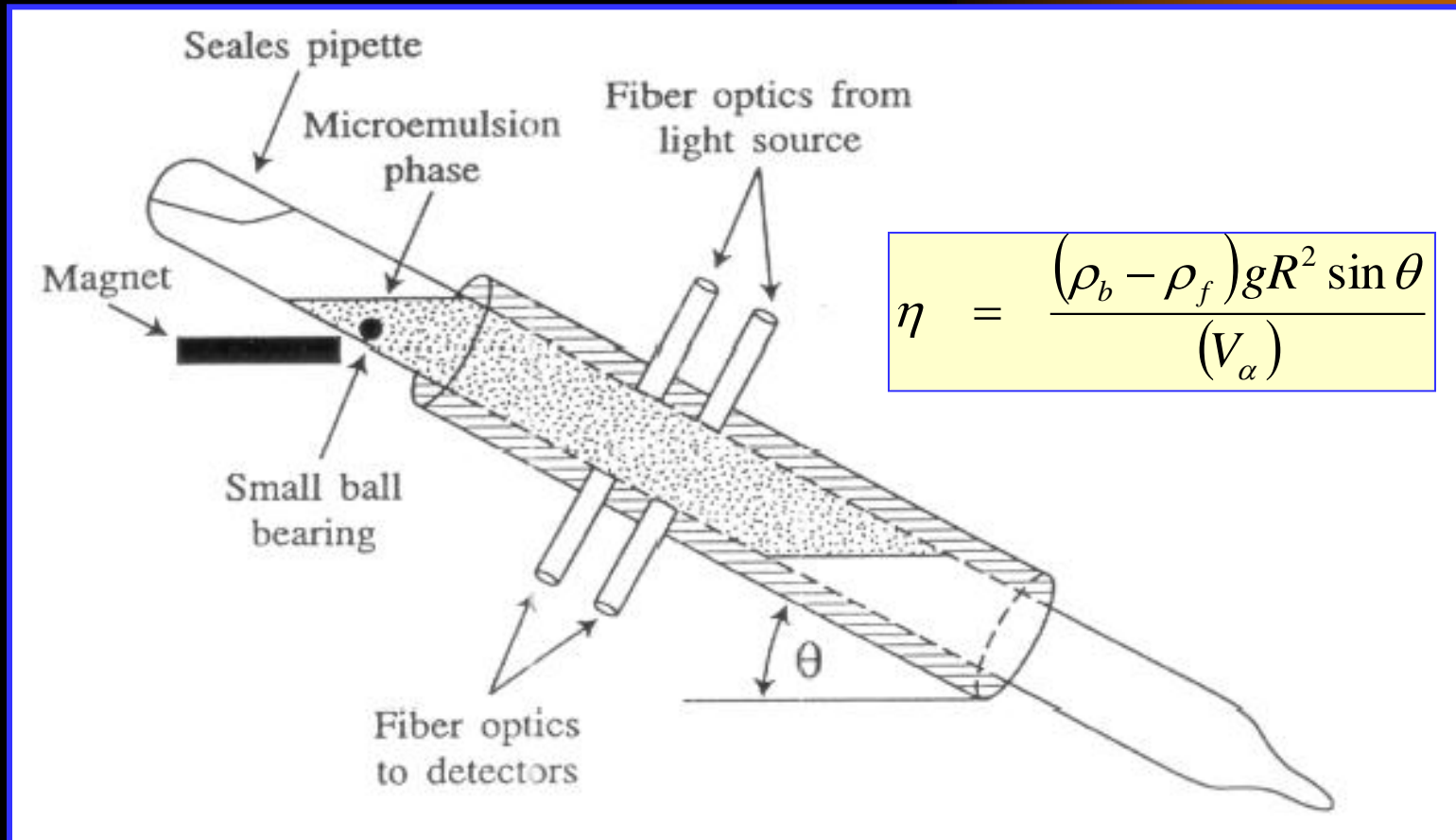


# Falling Ball Viscometer



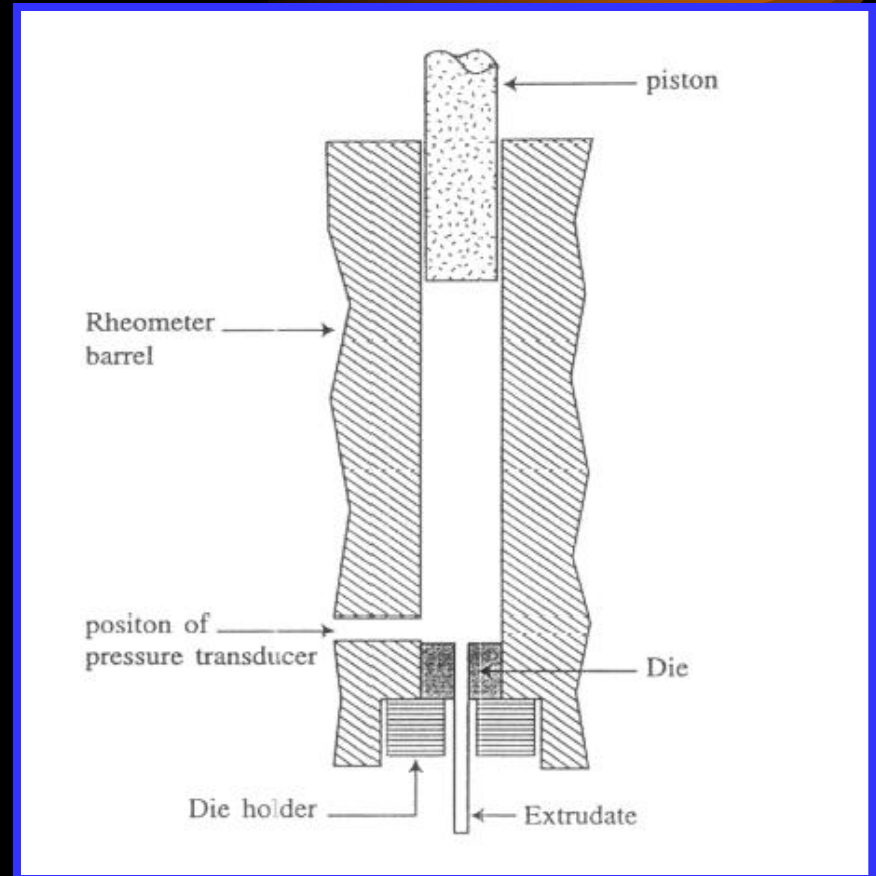
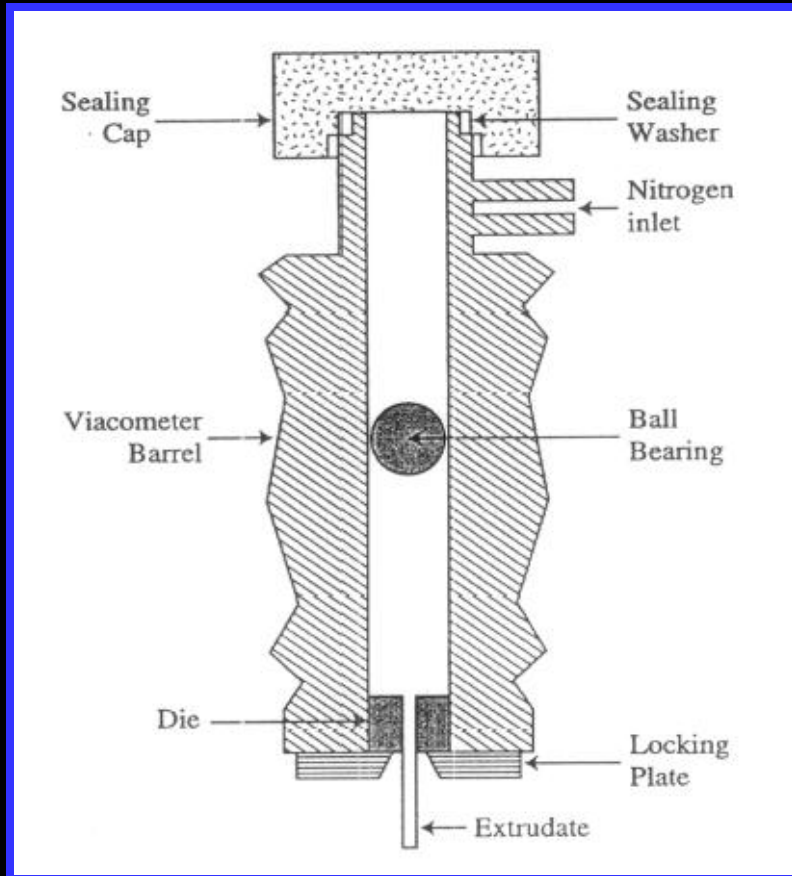
$$\eta = \frac{2(\rho_b - \rho_f)gR^2}{9(L/t)}$$

# Rolling Ball



$$\eta = \frac{(\rho_b - \rho_f)gR^2 \sin \theta}{(V_a)}$$

# Capillary Rheometer



## Summary of wall shear stress and wall shear rate

For circular die

$$\tau_w = \frac{RP}{2L}$$

$$\gamma_w = \frac{4Q}{\pi R^3} \quad \text{and} \quad \gamma_w = \left( \frac{3n+1}{4n} \right) \frac{4Q}{\pi R^3}$$

For slit die

$$\tau_w = \frac{HP}{2L}$$

$$\gamma_w = \frac{6Q}{WH^2} \quad \text{and} \quad \gamma_w = \left( \frac{2n+1}{3n} \right) \frac{6Q}{WH^2}$$

where H and W are the die height (m) and the die width (m) respectively.