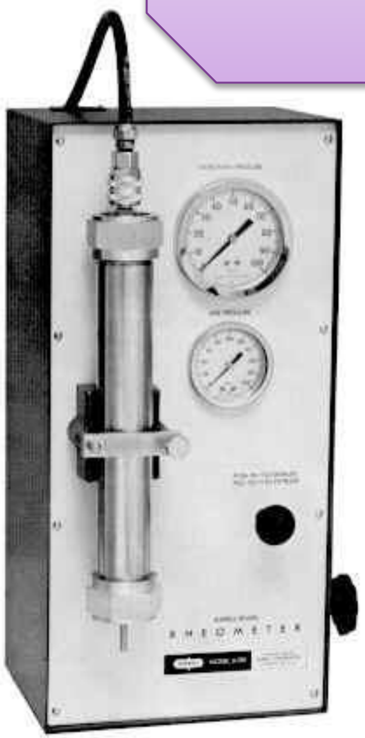
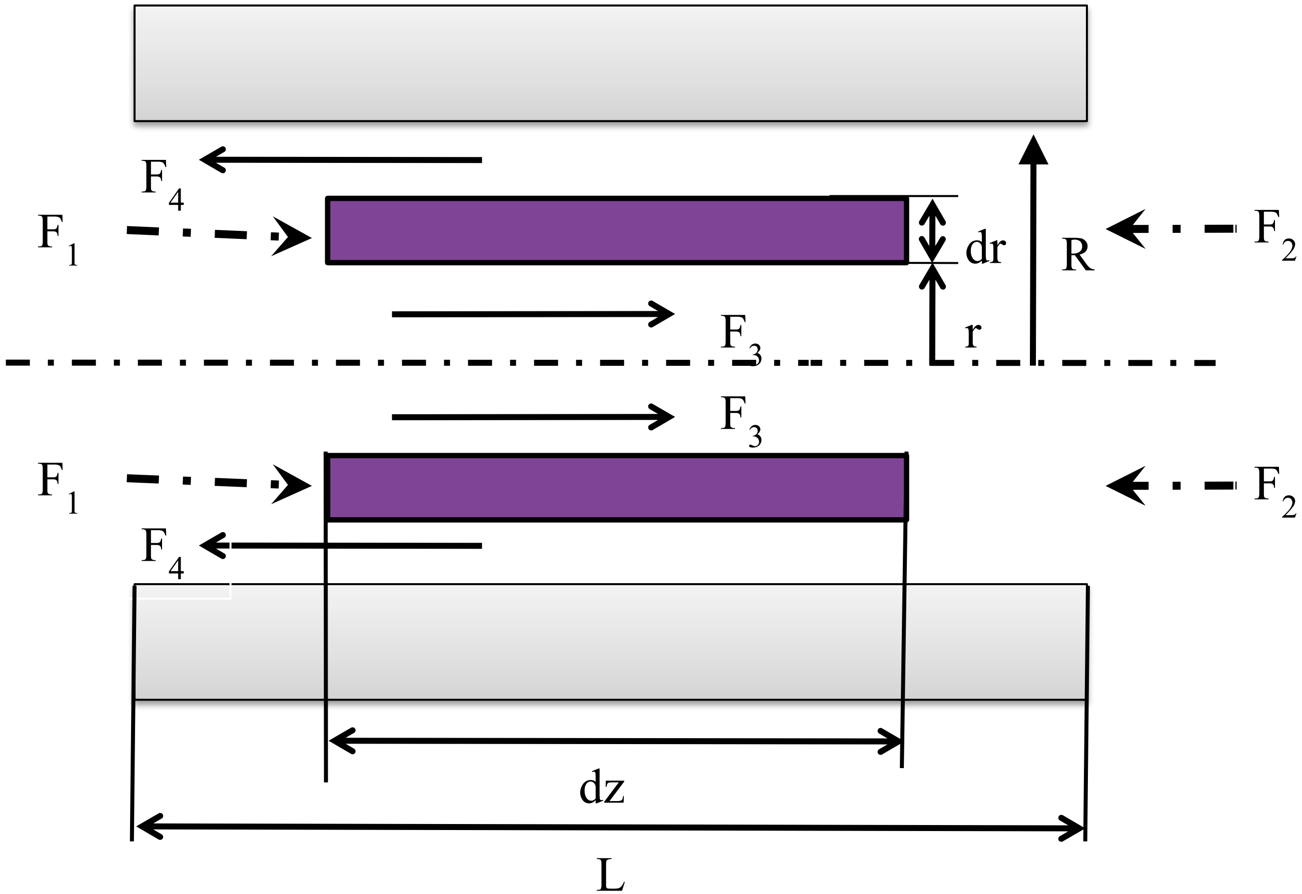
Stress-controlled rheometer
(เครื่องรีโอมิเตอร์แบบควบคุมความเค้นเฉือน)



การพิสูจน์สมการค่าความเค้นเฉือนในท่อหน้าตัดกลม



แรงรวมที่มากระทำต่อหน่วยย่อยของของไหลเท่ากับ

$$\sum F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 0$$

เมื่อ F_1 = แรงการไหลนิ่ง (hydrostatic force) = $-[P + (\partial P/\partial z)dz]2\Pi r\,dr$

F_2 = แรงการไหลนิ่ง (hydrostatic force) = $P2\Pi r\,dr$

F_3 = แรงลากดึง (drag force) = $-2\,\Pi\,r\,dz\,\tau$

F_4 = แรงลากช้า (retarding force) = $2\,\Pi\,(r + dr)\,dz\,(\tau + d\tau)$

โดย L และ R = ความยาวและรัศมีของหัวขึ้นรูปที่ใช้ ตามลำดับ

∂P = ความดันตกคร่อม

r = ตำแหน่งบนรัศมี

dz และ dr = ขนาดของหน่วยย่อยของของไหล

จากการสมดุลแรงทั้งหมดจะได้ว่า

$$[-[P + (\partial P/\partial z)dz]\cancel{2\pi}\, r\, dr] + [P\cancel{2\pi}\, r\, dr\,] + [-\cancel{2\pi}\, r\, dz\, \tau] + [\cancel{2\pi}(r + dr)\, dz\, (\tau + d\tau)] = 0$$

$$[-[P + (\partial P/\partial z)dz]r\, dr] + [Pr\, dr\,] + [-\, r\, dz\, \tau] + [(r + dr)\, dz\, (\tau + d\tau)] = 0$$

$$\cancel{-\,P\, r\, dr} - (\partial P/\partial z)dz\, r\, dr \cancel{+\,P\, r\, dr} \cancel{-\, r\, dz\, \tau} \cancel{+\, r\, dz\, \tau} + r\, dz\, d\tau + dr\, dz\, \tau + dr\, dz\, d\tau = 0$$

$$r\,\cancel{dz}\,d\tau + dr\,\cancel{dz}\,\tau = (\partial P/\partial z)\cancel{dz}\, r\, dr$$

$$r\, d\tau + dr\ \ \tau = (\partial P/\partial z)\, r\, dr$$

$$\frac{\partial P}{\partial Z} = \frac{d\tau}{dr} + \frac{\tau}{r} \qquad \text{........ 1)}$$

สมการ 1) เป็นสมการเส้นตรงแบบเดฟเฟอเรนเชียล $y=\tau, P=\frac{1}{r}, Q=\frac{\partial P}{\partial z}, dx=dr$

$$\frac{dy}{dx}+Py=Q \quad \text{ซึ่งคือ} \quad ye^{\int Pdx}=\int Qe^{\int Pdx}dx \qquad \text{........ 2)}$$

ในกรณีนี้คือ $$e^{\int Pdx}=e^{\int \frac{dr}{r}}=e^{\log r}=r \qquad \text{........ 3)}$$

ดังนั้นจะได้ว่า $$\tau \cdot r=\frac{\partial P}{\partial z}\int rdr \qquad \text{........ 4)}$$

$$\tau=\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)\frac{r}{2}$$

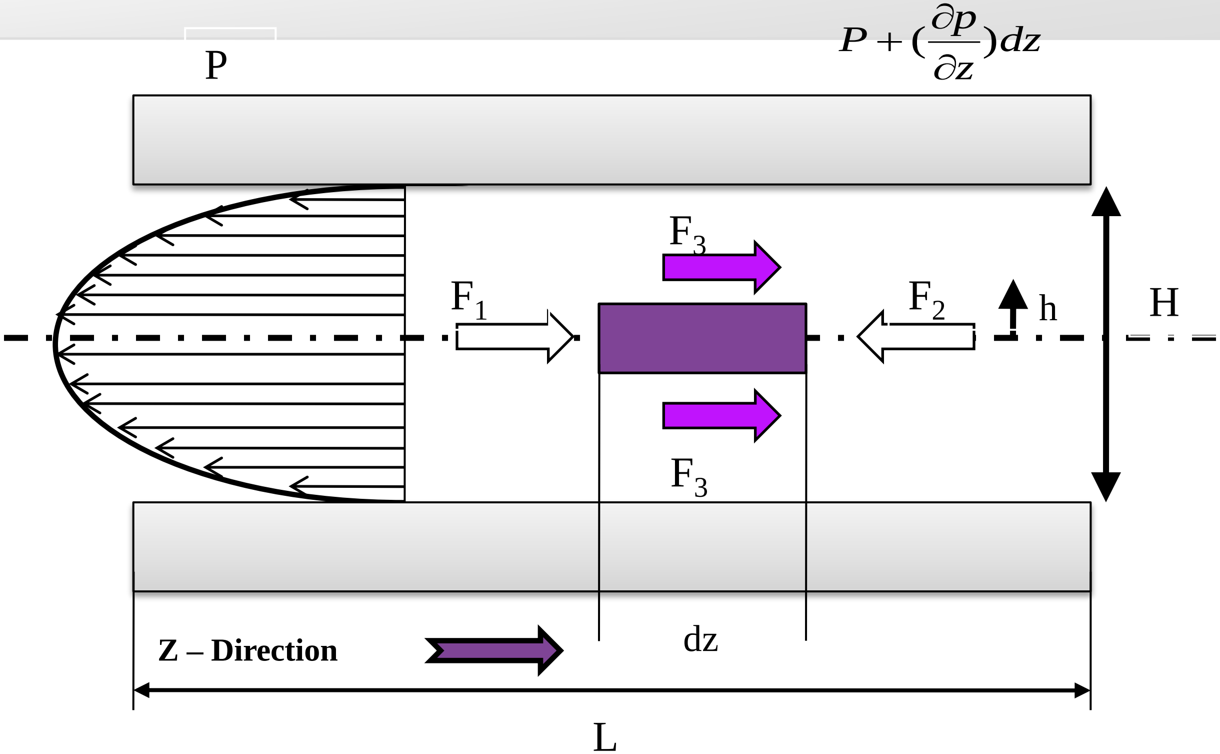
ค่าของความเค้นเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆ บนรัศมีตลอดความยาวของท่อการไหล สามารถหาได้จากสมการที่ 5

$$\tau=\frac{\Delta \mathrm{Pr}}{2L} \qquad \text{........ 5)}$$

ค่าของความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณผนังของท่อการไหล ซึ่งแสดงในสมการ 6

$$\tau_w=\frac{\Delta PR}{2L} \qquad \text{........ 6)}$$

การพิสูจน์สมการค่าความเค้นเฉือนในท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม



*ค่าความกว้าง (w) จะต้องมากกว่าค่าความสูง (H) มาก ประมาณ 10 เท่าตัวเป็นอย่างน้อย

ในสภาวะสมดุลที่คงที่แรงรวมที่มากระทำต่อหน่วยย่อยของของไหลเท่ากับ

$$\sum F = F_1 + F_2 + F_3 = 0 \qquad \text{........ 7)}$$

โดย $F_1 = 2hwP$

$$F_2 = -2hw\left[P + \left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)dz\right]$$

$$F_3 = 2wdz\tau$$

แทนค่าแรงต่างๆ เหล่านี้ในสมการ 7 จะได้เป็น

$$2hwP - 2hw\left[P + \left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)dz\right] + 2wdz\tau = 0$$

$$\cancel{2hwP} - \cancel{2hwP} - 2hw\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)dz + 2wdz\tau = 0$$

$$-2hw\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)\cancel{dz} + 2w\cancel{dz}\tau = 0$$

$$-2hw\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right) + 2w\tau = 0$$

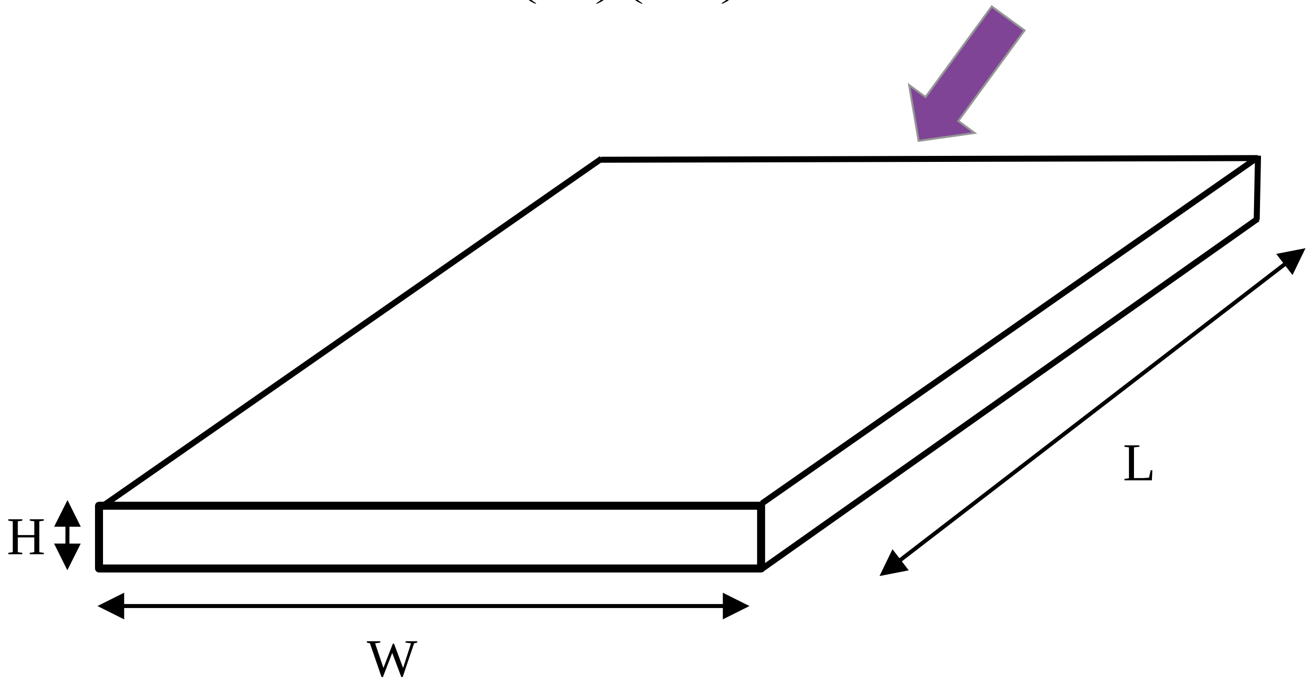
$$\tau = h\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right) \quad \text{........ 8)}$$

สำหรับการคำนวณหาค่าความเค้นเฉือนที่ตำแหน่ง h ใดๆ จากจุดศูนย์กลางถึงบริเวณใกล้ผนังท่อการไหล หากต้องการคำนวณค่าความเค้นเฉือนสูงสุด (คือที่ผนังท่อการไหล คือ ตำแหน่ง $\frac{H}{2}$) จะต้องใช้สมการ 9

$$\tau = \left(\frac{H}{2}\right)\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right) \quad \text{........ 9)}$$

หากทำการคำนวณค่าความเค้นเฉือนนี้ตลอดความยาว (L) ของท่อการไหลจะได้ค่าความเค้นเฉือน ตามสมการ 10

$$\tau_w = \left(\frac{H}{2}\right)\left(\frac{\Delta P}{L}\right) = \frac{H\Delta P}{2L} \qquad \text{........ 10)}$$



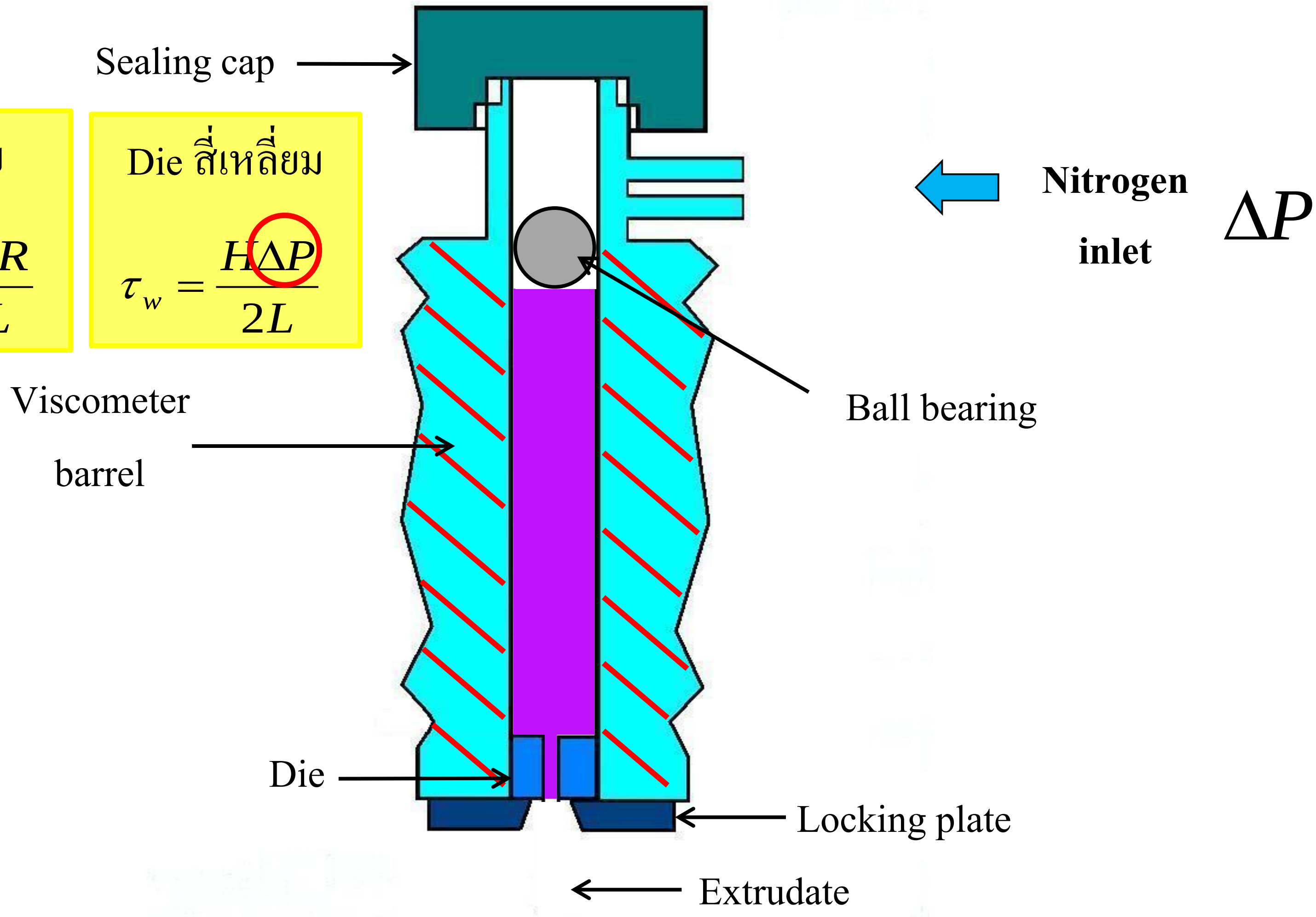
เครื่องรีโอมิเตอร์แบบควบคุมค่าความเค้นเฉือนแบบใช้ก๊าซความดัน

Die กลม

$$\tau_w = \frac{\Delta P R}{2L}$$

Die สี่เหลี่ยม

$$\tau_w = \frac{H \Delta P}{2L}$$



$$\Delta P = P_{nitrogeninlet}$$

$$\tau_w = \frac{\Delta P R}{2L}$$

$$\tau_w = \frac{H \Delta P}{2L}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{6Q}{W H^2}$$

$$Q = \frac{V}{t}$$

Density , Weight , Time

$$V = \frac{m}{D}$$

เครื่อง melt flow indexer

$$D = \frac{m}{V_1}$$

ได้จากน้ำหนักของพอลิเมอร์

ได้จากการคำนวณพื้นที่ของกระบอก

หลอมเหลวกับความสูงของแท่งขับที่ลดลง

ของไหลนิวโตรเนียน (Newtonian fluid)

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

ของไหลนอนนิวโตรเนียน (non – Newtonian fluid)

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n$$

n = ดัชนีการไหล (power law index)

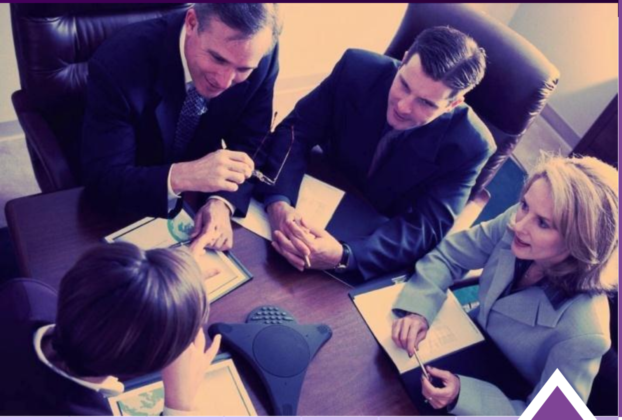
K = ค่าคงที่การไหล (consistency constant)

ข้อดี

- ป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นภายในกระบอกหลอม
- ลดการเสียดสีที่เกิดขึ้นที่บริเวณผนังท่อการไหล เมื่อเทียบกับระบบขับเคลื่อนโดยใช้แท่งขับ เนื่องจากพื้นที่สัมผัสระหว่างบอลกับกระบอกหลอมมีค่าคงที่ตลอด ส่วนระบบแท่งขับจะมีแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะการทดลอง

ข้อเสีย

- ต้องอาศัยข้อมูลการทดสอบอื่นๆ ประกอบการคำนวณ เช่น ความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลอมเหลว ทำให้ยุ่งยากต่อการทดสอบ และเกิดความผิดพลาดได้มากกว่าที่ได้ข้อมูลจากแหล่งเดียวกัน
- มีความยุ่งยากต่อการนำลูกบอลออกมาทำการทดสอบครั้งใหม่
- มีข้อผิดพลาดเรื่องความดันตกคร่อมที่วัดได้มากกว่าการใช้เครื่องรีโอมิเตอร์แบบควบคุมอัตราเครียดเฉือน เนื่องจากเครื่องรีโอมิเตอร์แบบควบคุมความเค้นเฉือนใช้ความดันตกคร่อมบริเวณกระบอกหลอมแทนความดันตกคร่อมบริเวณหัวขึ้นรูป
- ราคาเครื่องสูงกว่าเครื่องรีโอมิเตอร์แบบควบคุมอัตราเครียดเฉือน



Thank You!