



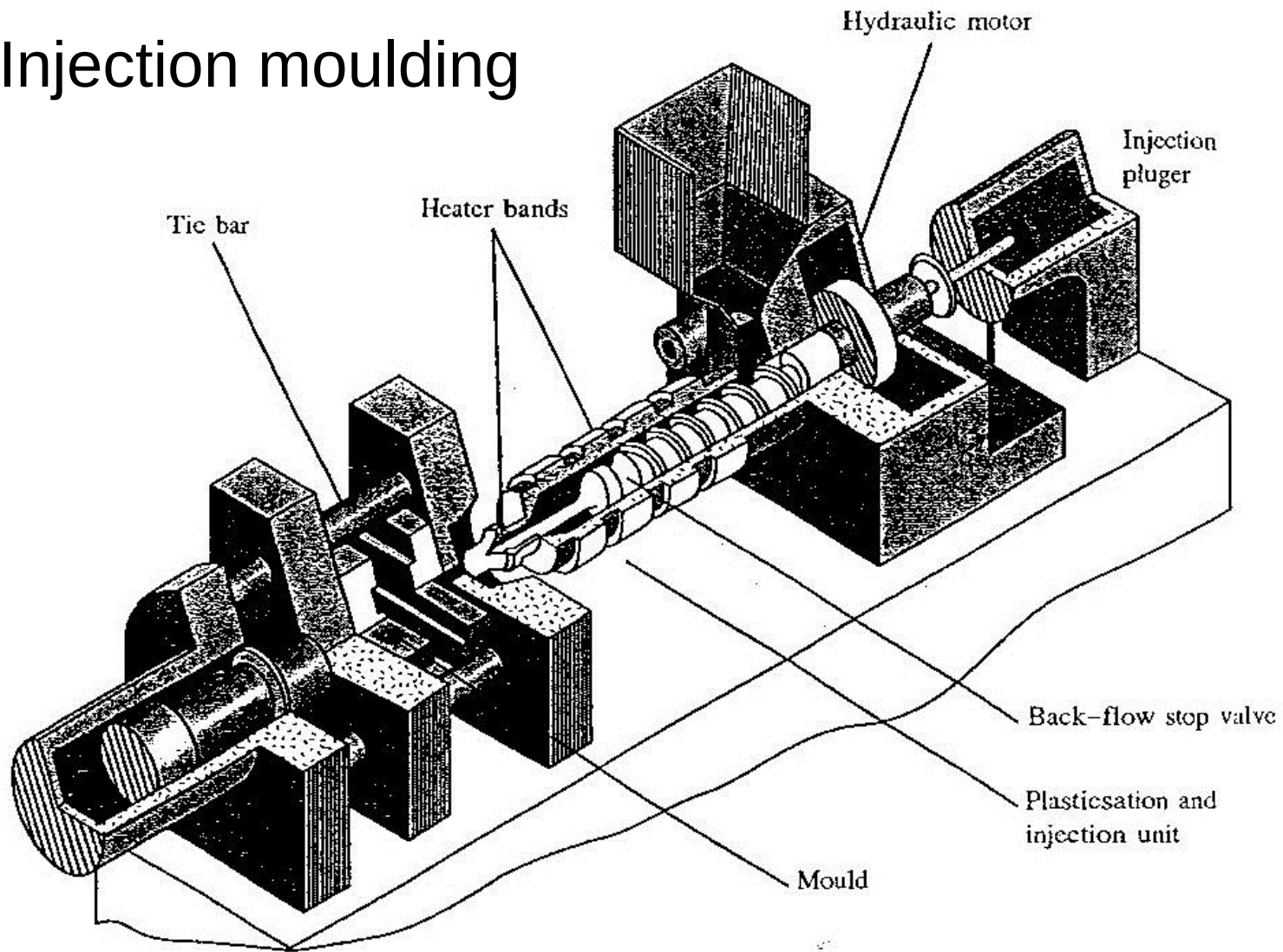
MTT 651: Polymer Rheology (Rheology in Mould Based Processing)

Prof. Dr. Narongrit Sombatsompop

Polymer PROcessing and Flow (P-PROF) Group

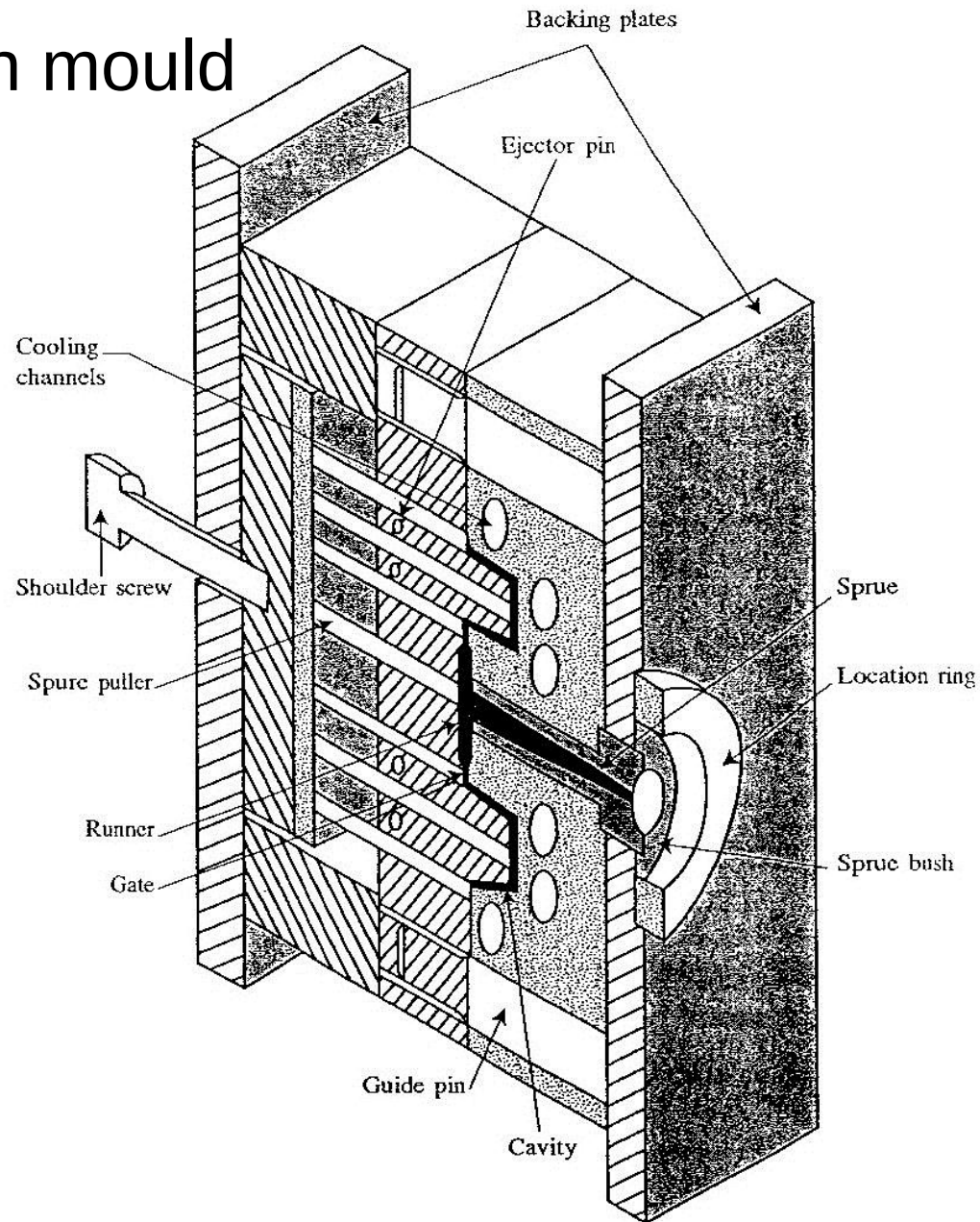
King Mongkut's University of Technology Thonburi

Injection moulding



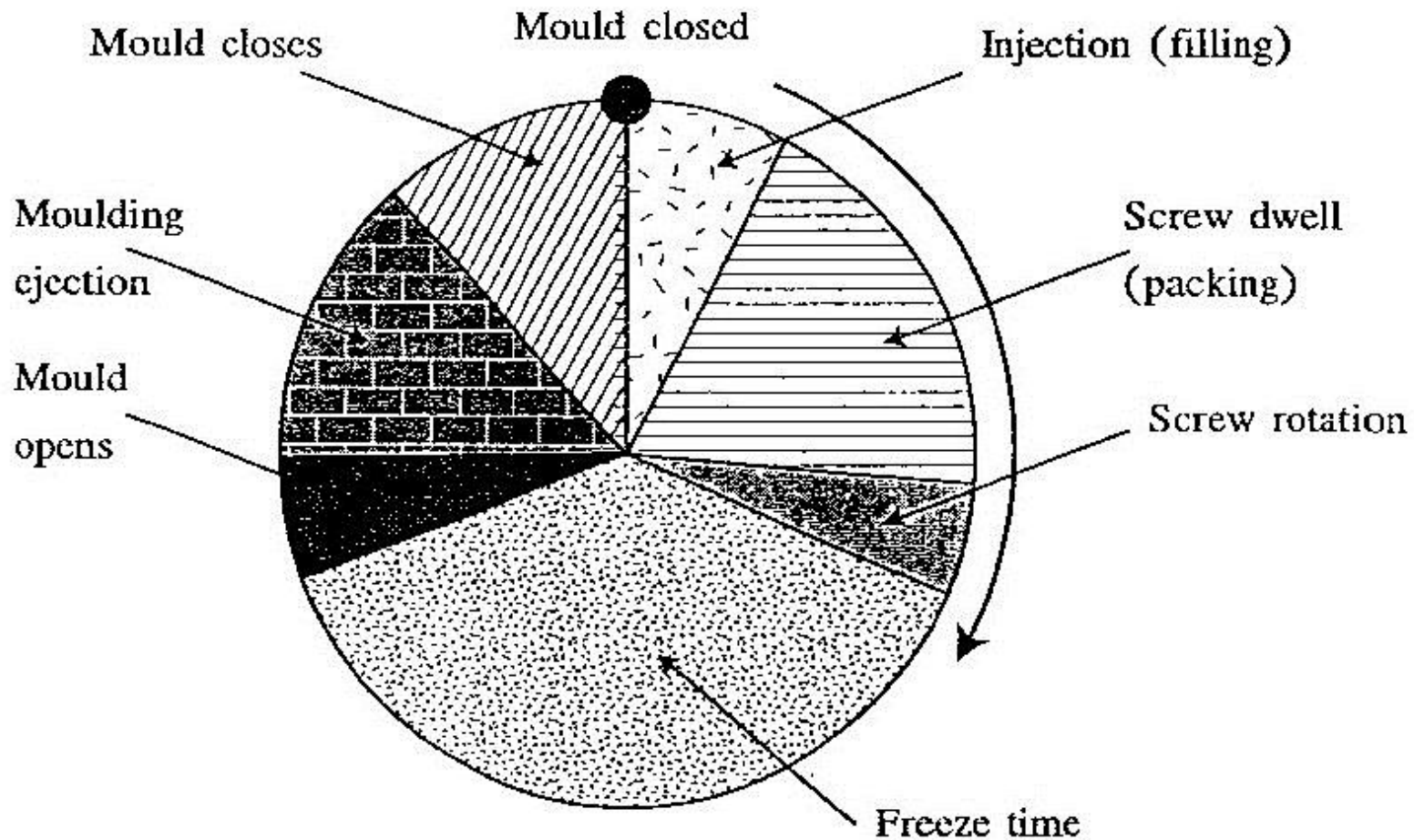
รูป 8.1 เครื่องฉีดขึ้นรูปที่ใช้ในงานผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ [Sombatsompop; 1997]

Injection mould



รูป 8.2 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ในงานฉีดขึ้นรูป [Belofsky; 1995]

Injection cycle



รูป 8.3 ขั้นตอนการผลิตของกระบวนการฉีดขึ้นรูปแบบ “รอบการผลิตแบบนาฬิกา”
[Osswald & Menges; 2003]

Calculations of pressure drop in injection moulding

$$P_{\text{total}} = \Delta P_B + P_m$$

P_{total} = ความดันรวม

ΔP_B = ปริมาณความดันที่ตกคร่อม

ขณะเต็มพอลิเมอร์ไหล

P_m = ปริมาณความดันสูงสุด

Calculations of pressure drop in injection moulding

$$F = P.A$$

$$F = \int_0^R P_r 2\pi r dr$$

$$P_r = P_m \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^n \right]$$

P = ความดันที่แม่พิมพ์ได้รับ

A = พื้นที่รับแรงที่ตั้งฉากกับแนวแรง

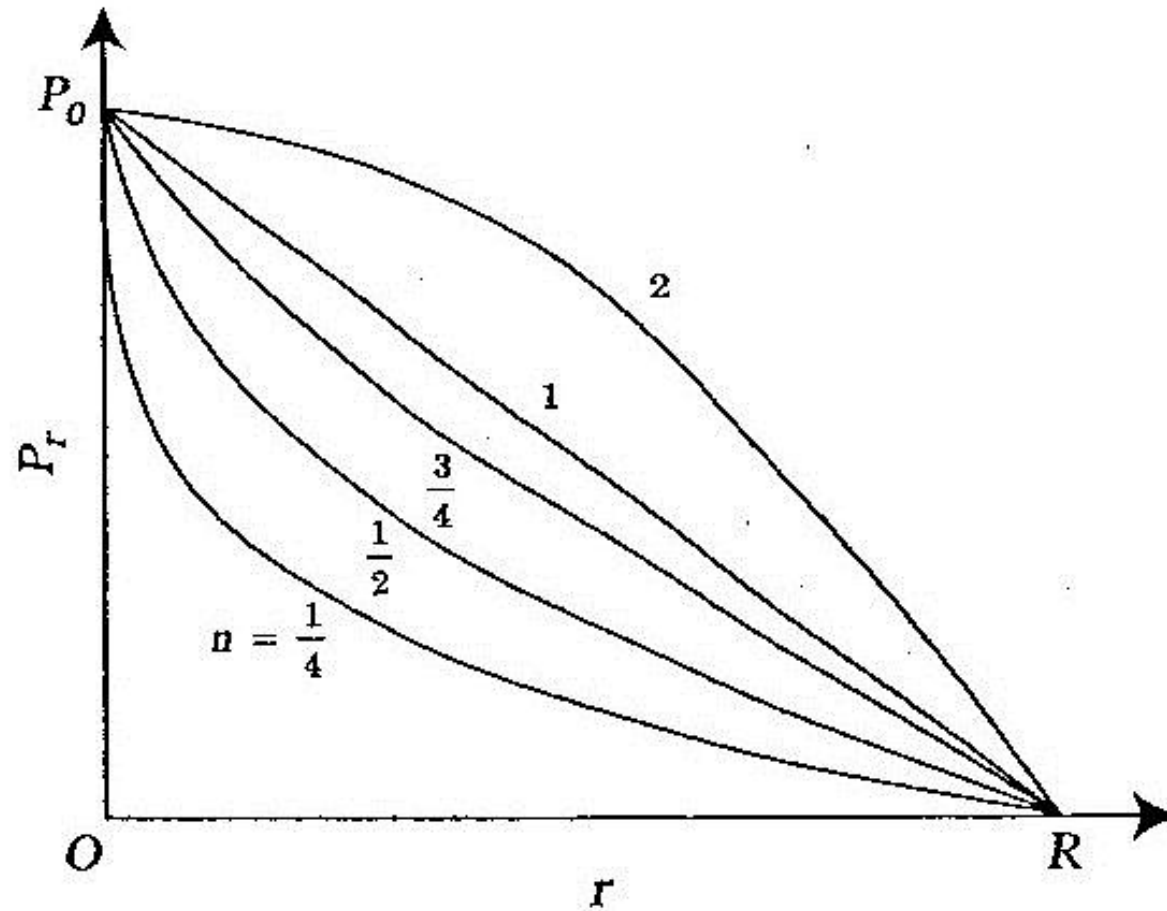
เฉพาะที่เปลี่ยนพื้นที่จริง (projected area)

n = ค่าดัชนีการไหล

Calculations of pressure drop in injection moulding

$$F = \int_0^R P_m \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^n \right] 2\pi r \, dr$$

$$F = P_m \pi R^2 \left(\frac{n}{n+2} \right)$$



รูป 8.4 ค่าความดันในแม่พิมพ์ n ระยะต่าง ๆ บนรัศมีของชั้นงานนี้ดวงกลมที่มีค่าต่าง ๆ
[Brydson; 1981]

Temperature profiles in mould

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

T = อุณหภูมิ (°C)

t = เวลา(s)

X = ระยะทางหรือขนาด
ของช่องการไหล (m)

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

k = ค่าการนำความร้อนของพอลิเมอร์ (W.m⁻¹.K⁻¹)

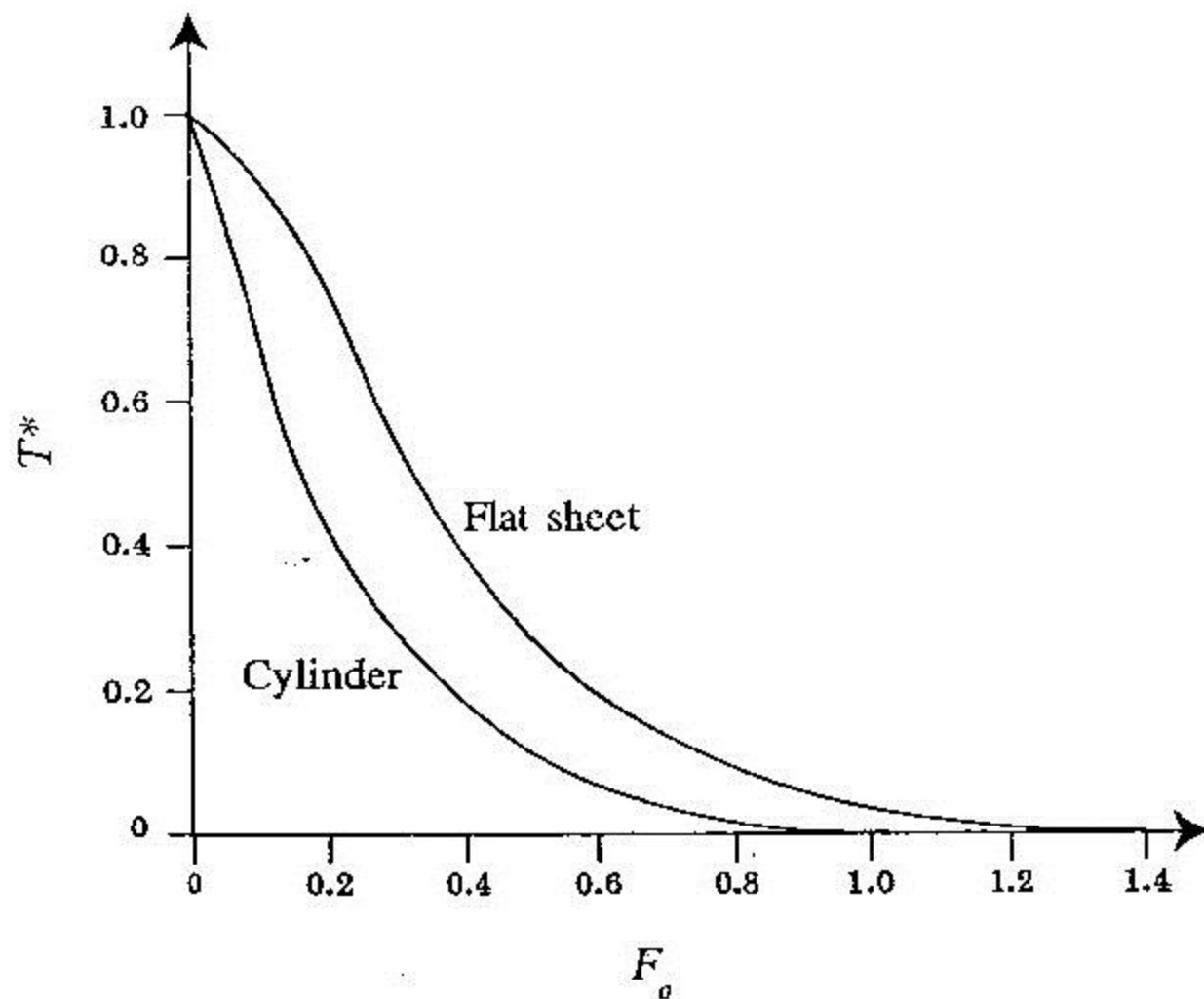
ρ = ค่าความหนาแน่น (kg.m⁻³)

C_p = ค่าความจุความร้อน (J.kg⁻¹.C⁻¹)

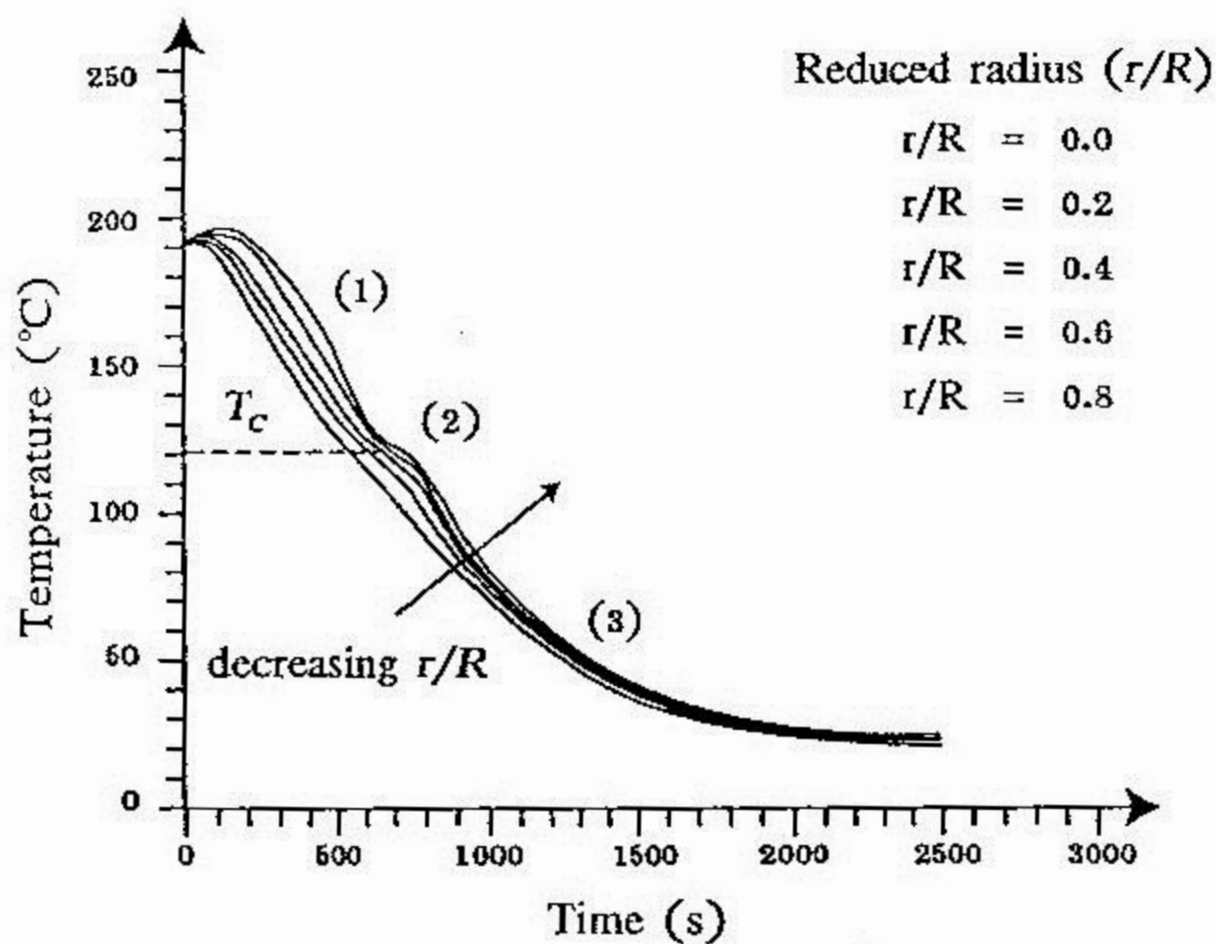
$$T^* = \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_2}$$

$$F_0 = \frac{\alpha t}{x^2}$$

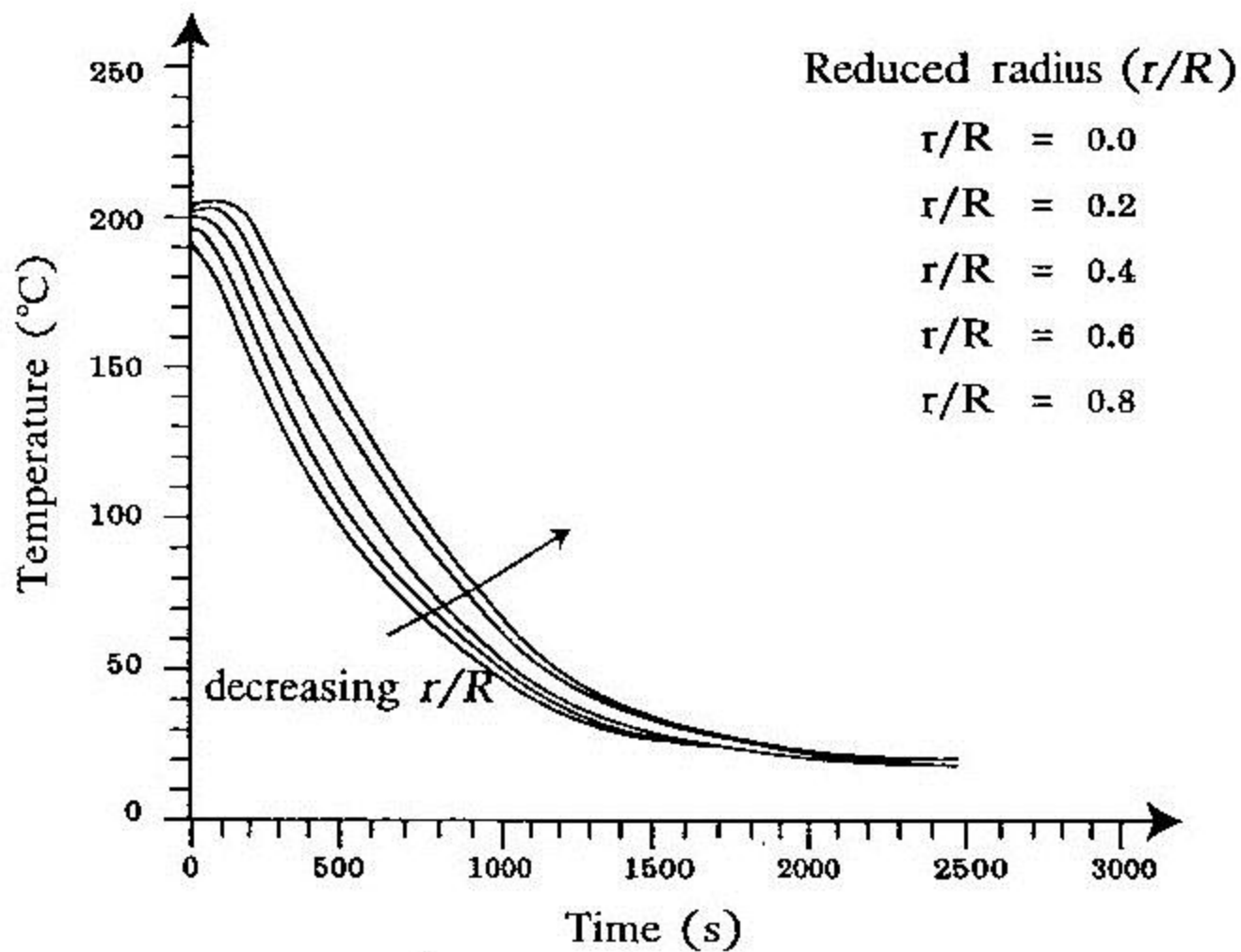
- T_1 = อุณหภูมิเริ่มต้นของเทอร์โมลอมเหลวก่อนกระบวนการระบายความร้อน (°C)
 T_2 = อุณหภูมิของตัวกลางที่ทำให้เกิดการเย็นตัวหรืออุณหภูมิของแม่พิมพ์ (°C)
 T_3 = อุณหภูมิที่โพลีเมอร์ลอมเหลวเริ่มแข็งตัว (°C)
 x = ครึ่งหนึ่งของความหนาหรือขนาดของหน้าตัดช่องการไหล (m)
 t = เวลาที่ใช้ในการเย็นตัว (s)



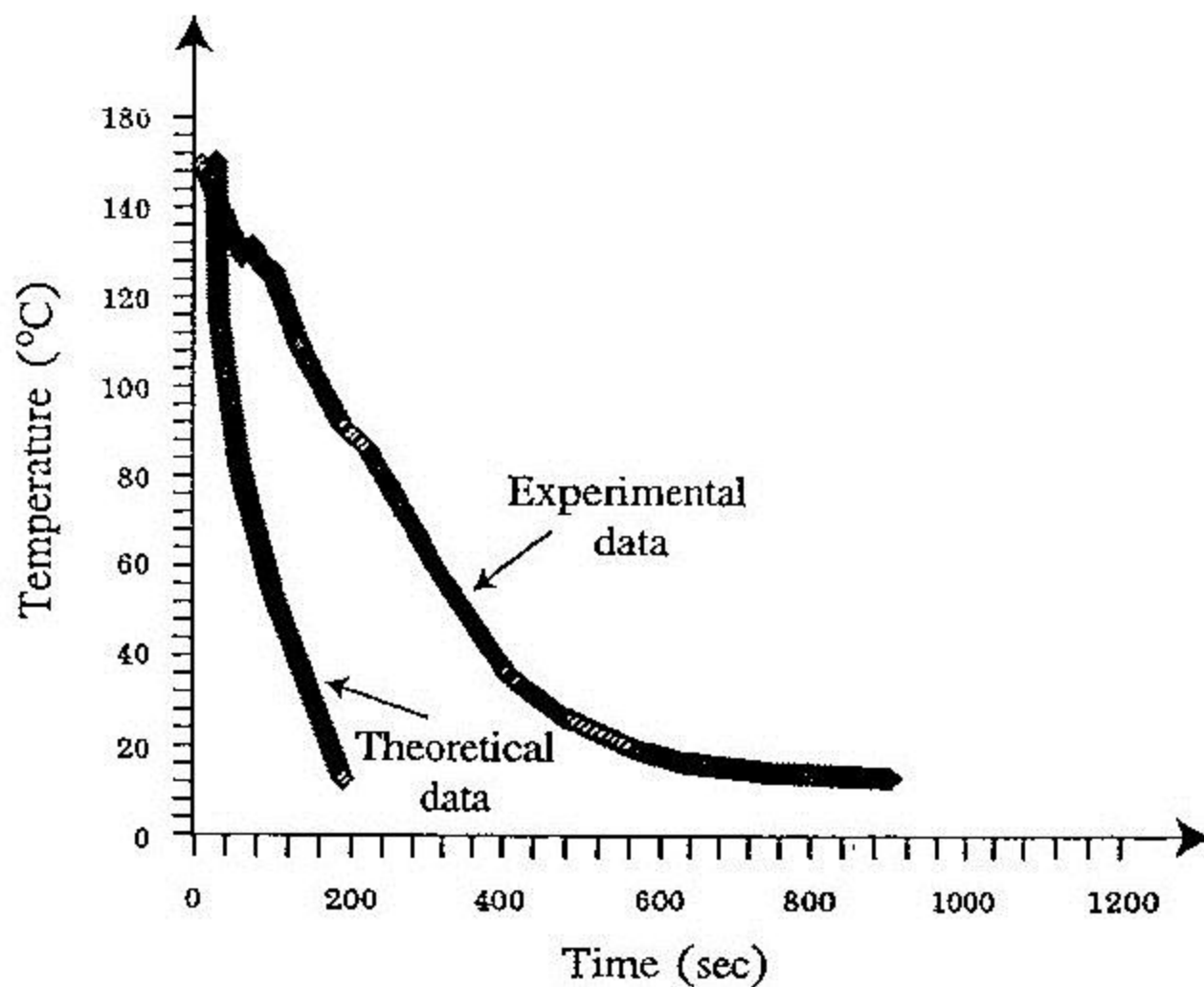
รูป 8.7 กราฟมาตรฐานความล้มพันธ์ระหว่างค่าการกระจายอุณหภูมิเชิงเส้น (T^*) และค่าตัวเลขฟูเรียล (F_o) [Morton-Jones; 1993]



รูป 8.5 การกระจายอุณหภูมิของพอลิพรอฟิลีนหลอมเหลวขณะเย็นตัว [Sombatsompop & Tangsongcharoen; 2001]

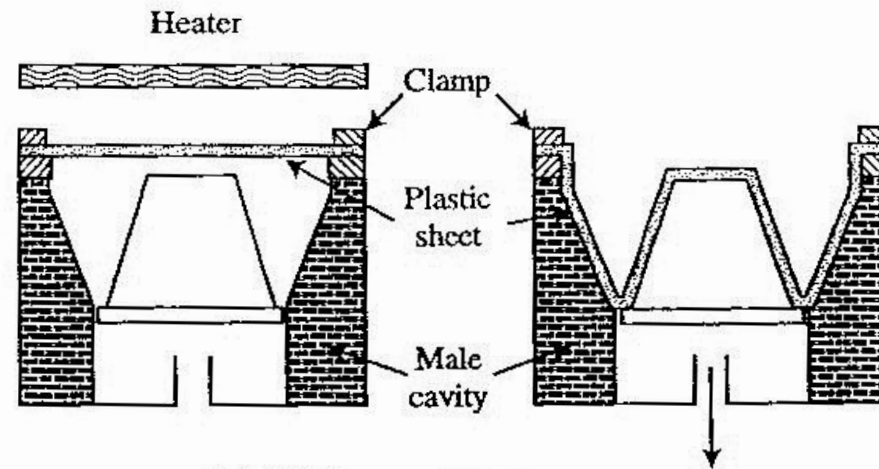


รูป 8.6 การกระจายอุณหภูมิของพอลิस्टไร์นหลอมเหลวขณะเย็นตัว [Sombatsompop & Tangsongcharoen; 2001]

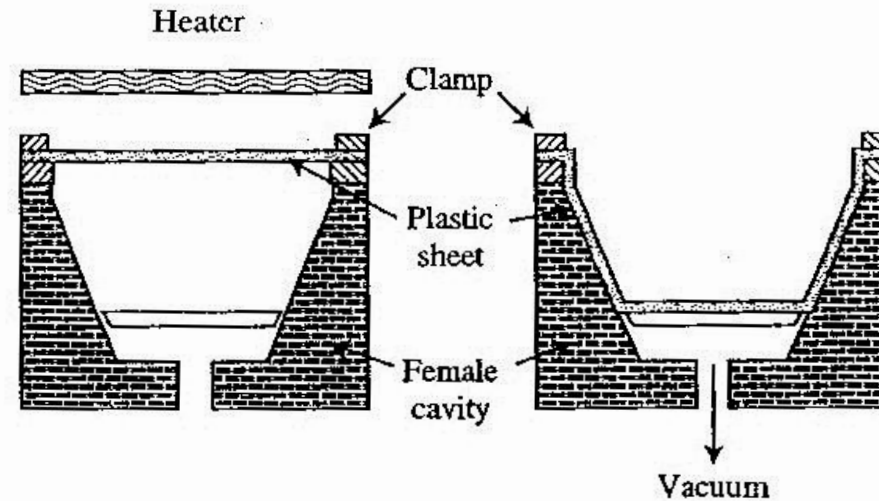


รูป 8.8 การเปรียบเทียบเส้นกราฟอุณหภูมิของพอลิพรอพิลีนขณะเย็นตัวที่ได้จากสมการฟูเรียล และที่ได้จากการทดลอง [Sombatsompop *et al*, 1999]

Vacuum forming

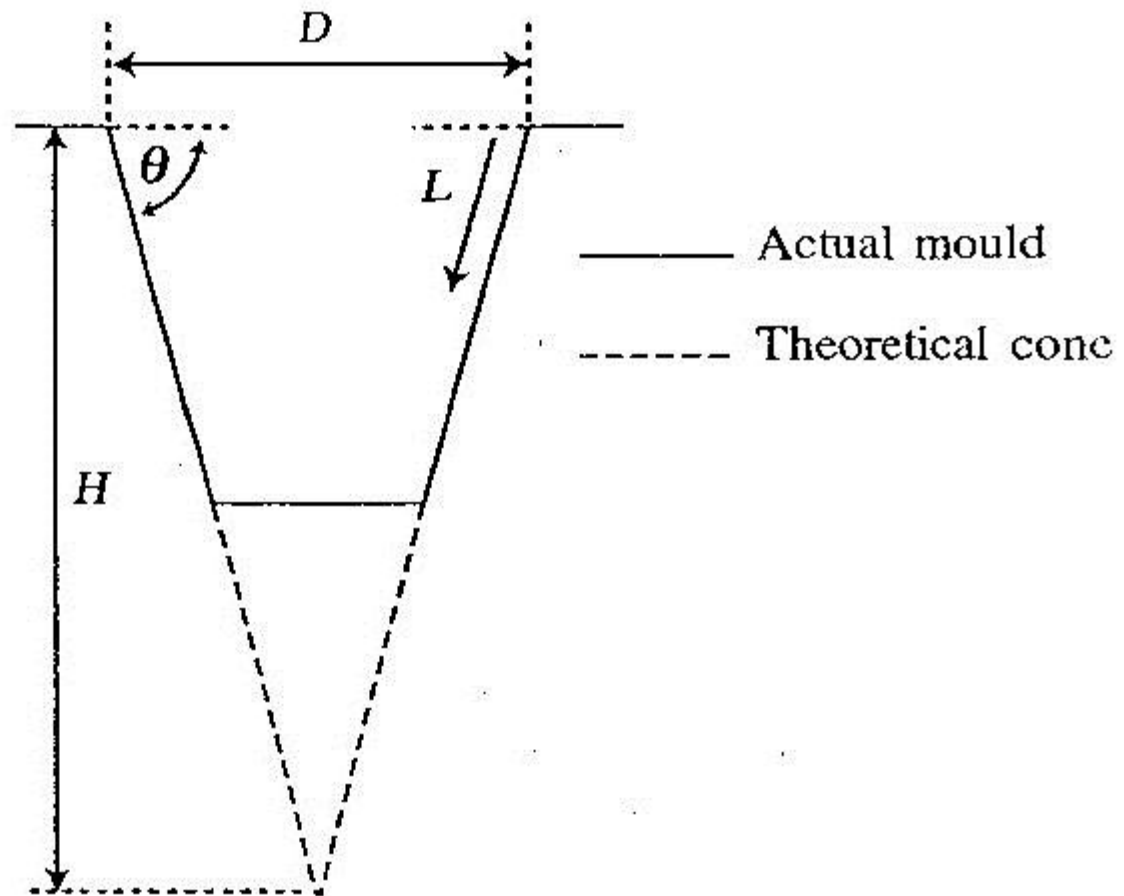


(a) Male vacuum forming



(b) Female vacuum forming

รูป 8.9 รูปแบบกระบวนการผลิตโดยใช้สุญญากาศ (a) แม่พิมพ์ตัวผู้ และ (b) แม่พิมพ์ตัวเมีย [Sombatsompop; 1997]



รูป 8.10 ส่วนประกอบของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าความหนาเฉลี่ยของชิ้นงาน
ที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบใช้สูญญากาศ [Crawford; 1997]

Calculations of article thickness in vacuum forming

$$\frac{h}{h_0} = \left[\frac{1 + \cos\theta}{2} \right] \left[\frac{H - L}{H} \right]^{\sec\theta - 1}$$

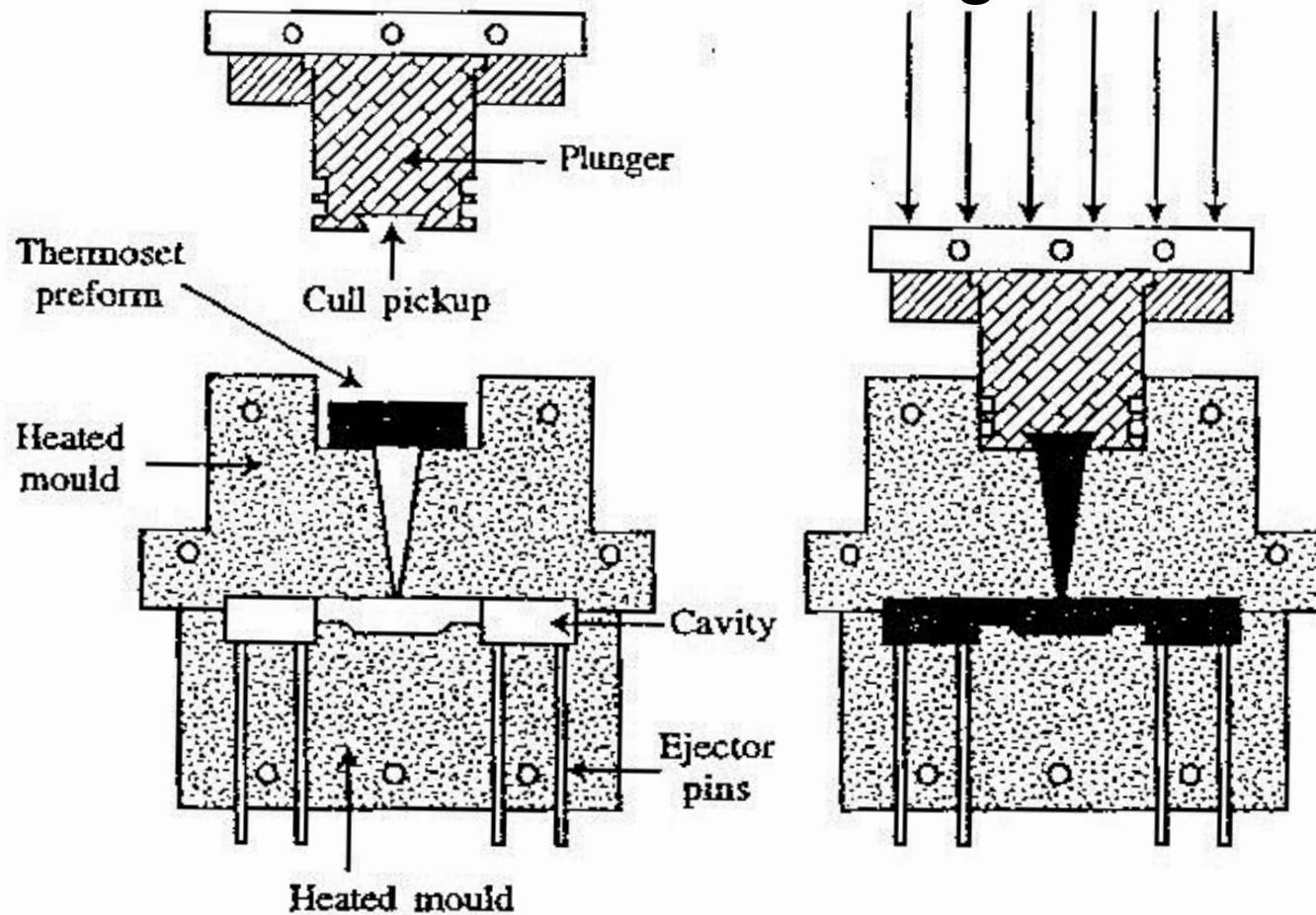
h = ความหนาเริ่มต้นของแผ่นพอลิเมอร์

h_0 = ความหนาเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์หลังการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ

L = ความสูงเอียงเทียบข้างของผลิตภัณฑ์

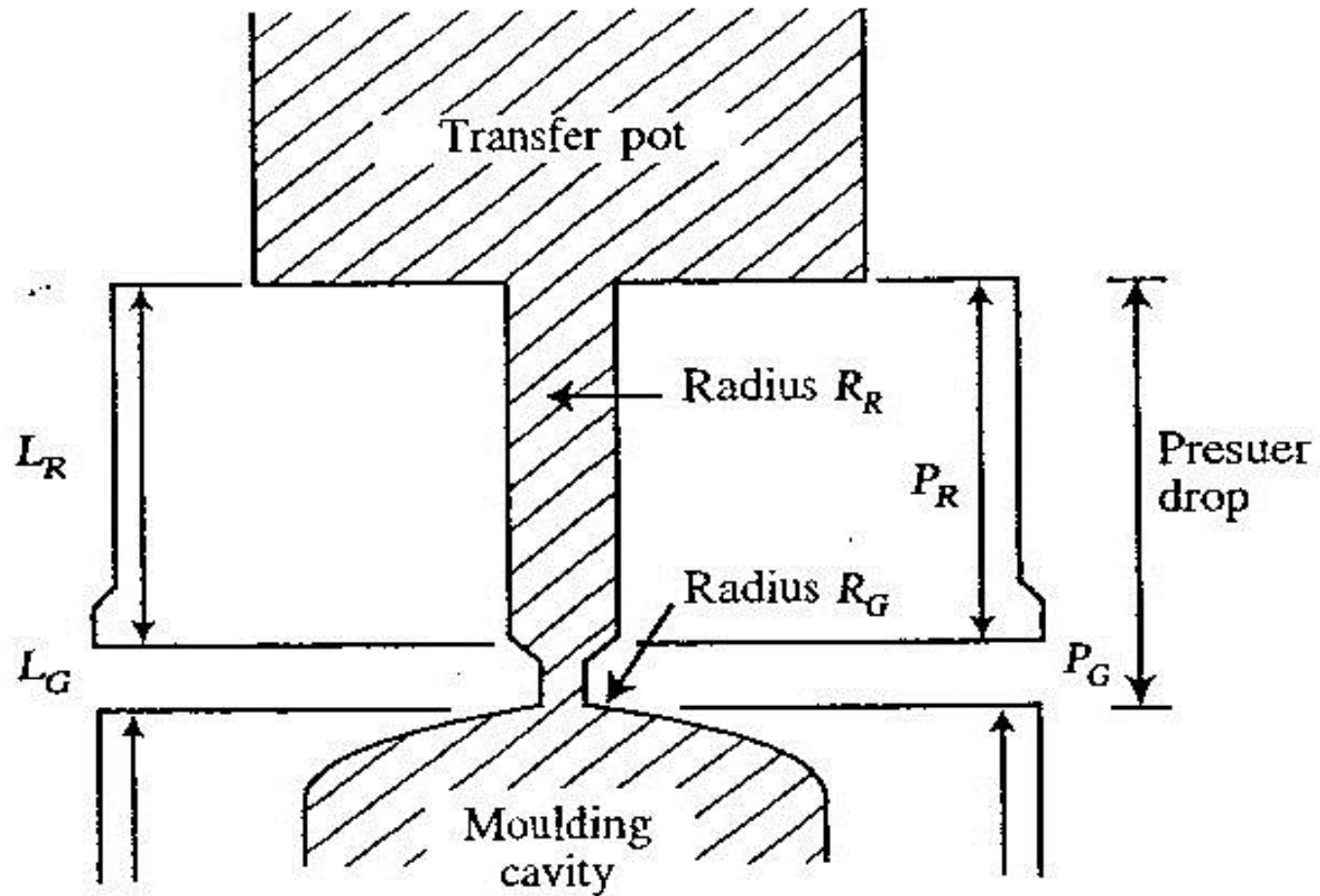
H = ความสูงตั้งฉาก

Transfer moulding



รูป 8.11 กระบวนการผลิตและขึ้นรูปแบบอัดกำลังส่งผ่าน [Sombatsompop; 1997]

Calculations of pressure drop in transfer moulding



รูป 8.12 โครงสร้างของการขึ้นรูปแบบอัดกำลังส่งผ่าน [Brydson; 1981]

Calculations of pressure drop in transfer moulding

$$\frac{P_R}{P_G} = \frac{L_R}{L_G} \left(\frac{R_G}{R_R} \right)^{3n+1}$$

L_R และ R_R = ความยาวและขนาดรัศมีของทางวิ่ง ตามลำดับ

L_G และ R_G = ความยาวและขนาดรัศมีของทางเข้าแม่พิมพ์ ตามลำดับ

n = ค่าดัชนีการไหล