

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

2.1 การถ่ายโอนมวล

การถ่ายโอนมวลเกิดขึ้นจาก การที่องค์ประกอบหนึ่งในของผสมเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า หรือ มีผลต่างของความเข้มข้น (concentration gradient) ตัวอย่างของการถ่ายโอนมวล เช่น การแพร่ของควันในอากาศ การถ่ายโอนตัวถูกละลายระหว่างเฟสในเครื่องดูดซึมแก๊ส และในหอทำความเย็น การผสมครีมหรือน้ำตาลในกาแฟ

เมื่อใส่ผลึกน้ำตาลในกาแฟแล้วปล่อยให้เกิดการละลาย โมเลกุลของน้ำตาลจะแพร่อย่างช้าๆ จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงออกไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ จนกระทั่งมีความเข้มข้นเท่ากันทั้งแก้ว การแพร่แบบนี้เป็นการแพร่ที่เกิดจากการเคลื่อนที่แบบอิสระของโมเลกุล เรียกว่า การถ่ายโอนมวลจากการแพร่ของโมเลกุล(molecular diffusion) แต่ถ้าเป็นการปล่อยควันออกไปสู่บรรยากาศ ในเวลาที่มีลมแรง ความเร็วลมจะทำให้เกิดการแพร่ที่ไม่แน่นอน เรียกว่า การกระจายหรือ การแพร่แบบปั่นป่วน(turbulent diffusion) [16]

การถ่ายโอนมวล เกิดขึ้นได้ทั้งจากการแพร่(diffusion) และการพามวล(convection) ซึ่งเป็นการถ่ายโอนมวลโดยการอาศัยตัวกลางที่เป็นของไหลที่มีการเคลื่อนที่ และมีการถ่ายโอนมวลเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้น การพามวลนี้ยังแบ่งเป็น 2 กรณี คือ การพาเนื่องจากมีแรงภายนอกมากระทำ(forced convection) ซึ่งตัวกลางจะเคลื่อนที่เนื่องจากมีแรงภายนอกมากระทำ และ การพามวลแบบอิสระ (free convection) ที่เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่น ทำให้ตัวกลางเกิดการเคลื่อนที่ ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติไม่ได้อาศัยแรงภายนอกมากระทำ โดยทั่วไปการแพร่จะมีอัตราการถ่ายโอนมวลที่ช้ากว่าการพามวล

2.1.1 ทฤษฎีการแทรกซึม (penetration theory) [5]

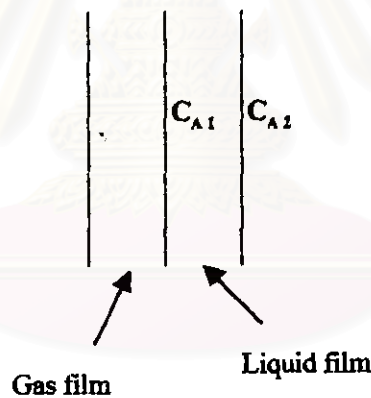
ทฤษฎีนี้เสนอขึ้นมาโดย Higbie ในปี 1935 เพื่อการทำนายการถ่ายโอนมวลระหว่างเฟสในเครื่องดูดซึม(adsorber) เครื่องสกัด(extractors) เป็นต้น ซึ่งเป็นทฤษฎีที่มีข้อขัดแย้งกับทฤษฎีเดิมที่กล่าวถึงสภาวะคงที่ในแผ่นฟิล์มบาง (film theory)

เมื่อพิจารณาฟองอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น D_p ลอยขึ้นผ่านของเหลวที่ไหลสวนทางกับฟองอากาศในคอลัมน์ดูดซึม(absorption column) จะมีการถ่ายโอนตัวถูกละลายเข้าไปใน

ของเหลวที่ไหลผ่าน ถ้าให้ฟองอากาศมีอัตราการไหลเป็น v บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 เฟส จะมีของเหลวใหม่เข้ามาแทนที่ ในช่วงเวลา t_0 ซึ่งจะเป็นระยะทางเทียบได้เท่ากับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของฟองอากาศ หรือกล่าวได้ว่า $t_0 \approx Dp/v$ (ไม่คิดความยาวของส่วนโค้งของฟองอากาศได้ เนื่องจากระยะทางที่เกิดการแทรกซึมมันน้อยมาก)



รูปที่ 2.1 ภาพฟองอากาศไหลขึ้น



รูปที่ 2.2 ภาพ Two-film model

จากรูปที่ 2 พบว่าที่บริเวณระหว่างเฟสมีความเข้มข้น C_{A1} และความเข้มข้นของเหลวที่ไหลผ่านเป็น C_{A2} แสดงเป็นสมการ (1.1) อธิบายอัตราการถ่ายโอนมวลที่เวลา t โดยไม่มีผลจากการไหลผ่านของของเหลว

โดย J_{A0} คือ ฟลักซ์ หรือปริมาณมวลที่เกิดการถ่ายโอนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา

D_{AB} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่

$$J_{A0} \equiv J_{AX}|_{x=0} = -D_{AB} \left. \frac{\partial C_A}{\partial x} \right|_{x=0} = \frac{D_{AB}(C_{A1} - C_{A2})}{\sqrt{\pi \cdot D_{AB} t}} \quad (1.1)$$

ถ้า k_c คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล
จะได้สมการฟลักซ์เป็นดังสมการ (1.2)

$$J_{A0} \equiv J_{AX}|_{x=0} = k_c(C_{A1} - C_{A2}) \quad (1.2)$$

เมื่อเทียบสมการ (1.1) และ (1.2) โดยพิจารณาว่าฟลักซ์ของทั้งสองสมการมีค่าเท่ากัน จะได้ว่า

$$k_c = \left(\frac{D_{AB}}{\pi t_D} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.3)$$

ค่าของฟลักซ์โดยเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา t_0 จะได้จากการอินทิเกรตสมการ (1.1) ตั้งแต่ $t = 0$ ถึง $t = t_0$ และหารด้วย t_0 จะได้เป็นสมการ

$$\bar{J}_{A0} \equiv \bar{J}_{AX}|_{x=0} = 2(C_{A1} - C_{A2}) \left(\frac{D_{AB}}{\pi t_D} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.4)$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลจะได้เป็น

$$\bar{k}_c = 2 \left(\frac{D_{AB}}{\pi t_D} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.5)$$

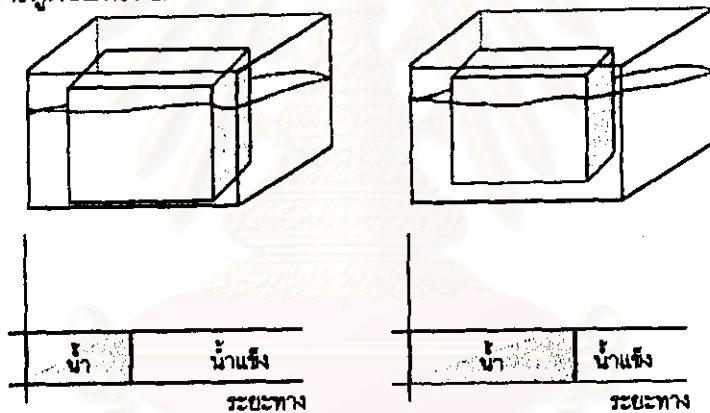
เนื่องจาก $t_D = \frac{D_p}{v}$ ดังนั้น

$$\bar{k}_c = 2 \left(\frac{D_{AB} v}{\pi \cdot D_p} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.6)$$

สมการนี้จะใช้กับน้ำบริสุทธิ์ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง $0.3 \text{ cm.} < D_p < 0.5 \text{ cm.}$ สมการ (1.5) และ (1.6) แสดงให้เห็นว่าค่า k_c จะขึ้นกับค่ารากที่สองของสัมประสิทธิ์การแพร่

2.2 ขอบเขตที่มีการเคลื่อนที่ (moving boundaries) [17]

การแพร่ที่น่าสนใจอีกประเภทหนึ่ง คือ การแพร่ที่ไม่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแต่เป็นการแพร่ที่เกิดจากขอบเขตของภูมิภาคของระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมซึ่งสาเหตุอาจมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้สสารเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทันทีทันใด เช่น การละลายของน้ำแข็ง จากเดิมน้ำแข็งมีภูมิภาคเป็นของแข็งเมื่อถูกความร้อนเปลี่ยนเป็นของเหลว ขอบเขตของของแข็งลดลงอย่างเห็นได้ชัด เหมือนกับน้ำแพร่เข้าไปในน้ำแข็งทั้งที่โมเลกุลของน้ำไม่ได้เกิดการเคลื่อนที่ใดๆ อาจกล่าวได้ว่าเป็นระบบที่ก่อนหน้าจะเกิดการแพร่ความเข้มข้นเป็นศูนย์ แต่หลังจากเกิดกระบวนการแพร่ที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะทำให้ความเข้มข้นมีค่าสูงสุดโดยทันที ดังเช่นกรณีของน้ำกลายเป็นน้ำแข็งเกิดจากความร้อนไหลผ่านตัวกลางทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟส เป็นการดูดซับหรือปลดปล่อยความร้อนแฝงของระบบ



รูปที่ 2.3 การแพร่ที่ทำให้เกิดขอบเขตเคลื่อนที่โดยโมเลกุลของน้ำไม่มีการเคลื่อนที่

การเกิดขอบเขตนั้นไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นเฉพาะการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนสถานะเท่านั้น การแทรกซึมของของเหลวแพร่ผ่านเข้าไปในแผ่นพอลิเมอร์หรือเส้นใยก็เป็นการแพร่ที่ทำให้เกิดขอบเขตมีการเคลื่อนที่ จะสามารถสังเกตพบขอบเขตได้โดยการใช้กล้องส่องดู ในความแตกต่างของความเข้มข้นที่ไม่ต่อเนื่องกับระยะทางซึ่งจะพิจารณาเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ต่อเนื่องของสัมประสิทธิ์การแพร่กับความสัมพันธ์ของความเข้มข้น

2.2.2 การขยายขนาดแบบสมมาตรในแนวรัศมี

ขนาดของเฟสของทรงกลมหรือทรงกระบอกที่เกิดขึ้นใหม่ จะไม่คิดค่ารัศมีที่เริ่มต้น แต่จะคิดรัศมีที่จุดสมดุล ณ บริเวณพื้นผิว

จาก Frank (1950) ให้ ϕ = concentration

t = time

r = radius

D = diffusivity coefficient

และที่สมการ r ไม่ขึ้นกับเวลา

จาก

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(D r \cdot \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) \dots\dots\dots(1.7)$$

ให้

$$S = \frac{r}{(Dt)^{\frac{1}{2}}}$$

ดังนั้น

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{r}{D^{\frac{1}{2}}} \left(-\frac{1}{2} \right) \frac{1}{t^{\frac{3}{2}}} = \frac{-r}{2D^{\frac{1}{2}}t^{\frac{3}{2}}}$$

$$\frac{\partial S}{\partial r} = \frac{1}{(Dt)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{d\phi}{dS} \cdot \frac{\partial S}{\partial t} = \frac{d\phi}{dS} \left(\frac{-r}{2D^{\frac{1}{2}}t^{\frac{3}{2}}} \right) \dots\dots\dots(1.8)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial r} = \frac{d\phi}{dS} \cdot \frac{\partial S}{\partial r} = \frac{d\phi}{dS} \cdot \frac{1}{(Dt)^{\frac{1}{2}}}$$

$$D r \cdot \frac{\partial \phi}{\partial r} = D r \cdot \frac{1}{(Dt)^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{d\phi}{dS}$$

$$= D \cdot \frac{r}{(Dt)^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{d\phi}{dS} = D \cdot S \cdot \frac{d\phi}{dS}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(D r \cdot \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) = \frac{d}{dS} \left(D S \cdot \frac{d\phi}{dS} \right) \cdot \frac{\partial S}{\partial r} = \frac{D}{(Dt)^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{d}{dS} \left(S \cdot \frac{d\phi}{dS} \right)$$

$$= \frac{D^{\frac{1}{2}}}{t^{\frac{1}{2}}} \left[S \cdot \frac{d^2 \phi}{dS^2} + \frac{d\phi}{dS} \right] \dots\dots\dots(1.9)$$

แทน (1.8) และ (1.9) ใน (1.7)

$$\begin{aligned} \frac{d\phi}{dS} \left(\frac{-r}{2D^2t^2} \right) &= \frac{1}{r} \cdot \frac{D^2}{t^2} \left[S \cdot \frac{d^2\phi}{dS^2} + \frac{d\phi}{dS} \right] \\ \frac{d\phi}{dS} \cdot \frac{-r}{2D^2t^2} \cdot \frac{1}{D^2} &= S \cdot \frac{d^2\phi}{dS^2} + \frac{d\phi}{dS} \\ \frac{d\phi}{dS} \cdot \frac{-r^2}{2Dt} &= S \cdot \frac{d^2\phi}{dS^2} + \frac{d\phi}{dS} \\ \frac{d\phi}{dS} \left(\frac{-r^2}{2Dt} - 1 \right) &= S \cdot \frac{d^2\phi}{dS^2} \\ \frac{d\phi}{dS} \left(\frac{-r^2}{2DtS} - \frac{1}{S} \right) &= \frac{d^2\phi}{dS^2} \\ \frac{d\phi}{dS} \left(\frac{-S^2}{2S} - \frac{1}{S} \right) &= \frac{d^2\phi}{dS^2} \\ \frac{d\phi}{dS} \left(\frac{-S}{2} - \frac{1}{S} \right) &= \frac{d^2\phi}{dS^2} \\ \therefore \frac{d^2\phi}{dS^2} &= - \left(\frac{S}{2} + \frac{1}{S} \right) \frac{d\phi}{dS} \\ \frac{d^2\phi}{dS^2} + \left(\frac{S}{2} + \frac{1}{S} \right) \frac{d\phi}{dS} &= 0 \end{aligned}$$

ให้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\frac{d\phi}{dS} = W$$

$$\therefore \frac{dW}{dS} + \left(\frac{S}{2} + \frac{1}{S} \right) W = 0$$

$$\frac{dW}{dS} = - \left(\frac{S}{2} + \frac{1}{S} \right) W$$

$$\int \frac{dW}{W} = - \int \left(\frac{S}{2} + \frac{1}{S} \right) dS$$

$$\ln W = \frac{-S^2}{4} - \ln S$$

$$W = Ae^{\left(\frac{-S^2}{4} - \ln S \right)}$$

$$W = AS^{-1} e^{\left(\frac{-S^2}{4} \right)}$$

$$\therefore \frac{d\phi}{dS} = AS^{-1} \exp\left(\frac{-S^2}{4} \right) \dots\dots\dots(*)$$

$$d\phi = AS^{-1} \exp\left(\frac{-S^2}{4} \right) dS$$

$$\phi - \phi_{\infty} = \frac{1}{2} A \int_Z^{\infty} Z^{-1} e^{-Z} dZ \quad \left[Z = -\frac{S^2}{4} \right]$$

$$\phi - \phi_{\infty} = \frac{1}{2} AE_i \left(-\frac{1}{4} S^2 \right) \dots\dots\dots(**)$$

ถ้าให้ q เป็น ปริมาณของสารที่แพร่เข้าไปต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และพิจารณาที่ผิวจะได้ว่า

$$S = \frac{R}{(Dt)^{\frac{1}{2}}}$$

โดย R คือ รัศมีของ cylinder

total mass transfer ที่ surface คือ ที่ $r=R$

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial r} \right)_{r=R} = (2\pi Rl) \left(-D \frac{\partial \phi}{\partial r} \right)$$

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial r} \right) = \frac{d\phi}{dS} \cdot \frac{\partial S}{\partial r} = \frac{d\phi}{dS} \cdot \frac{1}{(Dt)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\left(\frac{-D \partial \phi}{\partial r} \right) = \frac{-D}{(Dt)^{\frac{1}{2}}} AS^{-1} \exp\left(\frac{-S^2}{4} \right)$$

ที่ $r=R$

$$\begin{aligned} (2\pi Rl) \left(\frac{-D \cdot \partial \phi}{\partial r} \right) &= -\frac{D^{\frac{1}{2}}}{t^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{A}{S} \cdot \exp\left(\frac{-S^2}{4}\right) \cdot 2\pi Rl \\ &= -\frac{D^{\frac{1}{2}}}{t^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{A}{S} \cdot \exp\left(\frac{-S^2}{4}\right) \cdot 2\pi S(Dt)^{\frac{1}{2}} l \\ &= -2\pi D \cdot A l \cdot \exp\left(\frac{-S^2}{4}\right) \end{aligned}$$

Assumption : total mass transfer $\Big|_{r=R} =$ ปริมาณสารที่แพร่เข้าไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา
 $= \frac{\text{ปริมาณสารที่แพร่เข้า} \times \text{ปริมาตร ตัวอย่างที่เปลี่ยนไป}}{1 \text{ หน่วยปริมาตร} \quad 1 \text{ หน่วยเวลา}}$

ให้ q คือ ปริมาณสารที่แพร่เข้าไปในยางต่อ 1 หน่วยปริมาตร

$$= q \cdot \frac{d}{dt} S^2 \pi D t l$$

$$-2\pi D \cdot A l \cdot \exp\left(\frac{-S^2}{4}\right) = q \pi S^2 D$$

$$A = -\frac{1}{2} q S^2 \exp\left(\frac{-S^2}{4}\right)$$

ดังนั้นที่ surface มี ϕ_s เป็นดังนี้ แทนค่า A ใน (**)

$$\phi_s = \frac{-1}{4} q S^2 \exp\left(\frac{-S^2}{4}\right) E_i\left(\frac{-1}{4} S^2\right) + \phi_\infty \dots \dots \dots (1.10)$$

สรุปจากทฤษฎี penetration theory ของ Higbie และ moving boundary ของ Hartley
 ได้ว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลแปรผกผันกับ (time)^{1/2}

2.3 การออกแบบเครื่องจักรเชิงทัศนภาพเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม

2.3.1 ความสำคัญของการใช้ระบบทัศนภาพสำหรับเครื่องจักร

ระบบทัศนภาพมีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งานกับเครื่องจักรเป็นอย่างมาก ทั้งการใช้หาความสัมพันธ์ของตำแหน่ง ช่วง ขนาด และการปรับเข้ากับสภาพที่เหมาะสม โดยไม่ต้องมีการสัมผัสทางกายภาพ

สำหรับคำว่าระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์นั้นเป็นความเกี่ยวข้องกันของระบบคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์กับระบบการมองเห็นของมนุษย์ โคธฮาร์ดแวร์เป็นตัวรับและแสดงผล ส่วนซอฟต์แวร์จะเป็นตัวประมวลผล คำว่า “ทัศนภาพ” จะเป็นเหมือนกระจกที่สะท้อนการมองเห็นสำหรับมนุษย์ ตั้งแต่ตา ประสาทรับภาพ และสมองแปลความจากภาพที่เห็น [18]

เครื่องจักรแบบอุดมคติเท่านั้นที่จะสามารถมีระบบรับรู้การมองเห็นได้เหมือนมนุษย์ ในความพยายามที่จะผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานได้ในระบบทัศนภาพ ต้องใส่ระบบที่เลียนแบบระบบความคิดและการตัดสินใจของมนุษย์ ซึ่งซับซ้อนมากและมีหลายลำดับขั้นจากตาไปยังสมองรับรู้ของมนุษย์

2.3.2 วิธีการออกแบบระบบ

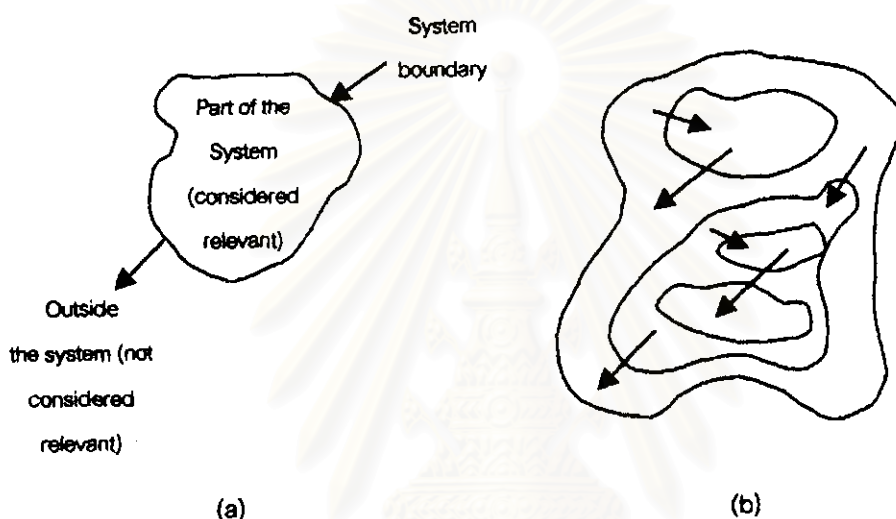
ระบบทุกระบบไม่ว่าจะเป็นการใช้เทคโนโลยี การเงิน การมองเห็น หรือ ระบบอิเล็กทรอนิกส์ก็ตาม ต่างต้องมีขอบเขตของระบบที่จะพิจารณา จากภาพ 2.4 แสดงให้เห็นถึงขอบเขตที่ชัดเจนของระบบที่ใช้ในการออกแบบระบบตามวัตถุประสงค์ เช่น ขอบเขตของการจับภาพของแท่งเหล็กมีวงกลม มีขอบเขตที่เล็กกว่าระบบที่จับภาพวงโคจรของจรวดมิสไซล์ โดยผู้ออกแบบต้องทราบว่าจุดมุ่งหมายของการจับภาพของแท่งเหล็ก คือ ต้องการหาเพียงเส้นผ่านศูนย์กลางของระบบ ไม่ได้ต้องการหาพื้นที่หรือความเร็วของระบบเหมือนกับระบบวงโคจรของจรวดมิสไซล์

พารามิเตอร์ที่อยู่ในขอบเขทย่อมเป็นเหมือนส่วนหนึ่งของระบบและต้องนำมารวมในการวิเคราะห์ผล แต่พารามิเตอร์ที่อยู่นอกขอบเขตจะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อระบบสามารถละทิ้งได้ ในงานด้านวิศวกรรมจึงจำเป็นต้องหาขอบเขตของระบบให้พบก่อนพิจารณาระบบต่อไป

การกำหนดขอบเขตของแต่ละระบบเป็นเรื่องสำคัญในการแก้ปัญหาในงานวิศวกรรม นอกจากนั้นขนาดของระบบเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่จำเป็นต้องคำนึงถึง เช่น วลีว่า “ระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์”

สามารถหมายถึง กล้อง และเครื่องคอมพิวเตอร์เท่านั้น หรือ หมายรวมถึงเครื่องมือที่ใช้ตรวจตราและดำเนินการในระบบทัศนภาพ

ระบบหนึ่งๆสามารถมีระบบย่อยหลายระบบรวมอยู่ ความสัมพันธ์ระหว่างระบบย่อยเป็นสิ่งที่ต้องกำหนดขึ้น ตามรูปที่ 2.4 b ระบบย่อยหลายๆระบบอาจเป็นอิสระต่อกันแต่มีบางระบบย่อยที่มีผลกระทบต่ออีกหลายๆระบบ หรือมีความสัมพันธ์กับระบบย่อยอื่นๆ



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงความคิดรวบยอดของระบบ (a)แสดงขอบเขตของระบบ (b) ระบบสมบูรณ์ ที่มี ความสัมพันธ์กันระหว่างระบบย่อย

2.3.3 รูปแบบทั่วไปของระบบทัศนภาพ

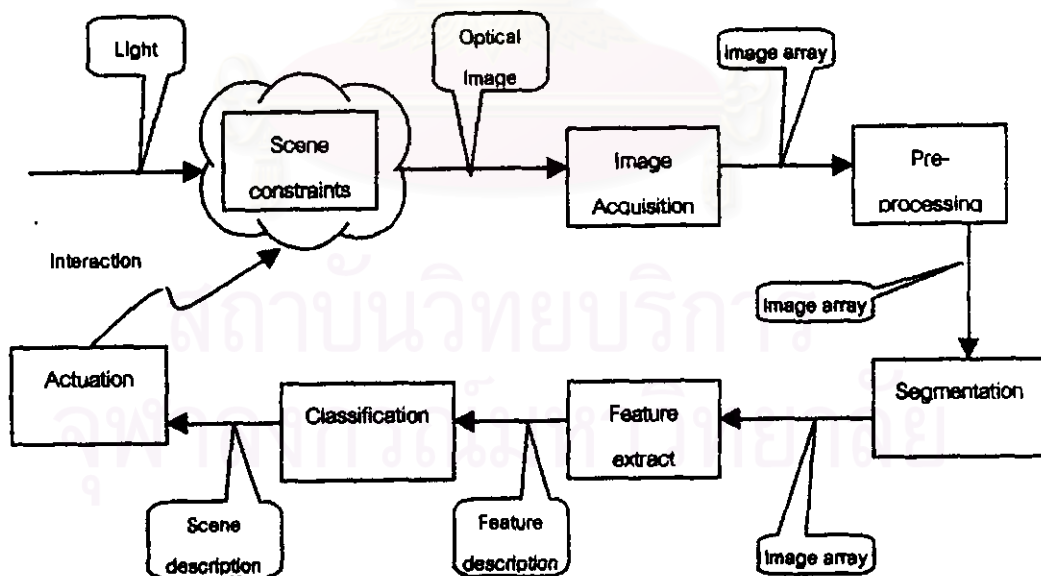
แต่เดิมในโรงงานอุตสาหกรรมใช้คนในการตรวจตรา และ รวบรวมงาน ต่อมาในยุคปฏิวัติ อุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องจักรเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมทำให้มีการแบ่งงานที่ซับซ้อนออกเป็นขั้นตอนย่อยๆที่ง่ายต่อการให้เครื่องจักรในการทำงานแทนแรงงานคน จึงได้นำระบบควบคุมการทำงานด้วยระบบทัศนภาพเข้ามาใช้เป็นอย่างมาก

ระบบที่เหมาะสมกับการดำเนินงานด้วยเครื่องจักรจำเป็นต้องเป็นลำดับขั้น และทำงานง่าย ซึ่งระบบที่ออกแบบควรเป็นระบบย่อยหลายระบบมารวมกันเพื่อการดำเนินการ โดยระบบย่อยแต่ละระบบต้องมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกัน เพื่อให้เกิดงานตามวัตถุประสงค์ตั้งไว้ร่วมกัน ถ้าระบบที่ออกแบบได้เหมาะสมก็จะนำมาซึ่งระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการดำเนินงาน

ลำดับขั้นตอนเพื่อการทำงานตามวัตถุประสงค์ได้มาจากโครงสร้างที่แบ่งการดำเนินการเป็นระบบย่อยๆ และต้องมีขอบเขตของระบบย่อยที่ชัดเจนและสามารถช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานได้ ครอบคลุมโดยระบบย่อยแต่ละระบบมีอิสระในการสร้างฟังก์ชันของตัวเอง ซึ่งเป็นวิธีการที่นำไปสู่วัตถุประสงค์ของระบบ เรียกขั้นตอนเหล่านี้ว่า ขั้นตอนอิสระ (ordered liberty) มักใช้ขั้นตอนเหล่านี้ในงานออกแบบก่อสร้าง

- ฟังก์ชันที่จำเป็นสำหรับเครื่องจักรในระบบทัศนภาพแยกออกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้
- ก. การกำหนดขอบเขตที่จำกัดสิ่งแวดล้อม
 - ข. การจับภาพในระบบทัศนภาพ
 - ค. การวิเคราะห์ภาพ
 - ง. การจดจำสิ่งที่มีอยู่ในขอบเขต
 - จ. ลำดับขั้นตอนของการทำงานเพื่อนำมาซึ่งความสำเร็จในงาน

รูปแบบการทำงานของเครื่องจักรระบบทัศนภาพแสดงไว้ตามรูปที่ 2.5 ซึ่งมีการทำงานแบ่งออกเป็นระบบย่อยๆ 7 ระบบ แจกแจงตามชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบทัศนภาพ



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงโมดูลต่างๆในระบบทัศนภาพ

ขอบเขตของภาพ(scene constraints)

สิ่งแรกในระบบและเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ขอบเขตของภาพ ซึ่งถือว่าเป็นขอบเขตของงานในอุตสาหกรรมที่จะใช้เครื่องจักรระบบทัศนภาพเข้ามาแทนที่

วัตถุประสงค์หลักของการหาขอบเขตของภาพเพื่อลดความซับซ้อนในงานให้เป็นขั้นตอนที่สามารถจัดการได้ง่าย ขอบเขตนี้รวมถึงการจำกัดจำนวน รูปร่างที่เริ่มต้นและสิ้นสุด

เพื่อนำไปสู่จุดมุ่งหมายของระบบย่อยนี้ ต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมกับการนำมาใช้งานได้ดี แต่ในอุตสาหกรรมบางประเภทมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่ทำให้เกิดความลำบากในการติดตั้งกล้องหรือไฟที่ใช้ในขั้นตอนนี้ สิ่งที่สำคัญในการใช้เครื่องจักรระบบทัศนภาพ คือ ต้องทำให้เกิดการดำเนินการที่สะดวกและง่าย ต่อการรวบรวม ทำความสะอาด ทดสอบ ทำใหม่ หรือบรรจุนิพหน่อ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น มุ่งผล สิ่งสกปรกที่จะเข้าไปจับในเครื่องจักร อันตรายจากสารเคมีในกระบวนการผลิต

ปัจจัยต่างๆเหล่านี้ทำให้เกิดความยุ่งยากในการใช้เครื่องมือจับภาพเช่น กล้องจับภาพเพื่อให้ได้ภาพของข้อมูลที่ต้องการอย่างครอบคลุม เวลาเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง ในการหาขอบเขตของภาพโดยทำให้ผลออกมาแน่นอน ไม่ซับซ้อน น่าเชื่อถือ และใช้งบประมาณต่ำ

กระบวนการรับภาพ(image acquisition)

ระบบย่อยนี้เป็นระบบของการถ่ายภาพของข้อมูลภาพที่ได้จากจอรับภาพของกล้อง แปลงเป็นสัญญาณตัวเลขเข้าสู่หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์รูปภาพเชิงตัวเลขมีความละเอียดถึง 512×512 จุด ในแต่ละจุดแสดงผลเป็นไบนารีทั้งในรูปของเกรย์สเกล (gray scale) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 (pure black) ถึงค่าสูงสุด 1 (pure white) และในรูปของค่าสี (colour value ,red /green / blue) ในการส่งข้อมูลนี้ต้องระวังไม่ให้ข้อมูลที่สำคัญและเป็นประโยชน์สูญหายไป

กล้องจะรับภาพได้ทั้งวิธีการสแกนตามเส้นและตามพื้นที่แล้วแต่วัตถุประสงค์ของการทำงาน กล้องที่สแกนตามแนวเส้นจะใช้ในงานที่เป็นภาพ 2 มิติ เช่น การติดตามการเคลื่อนที่ของสิ่งของบนสายพาน กล้องที่สแกนตามพื้นที่ซึ่งจะมีค่าความละเอียดน้อยกว่าการสแกนตามเส้น

การประมวลผลระดับต้น (preprocess)

ในระบบย่อยนี้จะมีกระบวนการหลายอย่างที่ใช้ปรับเปลี่ยนค่าของจุดต่างๆในภาพเชิงตัวเลขให้เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานต่อไป การปรับค่าความแตกต่างของภาพ การนำสัญญาณรบกวนออกจากภาพให้คุณภาพ และการหาค่าปรับแต่งให้ค่าที่ได้เป็นค่าที่ถูกต้องก็จะทำในขั้นตอนนี้ โดยที่การดำเนินการในขั้นตอนนี้จะอยู่ในขอบเขตของภาพที่มาจากกรับภาพเท่านั้น ขอบเขตจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงจากเดิม

ภาพเชิงตัวเลขที่รับเข้าไปในเบื้องต้นจะสัมพันธ์กันจุดต่อจุดกับภาพจากจอรับภาพ และการประมวลผลระดับต้นนี้มักจะทำงานกับจุดเดี่ยวๆหรือมีจุดรอบข้างน้อยๆ ซึ่งการดำเนินการในขั้นตอนนี้จะเป็นการแปลงภาพจาก spatial domain ไปสู่ frequency domain ได้ข้อมูลของภาพที่เป็นชุดฟังก์ชันแบบเป็นช่วง (periodic function) ที่สามารถปรับปรุงด้วยฟังก์ชันมาตรฐานได้ ตัวดำเนินการแปลงข้อมูลที่ใช้อยู่ทั่วไปคือ Fourier transform

การประมวลผลระดับต้นนี้จะทำการกำจัดสัญญาณภาพรบกวน (noisy images) และทำให้ภาพที่สนใจเด่นชัดขึ้น นอกจากนี้ยังทำการหารขอบของภาพ (edge enhance) และทำให้ขอบของภาพเรียบ (smoothing)

การตัดตอนภาพ(segmentation)

การตัดตอนภาพเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการจำ โดยการแตกภาพออกเป็นขอบเขตหรือแบ่งเป็นส่วนๆ การตัดตอนภาพขั้นพื้นฐานคือภาพแบบ binary จะสนใจเพียง 2 ขอบเขต มีภาพและพื้นหลัง ในธรรมชาติขอบเขตที่มองเห็นได้ เช่น ขอบฟ้า เมฆ พื้นดิน อาคารบ้านเรือนและต้นไม้ การตัดตอนภาพแบ่งเป็น 2 วิธี คือ thresholding และ edge-based

เทคนิค thresholding เป็นการพิจารณาภาพโดยการกำหนดจุดกึ่งกลางระหว่างสีขาวและสีดำ ถ้าค่าของจุดนั้นเหนือกว่าค่ากึ่งกลางถือว่าจุดนั้นเป็นสีขาวและถ้าต่ำกว่าถือว่าสีดำ ภาพที่ได้ออกมาจะมีสีโดยการประมาณ

วิธี edge-based ใช้ตัวดำเนินการเชิงตัวเลขมาตรฐานแบบไฟโบนดิฟเฟอเรนซ์ มาเป็นตัวช่วยหาเส้นขอบของภาพ ถ้าเป็นสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งใช้ตัวดำเนินการแบบเกรเดียนต์ (gradient operators) และถ้าเป็นสมการอนุพันธ์อันดับสองใช้ตัวดำเนินการแบบลาปลาเซียน (Laplacian operator) เพื่อหาสมการที่แทนสมการของเส้นขอบ ทำให้ได้ขอบเขตของภาพ



(a)



(b)



(c)



(d)

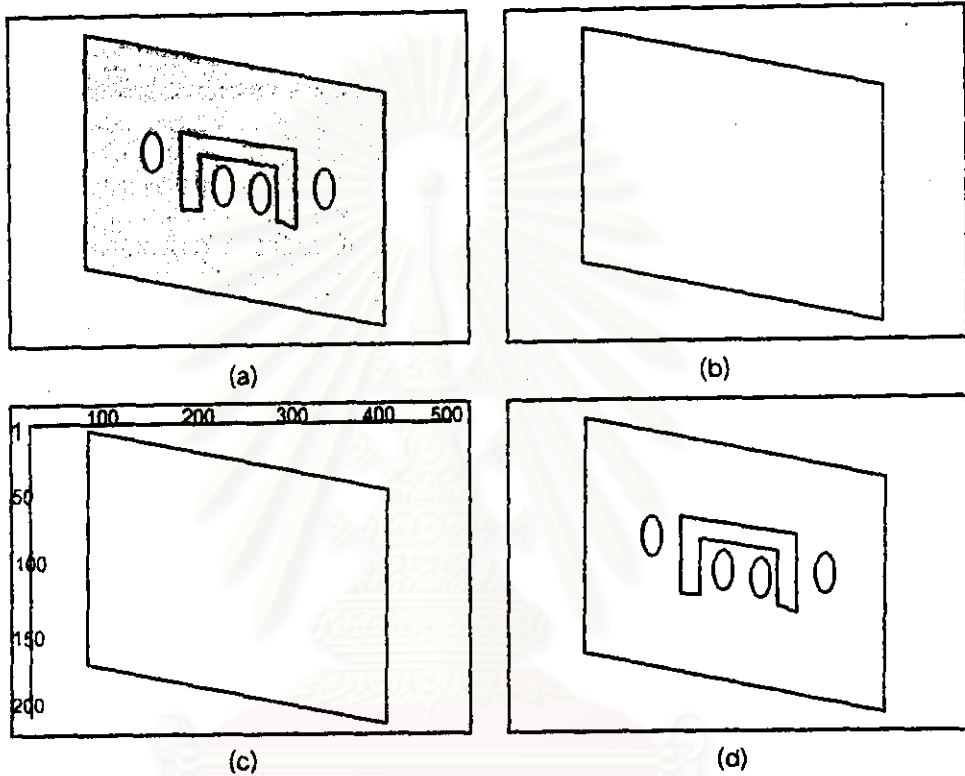
รูปที่ 2.6 แสดงภาพของการตัดตอนภาพด้วยวิธี thresholding และ edge-based (a) ภาพเกรย์สเกล 512×256 จุด (b) ตัดตอนภาพด้วยวิธี edge-based (c) ภาพแบบไบนารีที่จุดกึ่งกลางที่ระดับ 47 (d) ภาพแบบไบนารีที่จุดกึ่งกลางที่ระดับ 28

การสกัดภาพ (feature extract)

ระบบย่อยของการสกัดภาพนี้เป็นขั้นตอนสำคัญที่นำไปสู่การแยกประเภทของภาพ ซึ่งแยกโดยการเปรียบเทียบกับภาพมาตรฐาน ดังนั้นความสัมพันธ์ของขนาดและรูปร่างยังคงไว้ตามเดิม นอกจากนั้นภาพยังควรมีตำแหน่งและสเกลคงที่ เนื่องจากพารามิเตอร์เหล่านี้สำคัญต่อการประมวลผลจากระบบทัศนภาพ

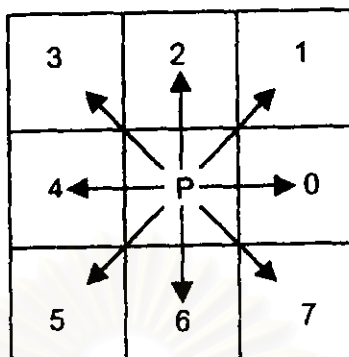
พารามิเตอร์พื้นฐานจะถูกกำหนดขึ้นจากภาพที่ไม่จำเป็นต้องมีรูปร่างที่เป็นแบบแผน เพื่อเอื้อต่อการใช้งานแยกประเภทและระบุตำแหน่งของสิ่งของ พารามิเตอร์เหล่านี้คือ เส้นรอบรูป จุดกึ่งกลาง พื้นที่ และช่องว่างในภาพ (จำนวน / ขนาด / ตำแหน่ง) แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 การหาขนาดของพื้นที่

และเส้นรอบรูปเป็นข้อมูลสำคัญในการแยกประเภทของภาพ มีพารามิเตอร์ที่น่าสนใจ คือ เซทแฟคเตอร์ (เส้นรอบรูป² / พื้นที่) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ไร้หน่วยดังนั้นจึงไม่เปลี่ยนแปลงตามสเกล



รูปที่ 2.7 การสกัดภาพ (a) ภาพแบบไบนารีที่มีข้อมูลจุดกึ่งกลางและพื้นที่ (b) เส้นรอบรูป (c) รูปสี่เหลี่ยมเล็กที่สุดที่ครอบคลุมภาพได้ (d) จำนวนของโหนดที่ปรากฏในภาพ

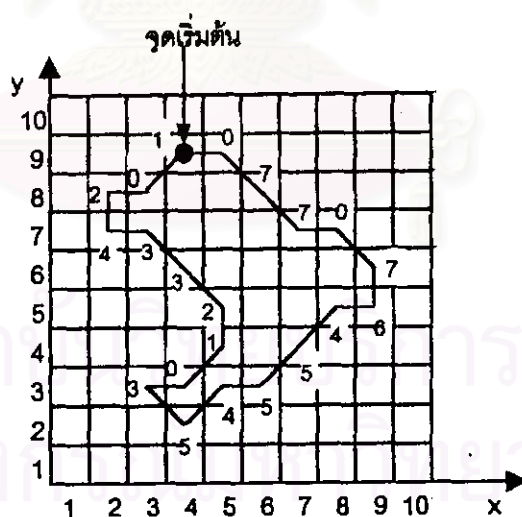
การหาพื้นที่ของรูปปิด (enclosed) อาศัยตัวแปรที่เรียกว่า chain code ซึ่งเป็นตัวแปรที่บอกตำแหน่งของจุดที่ติดกับจุดที่พิจารณาว่าอยู่ในทิศทางใดของจุดที่พิจารณา ตามรูปที่ 2.8



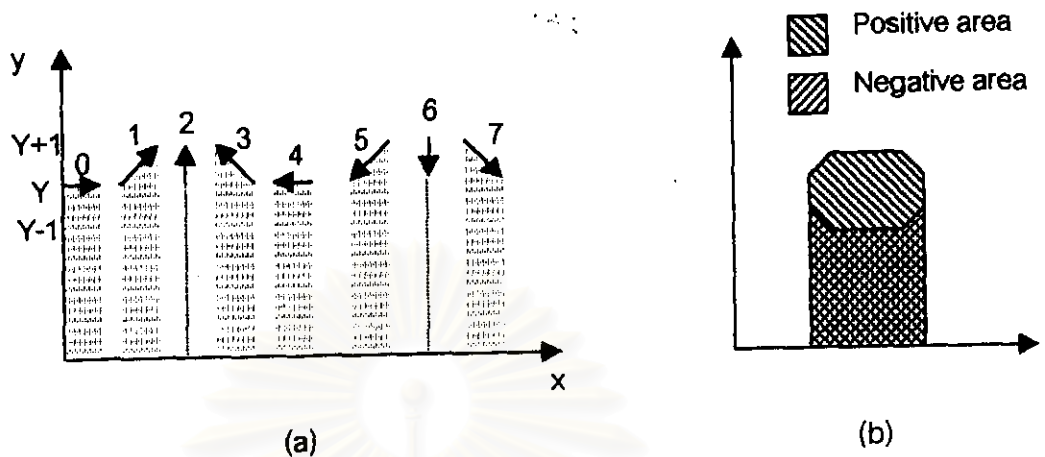
รูปที่ 2.8 ทิศทางของ chain code ทิศตามเข็มนาฬิกา

เมื่อพิจารณารูปปิดที่ 2.9 ในการหาพื้นที่จะต้องมีจุดเริ่มต้นและเขียน chain code กำกับแต่ละจุดพิกัดของขอบเขตภาพ โดย chain code 2 และ 6 ไม่ทำให้พื้นที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ 1, 0, 7 ทำให้เกิดพื้นที่เป็นบวก (ทิศตามเข็มนาฬิกา) และ 3, 4, 5 จะทำให้เกิดพื้นที่เป็นลบ

รูปที่ 2.9 สามารถเขียน chain code เป็น 077076455453012334201 สำหรับรูปที่ 2.10 เป็นรูปแสดงการหาพื้นที่จาก chain code โดยที่ Y คือ ค่าพิกัดแกน Y ของจุดเริ่มต้น



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างรูปปิดที่ต้องการหาพื้นที่



รูปที่ 2.10 การหาพื้นที่จาก chain code (a) การแบ่งพิจารณาตาม chain code ที่ตามเครื่องหมาย

(b) การรวมพื้นที่

รูปที่ 2.10 (b) แสดงให้เห็นถึงการรวมค่าบวกและลบของพื้นที่ที่เกิดจากค่า chain code เมื่อนำมารวมกันจะเป็นพื้นที่ของรูปปิดนั้น

การแยกประเภท (classification)

ระบบย่อยนี้เป็นการใช้ภาพเข้ามาใช้ในการแยกประเภทสิ่งของ ซึ่งมีเทคนิคหลายอย่างที่ใช้ในกระบวนการนี้ทั้งวิธีเปรียบเทียบกับภาพที่มีอยู่เดิม หรือการใช้วิธีเก็บข้อมูลทางสถิติ

วิธีการเปรียบเทียบกับภาพที่มีอยู่เดิม ใช้ได้ดีกับสิ่งที่มีรูปร่างแตกต่างจากสิ่งอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด เช่น รูปร่างของตัวอักษรแบบอัลฟานิวมาติก ส่วนวิธีการทางสถิติใช้ในการหาประเภทที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ได้กว้างกว่าวิธีแรกในงานอุตสาหกรรม

การกระตุ้น (actuation)

ระบบย่อยนี้จะทำให้ครบวงจรโดยกลับไปสู่ภาพเริ่มต้นเพื่อทำงานแบบวงจรปิด ในโรงงานอุตสาหกรรม ใช้เครื่องมือในระบบทัศนภาพในการผลิต การจำแนก และการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นการกระตุ้นนี้จะเหมือนการกระทำจากระบบทัศนภาพที่กระทำต่อระบบทั้งทางตรงคือมีผลสั่งงานโดยตรงกับเครื่องจักร และทางอ้อมโดยการที่ให้เห็นภาพแล้วไปควบคุมระบบ

2.4 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติที่นำมาใช้ในทางการค้า เป็นยางซึ่งได้จากต้นไม้ใหญ่ชื่อว่า "ต้นยางพารา" มีชื่อเรียกทางพฤกษศาสตร์ว่า *Heavea brasiliensis* ซึ่งเดิมมีอยู่เฉพาะในทวีปอเมริกาใต้เท่านั้น ได้มีผู้นำมาปลูกในทวีปเอเชียและแอฟริกา สามารถงอกงามดีในภาคใต้ และภาคตะวันออกของประเทศไทย เมื่อต้นยางโตเต็มที่ ชาวสวนจะเก็บน้ำยางด้วยการกรีดเปลือก (tapping) ของลำต้น ให้น้ำยางซึมออกมา น้ำยางที่ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อให้ได้ยางออกมาในลักษณะที่แตกต่างกัน คือ อยู่ในรูปของน้ำยางข้น (concentrated latex) หรือยางดิบแห้งชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน (ribbed smoked sheet) ยางแผ่นผึ่งแห้ง (air dried sheet) ยางเครพ (crepe) ยางแท่งทีทีอาร์ (TTR, Thai Tasted Rubber) และยางชนิดอื่น ๆ จากนั้นจึงนำยางดิบเหล่านี้ ไปป้อนให้กับโรงงานแปรรูปเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ เช่น ยางรถยนต์ ยางล้อเครื่องบิน ยางรัดของ ท่อยาง เบาะที่นั่งนอนพองน้ำ รองเท้ายาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง เป็นต้น ทั้งนี้เพราะยางมีสมบัติจำเพาะแตกต่างจากวัสดุอื่น ๆ คือ มีความยืดหยุ่นดี เมื่อดึงออกก็อาจหดกลับรูปเดิมได้ทันทีเมื่อปล่อย นอกจากนี้ ยังมีเนื้อที่บ สามารถกั้นน้ำและอากาศไม่ให้ผ่านได้โดยง่าย อีกทั้งไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ดังนั้นยางจึงเป็นวัสดุที่มีคุณค่า

เนื้อยางแห้ง (ในน้ำยางมีเนื้อยางแห้ง 20 - 45% โดยน้ำหนัก) คือ สารไฮโดรคาร์บอน (rubber hydrocarbon) ที่มีไฮโดรคาร์บอนอยู่ประมาณ 92% อีกประมาณ 8% เป็นสารอื่นที่ไม่ใช่ยาง (non - rubber consistents) ปนอยู่ซึ่งสารดังกล่าว ได้แก่ โปรตีน (protein) , กลีโคไซด์ (glycosides) , ลิพิด (lipids) , เกลือแร่ (mineral salts) และเอนไซม์ (enzymes) สารที่ไม่ใช่ยางเหล่านี้ แม้มีเพียงเล็กน้อย แต่จะมีผลต่อการวัลคาไนซ์ และสมบัติของยางเป็นอย่างมาก นอกจากนี้แล้ว น้ำยางที่ได้จากต้นยางจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล สภาพดินฟ้าอากาศ ชนิดของดิน ภาวะแวดล้อมของแปลงปลูกยาง พันธุ์ยาง การกรีด ความยาวของรอยกรีด อายุของต้นยาง ความถี่ของการกรีด ช่วงเวลาของการกรีดยาง การใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง และปัจจัยอื่น ๆ (เช่น การทำความสะอาดถังใส่น้ำยาง การกรีดยางในฤดูฝน ซึ่งจะมีน้ำฝนหลงเหลือในถ้วยยาง เป็นต้น)

เนื่องจากโมเลกุลของยางไม่เชื่อมตัว จึงมีพันธะคู่ที่ร่อนไวต่อปฏิกิริยาอยู่ด้วย ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย : ข้อดี คือ สามารถทำปฏิกิริยากับกัมมะถันในกระบวนการวัลคาไนซ์เซชันได้ ; ข้อเสีย คือ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนและโอโซนโดยมีโลหะ (เช่น Mn, Fe, Cu และ Co เป็นต้น) ความร้อน แสงและความเครียดที่มีอยู่ในเนื้อยาง (เช่นการหักงอของไปมา) เป็นตัวเร่ง

ให้ยางเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เมื่อตั้งทิ้งไว้หรือขณะใช้งานดังนั้นจึงต้องใช้ "สารกันตัวออกซิไดร์" (antioxidant) และ "สารกันตัวโอโรไนซ์" (antiozonant) ผสมเข้าไปในยางเพื่อยืดอายุการใช้งานหรือการเก็บรักษา

สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ อาจเปลี่ยนแปลงไปได้บ้างเล็กน้อยจากการมีสารที่ไม่ใช่ยางปะปนอยู่ และจากระดับชั้นของการเกิดผลึก (degree of crystallinity) ซึ่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°C ยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึกได้มีผลทำให้ความหนาแน่นเปลี่ยนจาก 0.92 เป็นประมาณ 0.95 ตาราง 1.1 แสดงสมบัติทางกายภาพบางอย่างโดยเฉลี่ยของยางธรรมชาติ

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพบางอย่างของยางธรรมชาติ [6]

Density	0.92
Refractive index (20 ° C)	1.52
Coefficient of cubical expansion	0.00062 / °C
Cohesive energy density	63.7 cal. / cc.
Heat of combustion	10,700 cal. / g
Thermal conductivity	0.00032 cal. / sec / cm ² / °C
Dielectric constant	2.37
Power factor (1,000 cycles)	0.15 - 0.2
Volume resistivity	10 ¹⁵ ohms / cc.
Dielectric strength	1,000 volts / mil

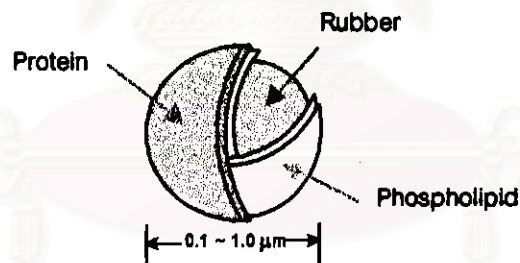
ตัวทำละลายของยางธรรมชาติ ได้แก่ อะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic and aromatic hydrocarbon), คลอรีเนตเต็ดไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbon) อีเทอร์ (ethers) และคาร์บอนไดซัลไฟด์ (carbon disulfide) ส่วนตัวไม่ทำละลายของยางธรรมชาติ ได้แก่ คีโตน (lower ketone) , แอลกอฮอล์ (alcohol) และเอสเทอร์ (lower ester)

ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก ไม่สามารถวัดน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีลดจุดเยือกแข็ง (depression of freezing point) หรือวิธีการเพิ่มจุดเดือด (elevation of boiling point) ให้ใช้วิธีวัดความดันออสโมติก (osmotic pressure) และวิธีวัดความหนืดแทนได้ และจากวิธีการแยกลำดับส่วน (fractionation) ของสารละลายยางธรรมชาติ พบว่ามีการกระจายน้ำหนักโมเลกุล

(เฉลี่ย 200,000 - 500,000) รูป 1.2 จะแสดงการกระจายน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งหาได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระดอน (resilience) สูงกว่ายางสังเคราะห์อื่น ๆ การใช้ฟิลเลอร์เสริมแรง (reinforcing filler) เช่น เขม่าดำ หรือคาร์บอนแบล็ก (carbon black) จะปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางให้ดีขึ้น ยางธรรมชาติมีความด่างจำเพาะ 0.915-0.930 และตัวทำละลายของยางธรรมชาติ คือ แนพทา โทลูอิน เบนซีน น้ำมัน และคาร์บอนไดซัลไฟด์ เป็นต้น ยางมีจุดอ่อนตัว (softening point) ประมาณ 120 °C มีความทนทานน้ำ กรดเจือจาง ต่าง และเกลือได้ดี แต่กับออกซิเจน โอโซน แสงแดด และแสงอัลตราไวโอเล็ต จะทำให้ยางธรรมชาติเกิดรอยแตก หรือเกิดการแตกหักได้ ซึ่งปริมาณโอโซน 100 ppm สามารถทำลายยางได้ภายใน 2 นาที และถ้าขุมยางธรรมชาติในกรดไนตริก กรดซัลฟูริก กรดโครมิก ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ หรือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ธรรมชาติจะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ความทนน้ำมันของยางธรรมชาติมีค่าต่ำมาก จึงทำให้ยางเกิดการพองตัวเมื่อขุมในน้ำมัน

2.4.1 อนุภาคยางในน้ำยาง (Rubber particle in Heavea latex) [14]

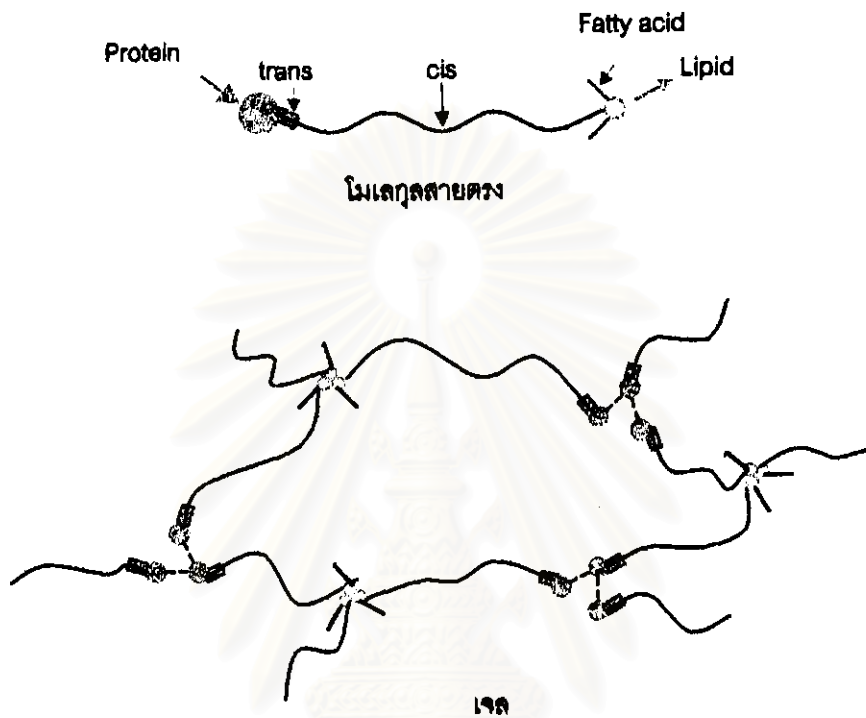


รูปที่ 2.11 อนุภาคยางในน้ำยาง

ส่วนประกอบของยางธรรมชาติที่แยกด้วยวิธีตกตะกอนด้วยกรด

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน	93.7%
นิวทรัล ไลปิด	2.4 %
โกลโคไลปิด	1.0 %
โปรตีน	2.2 %
คาร์โบไฮเดรต	0.4 %
สารอนินทรีย์	0.2 %
สารอื่นๆ	0.1 %

2.4.2 ข้อสันนิษฐานโครงสร้างของอนุภาคยางธรรมชาติ (branching and gel formation) [14]



รูปที่ 2.12 แบบจำลองอนุภาคของยางธรรมชาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 แรงดึงระหว่างโมเลกุล และค่าการละลาย (cohesive properties and solubility)

ปริมาณของแรงดึงระหว่างโมเลกุลวัดเป็นค่าพลังงานของแรงดึงดูดโมเลกุล เรียกว่า พลังงานโคฮีซีฟ (cohesive energy) ค่าพลังงานโคฮีซีฟต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เรียกว่า ความหนาแน่นของพลังงานโคฮีซีฟ (cohesive energy density) และค่ารากที่สองของความหนาแน่นพลังงานโคฮีซีฟ เรียกว่า ค่าพารามิเตอร์การละลาย (solubility parameter) พารามิเตอร์ตัวนี้จะมีความสำคัญต่อการละลายของพอลิเมอร์ในตัวทำละลาย แรงดึงระหว่างโมเลกุลของสารพอลิเมอร์หาได้โดยตรงจากค่าการละลายในสารอินทรีย์ โดยแสดงออกมาในรูปของพลังงานโคฮีซีฟ

ในปี 1916 Hilderbrand เสนอวิธีประมาณค่าการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายโดยคำนวณจากความดันภายในของตัวทำละลาย ต่อมาในปี 1931 Scatchard ได้เสนอวิธีหาค่าการละลายจากค่า ความหนาแน่นของพลังงานโคฮีซีฟ เพิ่มในทฤษฎีของ Hilderbrand และ ในปี 1936 Hilderbrand ก็ได้เสนอให้ค่ารากที่สองของความหนาแน่นพลังงานโคฮีซีฟ เรียกว่า ค่าพารามิเตอร์การละลาย (solubility parameter) และแทนด้วยสัญลักษณ์ δ [20]

ค่าการละลายของพอลิเมอร์ในตัวทำละลายต่าง ๆ นั้นสามารถประมาณได้จากโครงสร้างทางเคมีของทั้งสองสาร โดยทั่วไปถ้ามีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกันก็ควรจะละลายกันได้ดี นอกเหนือจากนั้นสิ่งที่มีผลต่อค่าการละลายก็คือ ค่าพารามิเตอร์การละลาย ถ้าพอลิเมอร์และตัวทำละลายมีค่าพารามิเตอร์การละลายเท่ากันก็จะทำให้เกิดการละลายกันได้ดี โดยที่พารามิเตอร์การละลายนี้จะคิดที่อุณหภูมิห้อง

โดยทั่วไปค่าการละลายจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าการละลายของพอลิเมอร์จะเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักโมเลกุลด้วย

2.5.1 พารามิเตอร์การละลายของสารประกอบอินทรีย์ (solubility parameter of organic compounds) [20]

เดิมค่าการละลายอาศัยหลักการ "Like dissolve Like" ซึ่งพิจารณาโครงสร้างทางเคมีของสาร ถ้าสารสองชนิดมีโครงสร้างเหมือนกันก็จะละลายกันได้ ต่อมาเมื่อผู้เสนอค่าพารามิเตอร์การละลายนี้เป็นค่าที่หาได้จากรากที่สองของค่าความหนาแน่นพลังงานโคฮีซีฟ ซึ่งเป็นสมการของ Hilderbrand โดยพิจารณาว่าถ้าสารสองชนิดมีค่าพารามิเตอร์การละลายใกล้เคียงกันก็จะละลายกันได้ดี

คำนวณได้จากสมการดังนี้
$$\delta = \left(\frac{\Delta E_v}{V} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{D(\Delta H_v - RT)}{M} \right)^{\frac{1}{2}}$$

จากสมการต้องทราบข้อมูลของ

ΔH_v คือ ค่าพลังงานความร้อนของการกลายเป็นไอ

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์เป็นองศาเคลวิน

M คือ น้ำหนักโมเลกุล

ρ คือ ความหนาแน่น

หน่วยของพารามิเตอร์การละลายคือ (แคลอรีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)^{1/2}

เรียกว่า ฮิลเดอบรอนด์ยูนิต (Hilderbrand unit, H)

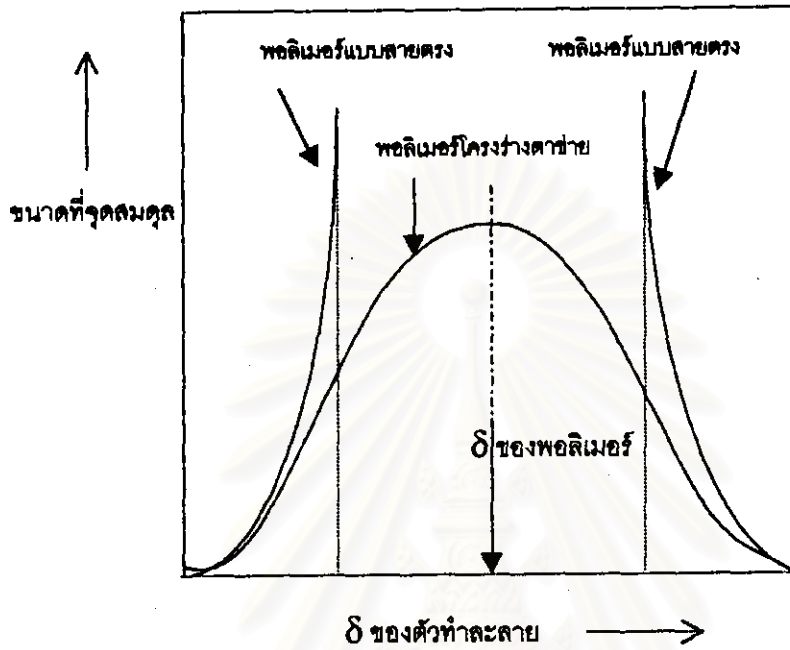
ค่าพารามิเตอร์การละลายนี้ มีประโยชน์ต่อการประมาณค่าการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ไม่มีขั้วได้ครอบคลุมมากที่สุด

โดยอาศัยสมการ
$$\delta = \frac{\rho \Sigma G}{M}$$

G คือ ค่าคงที่ตามโครงสร้างทางเคมีของสาร (แสดงค่าไว้ในตารางที่ 1)

มีหน่วยเป็น ฮิลเดอบรอนด์ (Hilderbrand unit, H)

การหาค่าพารามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายที่มีโมเลกุลเล็กทำได้โดยง่ายไม่ว่าจะหาจากค่าพลังงานโคคฮีซีฟ หรือจากการคำนวณตามโครงสร้างทางเคมีโดยอาศัยค่าคงที่ G ดังที่กล่าวมาแล้ว แต่สำหรับพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่จะหาค่าพารามิเตอร์การละลายด้วยวิธีเดียวกันนั้นไม่ได้ จึงต้องอาศัยการทดลองเข้ามาช่วย โดยการใส่ตัวทำละลายที่รู้ค่าพารามิเตอร์การละลายกับพอลิเมอร์ สำหรับพอลิเมอร์ที่เป็นโครงสร้างตาข่ายจะไม่ละลายกับตัวทำละลายกลายเป็นสารละลายแต่จะเกิดการพองตัว สร้างกราฟความสัมพันธ์ของขนาดของการพองตัวของพอลิเมอร์ที่สภาวะสมดุลกับค่าพารามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 พิจารณาที่บริเวณช่วงของพารามิเตอร์การละลายใช้ค่าสูงสุดของกราฟแทนค่าพารามิเตอร์การละลายของพอลิเมอร์นั้น หรืออาจรายงานค่าพารามิเตอร์การละลายเป็นช่วง



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดที่จุดสมดุลของพอลิเมอร์กับค่าพารามิเตอร์การละลาย
ของตัวทำละลายต่าง ๆ [20]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (ที่ 298 องศาเซลเซียส) [22]

หมู่ฟังก์ชัน	ค่าคงที่ G	หมู่ฟังก์ชัน	ค่าคงที่ G
-CH ₃	214	CO ketone	275
-CH ₂ -	133	COO ester	310
-CH<	28	CN	410
>C<	-93	Cl (mean)	260
CH ₂ =	190	Cl (single)	270
-CH=double bonded	111	Cl twined as in >CCl ₂	260
>C=	19	Cl triple as in -CCl ₃	250
CH≡C-	285	Br single	340
-C≡C-	222	I single	425
Phenyl	735	Cf ₂	150
Phenylene (o,m,p)	658	Cf ₃	274
Naphthyl	1146	S sulfides	225
Ring, 5 membered	105-115	SH thiols	315
Ring, 6 membered	95-105	ONO ₂ nitrates	440
Conjugation	20-30	NO ₂ (aliphatic nitro-compounds)	440
H (variable)	80-100	PO ₄ (organic phosphate)	500
O ether	70	Si (in silicones)	38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 พหามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายไม่มีขั้ว [22]

ตัวทำละลาย	δ (H)*	ตัวทำละลาย	δ (H)*
Benzene	9.2	Benzene, nitro	10.0
Benzene, chloro	9.5	Benzene, propyl	8.6
Biphenyl, perchloro	8.8	Hexane-1	7.4
1,3-Butadiene,2-methyl (isoprenne)	7.4	Methane	5.4
Butane	6.8	Methane, bromo	9.6
Cyclo hexane	8.2	Heptane	7.4
Cyclohexane, methyl	7.8	Hexane	7.3
Octane	7.6	Pentane	7.0
Toluene	8.9	Xylene, m-	8.8

ตารางที่ 2.4 พหามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายมีขั้ว [22]

ตัวทำละลาย	δ (H)*	ตัวทำละลาย	δ (H)*
Furan, tetrahydro	9.1	1,3-Hexanediol-2-ethyl	23.4
1,2-Propanediol (propylene glycol)	10.8	2-Propanol (iso-propyl alcohol)	10.0

* H = Hilderbrand unit
= (cal/cm³)^{1/2}

2.6 การพองตัวของพอลิเมอร์ร่างตาข่าย

ถ้าหากใส่ยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้วลงในน้ำมัน ยางจะพองตัว คือ ปริมาตรจะเพิ่มขึ้นเมื่อทิ้งไว้นานๆ เนื่องจากน้ำมันเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับยางที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ เมื่อพอลิเมอร์หรือยางผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้วจะเกิดโครงสร้างเป็นแบบร่างตาข่าย ไม่ละลายในน้ำมันแต่จะพองตัวขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของตัวทำละลายซึมผ่านเข้าไประหว่างสายโซ่โมเลกุล และในขณะที่โมเลกุลตัวทำละลายซึมผ่านเข้าไปนั้นโมเลกุลตาข่ายจะถูกยืดออก จนกระทั่งถึงช่วงเวลาหนึ่งถึงจุดสมดุล คือ แรงดันออสโมซิสที่ผลักดันตัวทำละลายเข้าไป เท่ากับแรงต้านของโมเลกุลตาข่ายของพอลิเมอร์ ณ จุดสมดุลนี้ สามารถหาอัตราส่วนการพองตัว (q_m) ได้คือ

$$q_m = \frac{\text{ปริมาตรสุดท้าย}}{\text{ปริมาตรเริ่มต้น}}$$

อัตราส่วนการพองตัวนี้ขึ้นกับปัจจัย 2 อย่างคือ ปัจจัยแรก ตัวทำละลายนั้นเป็นตัวทำละลายที่ดีของพอลิเมอร์นั้นหรือไม่ คือ มีแรงผลักดันตัวทำละลายเข้าไปได้ดีเพียงใด ปัจจัยที่สองคือจำนวนโครงร่างตาข่ายมีมากน้อยเพียงใด ซึ่งก็คือมีแรงต้านการพองตัวมากหรือน้อย [8]

2.7 งานวิจัยในอดีต

ปีพศ.2535 พรฤดี มุ่งสมานกุล ศึกษาการชะละลายเม็ดยางธรรมชาติด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว โดยทำการทดลองที่สภาวะวิกฤต พบว่าที่บริเวณภาวะวิกฤตนี้เม็ดยางจะบวมพองมาก ทำให้มีผลต่อการลดลงของ ปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยาง [3]

ปีพศ.2539 กิติพงษ์ หมอกเจริญพงศ์ ศึกษาการใช้ระบบทัศนภาพในการนำเข้าสู่ข้อมูลที่เกิดจากภาพ มาใช้ในการคำนวณเส้นแสดงอุณหภูมิด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การใช้ระบบทัศนภาพช่วยให้เกิดความสะดวกในการคำนวณ และสามารถนำมาประยุกต์กับงานทางวิศวกรรมอื่นได้ [1]

ปีพศ.2540 คัทลียา ชะโรจน์บวร ศึกษาการถ่ายโอนสารอินทรีย์เข้าไปในยางธรรมชาติโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวช่วย พบว่าเมื่อความดันและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณสารอินทรีย์เข้าไปในยางได้มากขึ้น และ สารอินทรีย์ที่แทรกซึมเข้าไปในยางทำให้สมบัติของยางเปลี่ยนแปลงไป [2]

Toyoichi Tanaka, David J. Fillmore (1979) ศึกษาการดูดซึมน้ำด้วยเม็ดพอลิเมอร์ ภายใต้สมมุติฐานว่าเวลาในการพองตัวของเม็ดพอลิเมอร์ถูกประมาณค่าได้จากสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารเข้าสู่เม็ดพอลิเมอร์ จากการศึกษาพบว่าเวลาในการพองตัวจะแปรผันกับอัตราการพองตัวของเม็ดพอลิเมอร์และ สามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ [9]

J.L.Taverdet, J.M.Vergnaud (1984) ทำการศึกษาการถ่ายโอนมวลของของเหลวเข้าสู่ PVC โดยใช้วิธี ทดสอบในระยะเวลาสั้น แทนการทดสอบด้วยระยะเวลาาน เนื่องจากเวลาเพียงระยะสั้น ค่าความเข้มข้นของสารจะมีค่าคงที่ ในงานวิจัยใช้ n-heptane เป็นของเหลวที่เข้าไปในเนื้อ PVC และสามารถหาสมการที่ใช้อธิบายการถ่ายโอนมวลของสารได้ [10]

S.Laoubi, J.Bouzon, J.M. Vergnaud (1991) ศึกษาการถ่ายโอนมวลของสารโกลูอิน เข้าสู่สารที่ใช้เคลือบวัสดุ(epoxy resin) ซึ่งเกิดจากการแพร่ของ โกลูอินเข้าสู่ epoxy resin โดยการแพร่ของ

สารจะขึ้นกับความแตกต่างของความเข้มข้น ความเข้มข้นบริเวณผิวของสารจะเพิ่มขึ้นตามเวลาเป็นความสัมพันธ์แบบ exponential [11]

Kershaw-DS, Kulik-BC, Pamukcu-S (1997) ศึกษาความสามารถในการดูดซึมสาร เบนซีน และ ออร์โทไซลีน ของกากยาง(ground rubber) ออกมาจากน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ดังกล่าวปนอยู่ โดยทำการศึกษาทั้งแบบกะ และ แบบเบตนิ่ง เพื่อหาค่าปริมาณการดูดซึมสารอินทรีย์ด้วยกากยางที่ภาวะต่าง ๆ ผลการทดลองพบว่ากากยางสามารถดูดซึมสารอินทรีย์ไว้ได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 40 [12]

Brookes-PR, Livingston-AG (1995) ศึกษาการสกัดสารอินทรีย์ที่เป็นของเสียออกจากสารละลาย โดยอาศัยแผ่นบางของยางแท่งซิลิโคนเป็นเยื่อเลือกผ่านที่ใช้ในการสกัดสารอินทรีย์สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารอินทรีย์ผ่านแผ่นยางนี้ หากหาค่าเลือกผ่านของแผ่นยาง ซึ่งแตกต่างกันในสารแต่ละชนิด ทำให้อัตราของสารแต่ละตัวที่ผ่านแผ่นยางออกมาได้ต่างกัน งานวิจัยได้เสนอ K พารามิเตอร์ที่เป็นค่าบ่งชี้ถึงค่าเลือกผ่านของสารแต่ละชนิด โดยพารามิเตอร์นี้หาค่าพารามิเตอร์การละลายของสารอินทรีย์แต่ละชนิด [13]

ปีพศ.2520 เพ็ชรพรรค ทศคร ได้ใช้ระบบทัศนภาพวิเคราะห์การกระจายของหยดของเหลว เพื่อใช้ในการเสนอทฤษฎีการแตกตัวของหยดของเหลว ในถังกวน โดยมีพื้นที่มาตรฐานของภาพขนาด 5×10^5 pdi. การขยายสูงสุดมีความละเอียด (resolution) ขนาด $0.25 \mu\text{m}$. เพื่อวัดขนาดและการกระจายขนาด ของหยดของเหลว ประมาณ 600-1000 เม็ดต่อครั้ง และเสนอ Turbulent intensity factor สำหรับกำหนดลักษณะการถ่ายโอนโมเมนตัมในถังกวน [29]