



1

1. การสกัดด้วยตัวทำละลาย liquid extraction

ใช้ตัวทำละลายของเหลวชนิดหนึ่งสกัดตัวถูกละลายออกจากของเหลวอีกชนิดหนึ่ง โดยของเหลวทั้ง 2 ชนิดไม่ละลายซึ่งกันและกัน

เทคนิคในการวิเคราะห์ห้อยู่ 3 วิธี

- สกัดแบบแบทช์ (Batch extraction) หรือการสกัดอย่างง่าย
- สารสกัดต่อเนื่อง (Continuous extraction)
- การสกัดแบบ เคาน์เตอร์ เคอเรนท์ (Counter current extraction)



3

3

การจำแนกเทคนิคการสกัด

เทคนิคการสกัดสามารถแบ่งย่อยได้ตามสถานะของตัวทำละลายที่ใช้สกัดสารดังนี้

1. เทคนิค liquid extraction สารสกัดเป็นของเหลว
2. เทคนิค liquid - solid extraction หรือเทคนิค solid phase extraction, SPE สารสกัดเป็นของแข็ง
3. เทคนิค gas extraction สารสกัดเป็นก๊าซ

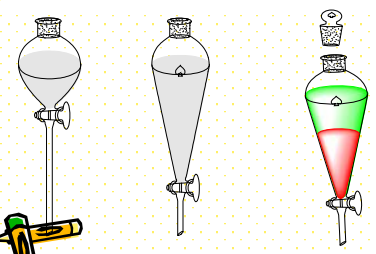


2

2

1. การสกัดอย่างง่าย

- สกัดอย่างง่าย เหมาะสำหรับแยกสารซึ่งมีค่าที่การกระจายตัว $D > 5$ โดยใช้ กรวยแยกสกัดเป็นเทคนิคที่ทำงาน สะดวกและรวดเร็ว



กรวยแยก Separating funnel



4

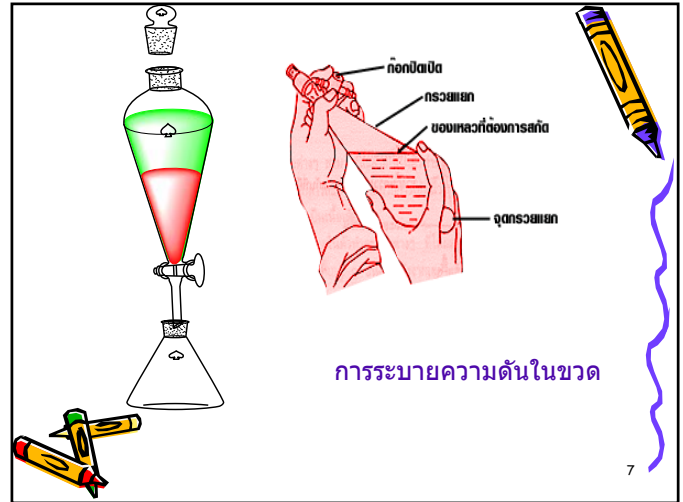
4

วิธีการสกัด (ดูคลิป)

1. ทำความสะอาดกรวยแยกที่ใช้ให้สะอาด สำหรับที่ก๊อกปิดเปิดให้ทำเช่นเดียวกับบีเวอร์ต์
2. เทสารละลายที่จะสกัดลงในกรวยแยก ไม่ควรใส่สารละลายมากเกินไป
3. เติมตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด แล้วปิดจุกให้แน่น
4. เขย่ากรวยแยกเบาๆ แล้วเปิดก๊อกเป็นครั้งคราวหลังจากหยุดเขย่าเพื่อลดแรงดันภายในกรวยแยก
5. นำกรวยแยกไปตั้งในแนวตั้งบนที่ยึดวงแหวน เพื่อให้สารละลายแยกเป็น 2 ชั้น เอาจุกที่ปิดออก
6. เปิดก๊อกให้สารละลายที่อยู่ชั้นล่างไหลลงในภาชนะรองรับอย่างช้าๆ
7. ทำซ้ำ โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นที่ 3 และใช้ตัวทำละลายในการสกัดใหม่

นำสารละลายที่สกัดออกมารวมกันจะเป็นสารที่สกัดได้ทั้งหมด

5



7

ข้อควรระวัง

เนื่องจากกรวยแยกแตกง่ายและมีราคาแพง

- ก๊อกกรวยแยกจะต้องปิดให้อยู่ในตำแหน่งเดิม
- ต้องลดความดันโดยขณะเขย่ากรวยแยก
- ตรงรอยต่อระหว่างชั้นทั้งสองไม่สามารถจะแยกออกจากกันได้ อย่างเด็ดขาด ต้องนำมาแยกออกจากกันโดยการกรองเมื่อการสกัดได้สิ้นสุดลงแล้ว

การป้องกัน การเกิดสภาวะอิมัลชัน (Emulsion)

- หลีกเลี่ยงการเขย่าอย่างรุนแรง อาจใช้ อุลตราโซนิคฟิเคชัน
- ใช้สารละลายเนื้อผสม ในการสกัด
- เติมสารประกอบเกลือ (NaCl) เพื่อเพิ่มความหนาแน่นของน้ำ และเปลี่ยนแปลงแรงดึงดูด

6

2. กลไกการแยกสารโดยใช้ของแข็งสกัด

กลไกการแยกสารโดยใช้ของแข็งสกัด ที่นิยมใช้ มี 3 แบบ คือ

1. อันตรกิริยาแบบไม่มีขั้ว (nonpolar interaction)
2. อันตรกิริยาแบบมีขั้ว (polar interaction) และ แบบ พันธะ (bond phase partition mode)
3. อันตรกิริยาแบบไอออน (ionic interaction)

8

1. อันตรกิริยาแบบไม่มีขั้ว (nonpolar interaction)

อันตรกิริยาแบบไม่มีขั้ว เกิดขึ้นระหว่างหมู่ ฟังก์ชันของตัวดูดซับที่เป็นของแข็งชนิดไม่มีขั้ว กับ สารละลายชนิดไม่มีขั้ว สารจะเกิดอันตรกิริยา โดยการดูดซับ (adsorption) ซึ่งกันและกันด้วยแรง แวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals)

9

3. อันตรกิริยาแบบไอออน (ionic interaction)

ตัวดูดซับจะมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถกลายเป็นไอออนได้ (ionization) แบ่งกลไกการแยกได้ 2 แบบ

1. แบบแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange)
2. แบบแลกเปลี่ยนไอออนลบ (anion exchange)

11

2. อันตรกิริยาแบบมีขั้ว (polar interaction) และ แบบพันธะ (bond phase partition mode)

แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

- นอร์มอล เฟส (normal phase) สารชนิดมีขั้วจะเกิดอันตรกิริยากับตัวดูดซับที่เป็นชนิดมีขั้ว ได้แก่ ซิลิกาที่ไม่ได้แปลงสมบัติทางเคมี โดยมีเมตริกซ์ในตัวอย่างเป็นสารชนิดไม่มีขั้วและสารละลายที่ใช้จะเป็นชนิดมีขั้ว
- รีเวอร์สเฟส (reverse phase) สารชนิดไม่มีขั้วจะเกิดอันตรกิริยากับตัวดูดซับชนิดไม่มีขั้ว ได้แก่ ซิลิกาซึ่งผิวหน้าถูกเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี โดยมีเมตริกซ์ในตัวอย่างเป็นสารชนิดมีขั้วและสารละลายที่ใช้จะเป็นชนิดมีขั้วต่ำ

10

Liquid-Liquid Extraction (LLE)

- นิยมใช้มาก
- สำหรับสกัดสารอินทรีย์ที่สามารถระเหยได้บ้าง
- เกิดการกระจายตัวระหว่างเฟส 2 เฟส ที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันเฟส 2 เฟส ได้แก่
 - เฟสน้ำ : มีสารตัวอย่างที่ต้องการสกัดอยู่
 - เฟสสารละลายอินทรีย์ : ตัวทำละลายอินทรีย์
- Like dissolves like

Distribution Coefficient (Kd), Kd = ค่าคงที่ของการกระจายตัว

$$Kd = \frac{[A]_{org}}{[A]_{aq}}$$

[A]_{org} = ความเข้มข้นของ A ในชั้นสารละลายอินทรีย์
[A]_{aq} = ความเข้มข้นของ A ในชั้นน้ำ

12

ค่าที่การกระจายตัว Distribution D,

$$D = \frac{[C_A]_{org}}{[C_A]_{aq}}$$

$[C_A]_{org}$ = ความเข้มข้นของ A ทุกสปีชีส์ในชั้นสารละลายอินทรีย์

$[C_A]_{aq}$ = ความเข้มข้นของ A ทุกสปีชีส์ในชั้นน้ำ

เช่น การสกัดกรดเบนโซอิก HB จากชั้นน้ำสู่ชั้นอีเทอร์
ที่ pH ต่างๆ HB ไม่เกิดการแตกตัว

$$K_d = D = \frac{[HB]_{ether}}{[HB]_{aq}}$$

13

13

$$D = \frac{[HB]_{eth}}{[HB]_{aq} + \frac{K_a [HB]_{aq}}{[H_3O^+]_{aq}}}$$

เอา $[HB]_{aq}$ หารทั้งเศษ และส่วน

$$D = \frac{[HB]_{eth}}{[HB]_{aq} \left(1 + \frac{K_a}{[H_3O^+]_{aq}} \right)}$$

$$D = \frac{K_d}{1 + \frac{K_a}{[H_3O^+]_{aq}}}$$

15

15

1. กรณีที่ pH ↑ HB แตกตัวในชั้นน้ำได้



$$K_a = \frac{[B^-][H_3O^+]}{[HB]} \quad \text{จัดรูป} \quad [B^-] = \frac{K_a [HB]}{[H_3O^+]}$$

$$K_d = \frac{[HB]_{eth}}{[HB]_{aq}}$$

$$D = \frac{[HB]_{eth}}{[HB]_{aq} + [B^-]_{aq}}$$

14

14

$$D = \frac{K_d}{1 + \frac{K_a}{[H_3O^+]_{aq}}}$$

พิจารณาที่ pH ↓ $D = K_d$ เนื่องจาก $\frac{K_a}{[H_3O^+]_{aq}} \ll 1$

พิจารณาที่ pH ↑ $\frac{K_a}{[H_3O^+]_{aq}} \gg 1$

$$D = \frac{K_d}{\frac{K_a}{[H_3O^+]_{aq}}}$$

16

16

$$D = \frac{K_d}{\frac{K_a}{[H_3O^+]_{aq}}}$$

$$\text{Log } D = \text{Log } K_d - \text{Log } K_a + \text{Log } [H_3O^+]$$

$$\text{Log } D = \text{Log } K^* - \text{pH}$$

17

$$D = \frac{[HB]_{ben}}{[HB]_{aq}} \left(\frac{1 + K_{di} \frac{[HB]_{ben}}{K_a}}{1 + \frac{K_a}{[H_3O^+]}} \right)$$

$$D = K_d \left(\frac{1 + K_{di} \frac{[HB]_{ben}}{K_a}}{1 + \frac{K_a}{[H_3O^+]}} \right)$$

กรณีใช้เบนซีนสกัด ค่า D ขึ้นกับ pH และ [HB]

19

กรณีที่ 2 ในชั้นเบนซีนเกิดไดเมอร์

$$2 HB \rightleftharpoons HB.HB$$

$$K_{di} = \frac{[HB.HB]}{[HB]^2}$$

$$D = \frac{[HB]_{ben} + [HB.HB]_{ben}}{[HB]_{aq} + [B^-]_{aq}}$$

$$D = \frac{[HB]_{ben} + \frac{[HB.HB]_{ben}}{K_{di}}}{[HB]_{aq} + [B^-]_{aq}}$$

$$D = \frac{[HB]_{ben} + \frac{K_{di} [HB]_{ben}^2}{K_a [H_3O^+]}}{[HB]_{aq} + \frac{K_a}{[H_3O^+]}}$$

18

ตัวอย่าง 1 กรดเบนโซอิก 2.30 g ละลายในน้ำ 100 mL ถูกสกัดด้วย ether 100 mL ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายเท่ากับ 100 และ K_a 6.5×10^{-5} จงหาอัตราส่วนการกระจาย D ที่ pH ของชั้นน้ำเป็น 3.5, 5.0, 11.0 ตามลำดับ

$$D = \frac{K_d}{1 + \frac{K_a}{[H_3O^+]_{aq}}}$$

pH ของชั้นน้ำเป็น 3
 $[H_3O^+] = 10^{-3.5}$

pH ของชั้นน้ำเป็น 5
 $[H_3O^+] = 10^{-5}$

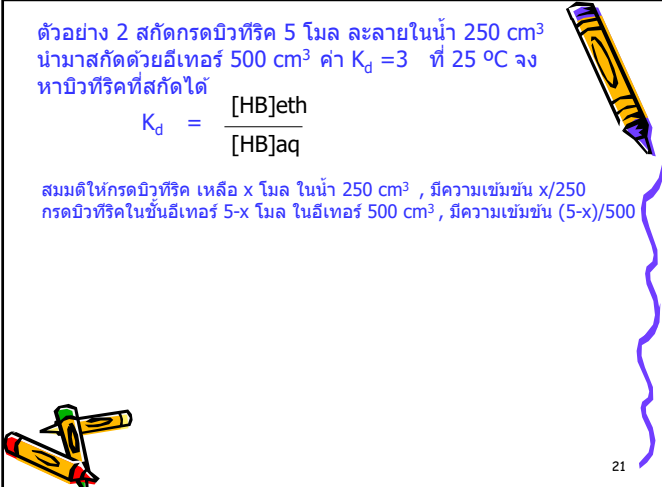
pH ของชั้นน้ำเป็น 11
 $[H_3O^+] = 10^{-11}$

20

ตัวอย่าง 2 สกัดกรดบิวทีริก 5 โมล ละลายในน้ำ 250 cm³
 นำมาสกัดด้วยอีเทอร์ 500 cm³ ค่า $K_d = 3$ ที่ 25 °C จง
 หาบิวทีริกที่สกัดได้

$$K_d = \frac{[HB]_{eth}}{[HB]_{aq}}$$

สมมติให้กรดบิวทีริก เหลือ x โมล ในน้ำ 250 cm³ , มีความเข้มข้น x/250
 กรดบิวทีริกในชั้นอีเทอร์ 5-x โมล ในอีเทอร์ 500 cm³ , มีความเข้มข้น (5-x)/500

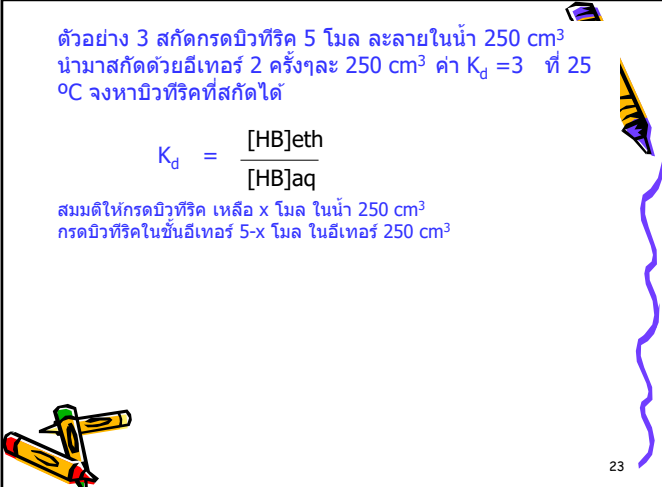


21

ตัวอย่าง 3 สกัดกรดบิวทีริก 5 โมล ละลายในน้ำ 250 cm³
 นำมาสกัดด้วยอีเทอร์ 2 ครั้งๆละ 250 cm³ ค่า $K_d = 3$ ที่ 25
 °C จงหาบิวทีริกที่สกัดได้

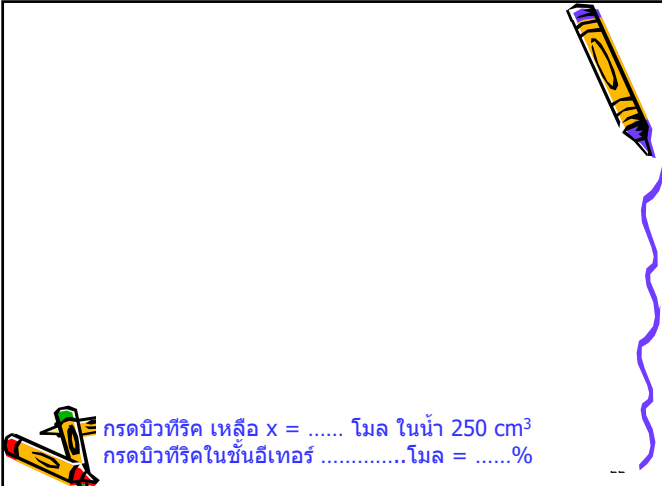
$$K_d = \frac{[HB]_{eth}}{[HB]_{aq}}$$

สมมติให้กรดบิวทีริก เหลือ x โมล ในน้ำ 250 cm³
 กรดบิวทีริกในชั้นอีเทอร์ 5-x โมล ในอีเทอร์ 250 cm³



23

กรดบิวทีริก เหลือ x = โมล ในน้ำ 250 cm³
 กรดบิวทีริกในชั้นอีเทอร์โมล =%



22

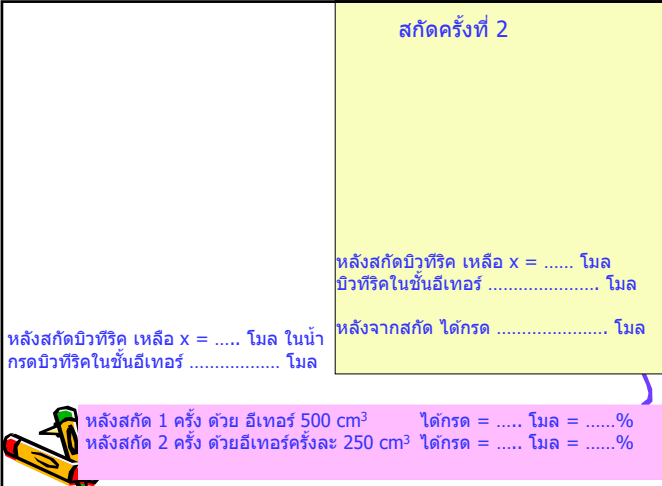
สกัดครั้งที่ 2

หลังสกัดบิวทีริก เหลือ x = โมล
 บิวทีริกในชั้นอีเทอร์ โมล

หลังสกัดบิวทีริก เหลือ x = โมล ในน้ำ
 กรดบิวทีริกในชั้นอีเทอร์ โมล

หลังจากสกัด ได้กรด โมล

หลังสกัด 1 ครั้ง ด้วย อีเทอร์ 500 cm³ ได้กรด = โมล =%
 หลังสกัด 2 ครั้ง ด้วยอีเทอร์ครั้งละ 250 cm³ ได้กรด = โมล =%



24

ประสิทธิภาพของการสกัด %E, %extraction
คือเปอร์เซ็นต์ของตัวถูกละลายที่ถูกสกัดออกไปได้
สกัดครั้งที่ 1

กำหนดให้ V_1 = ปริมาตรของน้ำ
 V_2 = ปริมาตรของตัวทำละลายอินทรีย์
 W_0 = ปริมาณของตัวถูกละลายเริ่มต้นในชั้นน้ำ
 W_1 = ปริมาณของตัวถูกละลายที่เหลือในน้ำ
เมื่อสกัดครั้งที่ 1

$$D = \frac{[C_A]_2}{[C_A]_1} \quad [C_A]_1 = \frac{w_1}{V_1} \quad [C_A]_2 = \frac{w_0 - w_1}{V_2}$$

$$D = \frac{(w_0 - w_1)/V_2}{w_1/V_1}$$

$$D = \frac{(w_0 - w_1)V_1}{w_1 V_2}$$

25

สารถูกสกัดไป = $1 - w_1/w_0 = E$

$$1 - \frac{w_1}{w_0} = 1 - \frac{V_1}{(DV_2 + V_1)}$$

$$E = 1 - \frac{w_1}{w_0} = 1 - \frac{V_1}{(DV_2 + V_1)}$$

$$E = \frac{DV_2 + V_1 - V_1}{DV_2 + V_1}$$

$$E = \frac{DV_2}{DV_2 + V_1}$$

$$E = \frac{D}{D + \frac{V_1}{V_2}}$$

27

$$Dw_1V_2 = (w_0 - w_1)V_1$$

$$Dw_1V_2 = w_0V_1 - w_1V_1$$

$$Dw_1V_2 + w_1V_1 = w_0V_1$$

$$w_1(DV_2 + V_1) = w_0V_1$$

$$w_1 = \frac{w_0V_1}{(DV_2 + V_1)}$$

$$\frac{w_1}{w_0} = \frac{\cancel{w_0}V_1}{\cancel{w_0}(DV_2 + V_1)}$$

เริ่มต้น เศษส่วนของตัวถูกละลาย $w_0/w_0 = 1$

หลังสกัด เศษส่วนของตัวถูกละลาย = w_1/w_0

26

$$100 \times E = 100 \times \frac{D}{D + \frac{V_1}{V_2}}$$

$$\%E = \frac{100D}{D + \frac{V_1}{V_2}}$$

$$100 \times E = 100 \times \frac{D}{D+1}$$

$$\%E = \frac{100D}{D+1}$$

$$100E + 100ED = 100D$$

$$100E = 100D - 100ED$$

$$100E = D(100 - 100E)$$

$$D = \frac{100E}{100 - 100E}$$

$$D = \frac{\%E}{100 - \%E}$$

28

26

28

pH กับการสกัด

จากสมการ

$$D = \frac{\%E}{100 - \%E}$$

$$\log D = \log K^* - pH, K^* = K_d/K_a$$

$$\log D = \log \left(\frac{\%E}{100 - \%E} \right) = \log K^* - pH$$

ที่การสกัดได้ 50%, %E=50

$$\log \left(\frac{50}{100 - 50} \right) = \log K^* - pH$$

$$\log 1 = \log K^* - pH$$

$$0 = \log K^* - pH$$

$$\log K^* = pH$$

pH ที่การสกัด 50%, % E=50 $pH_{1/2}$

29

29

การสกัดครั้งที่ 2

การสกัดครั้งที่ 2 ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในชั้นน้ำ w_2/V_1

ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ $(w_1 - w_2)/V_2$

$$D = \frac{(w_1 - w_2)/V_2}{w_2/V_1}$$

$$D = \frac{(w_1 - w_2)V_1}{w_2 V_2}$$

จัดรูปสมการจะได้

$$w_2 = w_1 \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)$$

จากสมการ การสกัดครั้งที่ 1

$$w_1 = w_0 \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)$$

31

31

สกัดครั้งที่ n

กำหนดให้

V_1 = ปริมาตรของน้ำ

V_2 = ปริมาตรของตัวทำละลายอินทรีย์

W_0 = ปริมาณของตัวถูกละลายในชั้นน้ำ

W_1 = ปริมาณของตัวถูกละลายที่เหลือในน้ำ
เมื่อสกัดครั้งที่ 1

W_2 = ปริมาณของตัวถูกละลายที่เหลือในน้ำ
เมื่อสกัดครั้งที่ 2

W_3 = ปริมาณของตัวถูกละลายที่เหลือในน้ำ
เมื่อสกัดครั้งที่ 3

...

W_n = ปริมาณของตัวถูกละลายที่เหลือในน้ำ
เมื่อสกัดครั้งที่ n

30

30

ดังนั้น การสกัดครั้งที่ 2 ปริมาณตัวถูกละลายที่เหลือในชั้นน้ำ

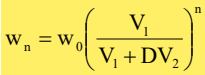
$$w_2 = w_0 \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)^2$$

สกัดครั้งที่ n
คำนวณหาปริมาณตัวถูกละลายที่เหลือในชั้นน้ำได้

$$w_n = w_0 \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)^n$$

32

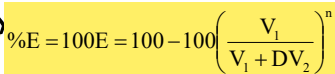
32



$$w_n = w_0 \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)^n$$

$$\frac{w_n}{w_0} = \frac{w_0}{w_0} \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)^n$$

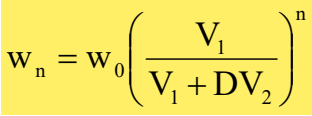
$$1 - \frac{w_n}{w_0} = 1 - \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)^n$$

$$E = 1 - \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)^n$$


$$\%E = 100E = 100 - 100 \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)^n$$



33



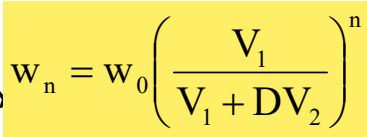
$$w_n = w_0 \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)^n$$



35

ตัวอย่าง 4 ถ้า K_d ของ I_2 ระหว่างสารอินทรีย์กับน้ำ = 85 จงหา $[I_2]$ ที่เหลืออยู่เมื่อทำการสกัด I_2 จากชั้นน้ำ 100.0 mL เข้มข้น 1.00×10^{-3} M เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลาย

ก) 50.0 mL ข) 2×25.0 mL ค) 5×10.0 mL

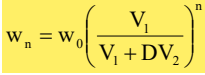



$$w_n = w_0 \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)^n$$



34

ตัวอย่าง 5 จงคำนวณหาปริมาณลิกรัมที่เหลือของ Fe^{3+} ในสารละลายที่มี HCl 6M จำนวน 200 cm³ สกัดด้วย ethyl ether 4 x 25 cm³ (Fe^{3+} เริ่มต้น 0.200g) ค่าสัดส่วนของการกระจาย (D) ประมาณ 100 และถ้าสกัดด้วย ethylether 1x100 cm³ จะเหลือ Fe^{3+} เท่าไร



$$w_n = w_0 \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)^n$$



36

ตัวอย่าง 6 ต้องทำการสกัดกี่ครั้งจึงจะทำให้ประสิทธิภาพการสกัดเป็น 99.9% ถ้ามี ethyl ether เพียง 150 cm³ ในการสกัด Fe³⁺ ในสารละลายที่มี HCl 6M จำนวน 100 cm³ (Fe³⁺ เริ่มต้น 0.2g) ค่าสัดส่วนของการกระจาย (D) ประมาณ 100

$$\%E = 100 - 100 \left(\frac{V_1}{V_1 + DV_2} \right)^n$$

37

37

การเลือกชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์

- ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ (Immiscible with water (Low solubility))
- มีขั้วและมีพันธะไฮโดรเจน
- ระบายได้ง่ายเพื่อง่ายต่อการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด
- เหมาะสม (compatible) กับเทคนิคการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป เช่น GC, RP-HPLC

39

39

ปริมาณของสารที่สกัดได้ขึ้นอยู่กับ

- ค่า K_d
- สัดส่วนของ V_{org} / V_{aq}
- การสกัดหลายครั้งดีกว่าการสกัดครั้งเดียวเมื่อใช้ปริมาตรสารสกัดเท่ากัน
- ร้อยละของการสกัด (%recovery) ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร

38

38

การปรับปรุงตัวทำละลายอินทรีย์

สามารถเพิ่มความจำเพาะเจาะจงโดยการเติมสารชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อสภาวะสมดุล

- ปรับ pH
- เติม ion pair
- เติม Chelating agent
- เติมเกลือ salting out

} เพิ่ม K_d

40

40

ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดแบบ LLE

ตัวทำละลายชั้นน้ำ

- Pure water
- Acidic solution
- Basic solution
- High salt (Salting out)
- Complexing agents (ion -pairing, chelating, chelating and chiral agents)
- สารละลายผสมของสารข้างต้นตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป

ตัวทำละลายชั้นอินทรีย์

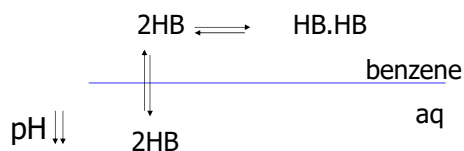
- Diethyl ether
- Methylene chloride
- Chloroform
- Ethyl acetate
- Aliphatic ketones (C6+)
- Aliphatic alcohol (C6+)
- Toluene and xylenes
- สารละลายผสมของสารข้างต้นตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป

41

41

เทคนิคการสกัดเพื่อให้ได้ผลดี

1 การทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงในชั้นอินทรีย์ เพื่อให้สารที่สนใจกระจายตัวเข้าไปในชั้นอินทรีย์ให้ได้ผลดีขึ้น



43

43

ต้องสกัดกี่ครั้งดี?

$$V = V_{\text{org}} / V_{\text{aq}}$$

$$K_d = 10$$

$$V = 10$$

$$\#1 \text{ E} = 99.0\%$$

$$K_d = 10$$

$$V = 1$$

$$\#1 \text{ E} = 90.9\%$$

$$\#2 \text{ E} = 99.2\%$$

$$K_d = 10$$

$$V = 0.1$$

$$\#1 \text{ E} = 50.0\%$$

$$\#2 \text{ E} = 75.0\%$$

$$\#3 \text{ E} = 87.5\%$$

$$\#4 \text{ E} = 93.8\%$$

$$\#5 \text{ E} = 96.9\%$$

$$\#6 \text{ E} = 98.4\%$$

$$\#7 \text{ E} = 99.2\%$$

$$K_d = 100$$

$$V = 1$$

$$\#1 \text{ E} = 99.0\%$$

$$K_d = 1000$$

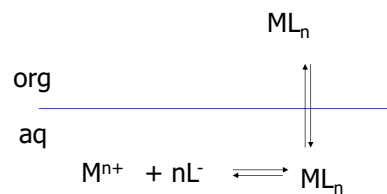
$$V = 0.1$$

$$\#1 \text{ E} = 99.0\%$$

42

42

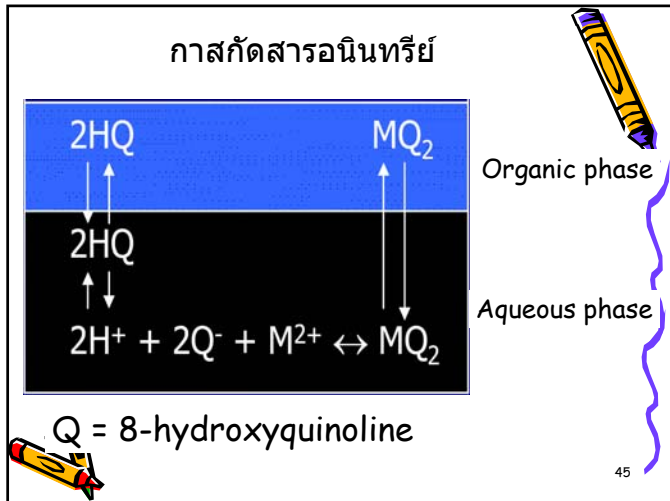
2 การทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงในชั้นน้ำ เช่น การเติม Complexing reagent ทำให้เกิดสารประกอบที่สามารถกระจายตัวเข้าสู่ชั้นอินทรีย์ได้



ใช้ในการสกัดโลหะ ต้องควบคุม pH เพื่อให้ลิแกนด์แตกตัวได้มากขึ้น

44

44



45

- ข้อเสียของการสกัดแบบ LLE
- ใช้เวลานาน
 - การสกัดต้องทำหลายครั้งเพื่อให้การสกัดสมบูรณ์
 - ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นอันตรายปริมาณค่อนข้างสูง
 - เกิด emulsion และยากต่อการแก้ไข
 - ใช้อุปกรณ์ที่ไม่ค่อยสะดวก
 - ใช้แรงงานมาก
 - ส่วนใหญ่ต้องทำสารสกัดให้เข้มข้นมากขึ้นหลังการสกัด
 - ทำการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติไม่ได้
- 47

47

ประสิทธิภาพของการแยกตัวถูกละลายจากสารผสม

พิจารณาจาก separating factor (α)

$$\alpha = \frac{D_1}{D_2}$$

ถ้าต้องการแยกสาร 1 ออกจากสาร 2 = 99.995

$$D_1 = 99.995 \quad D_2 = 0.005$$

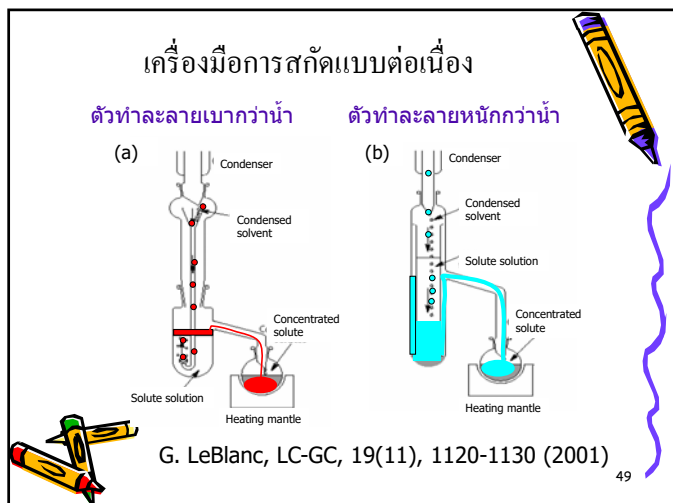
$$\alpha = \frac{99.995}{0.005} = 19999$$

46

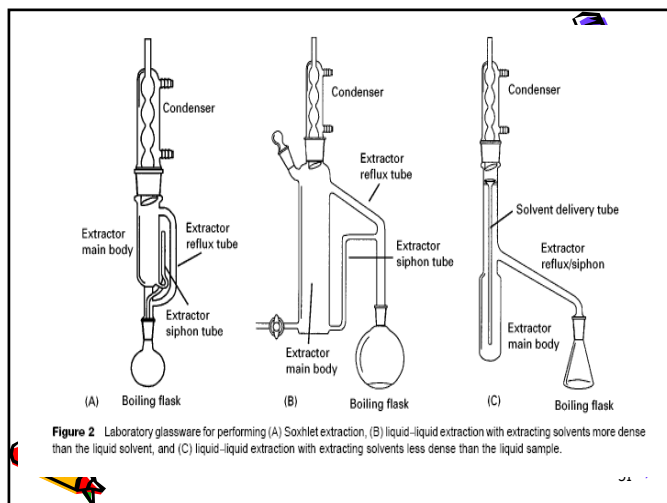
46

- 2 สารสกัดต่อเนื่อง (continuous liquid-liquid extraction)
- เหมาะสำหรับแยกสาร ที่มีอัตราส่วนการกระจายต่ำ หรือมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ($0 < D < 1$)
 - เครื่องมือ 2 แบบ
 - เครื่องมือต่อเนื่องสำหรับสารละลายอินทรีย์ที่มีความหนาแน่น มากกว่า น้ำ (คลอโรฟอร์ม คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ไดคลอโรมีเทน)
 - เครื่องมือต่อเนื่องสำหรับสารละลายอินทรีย์ที่มีความหนาแน่น น้อยกว่า น้ำ (ไดเอทิล อีเธอร์ โทลูอีน เฮกเซน)
- สารละลายอินทรีย์เกิดการกลั่น และ ความแน่นตัวอย่างต่อเนื่อง ทำให้สารถูกสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ที่ความแน่นจากระบบเข้าไปเข้ามา เหมือนสารถูกสกัดซ้ำๆ หลายครั้ง
- 48

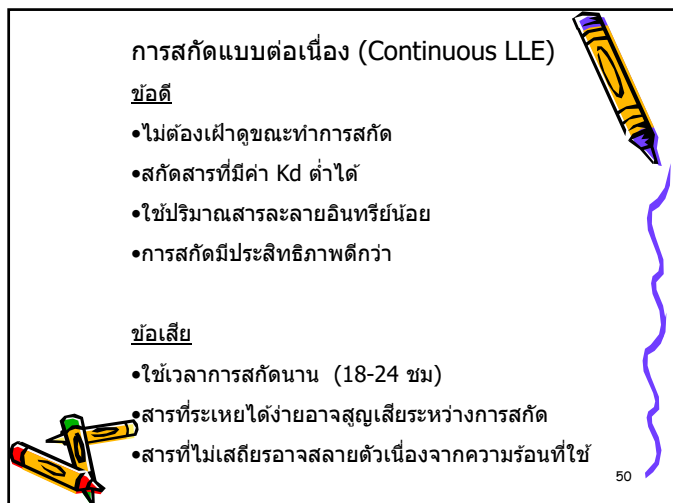
48



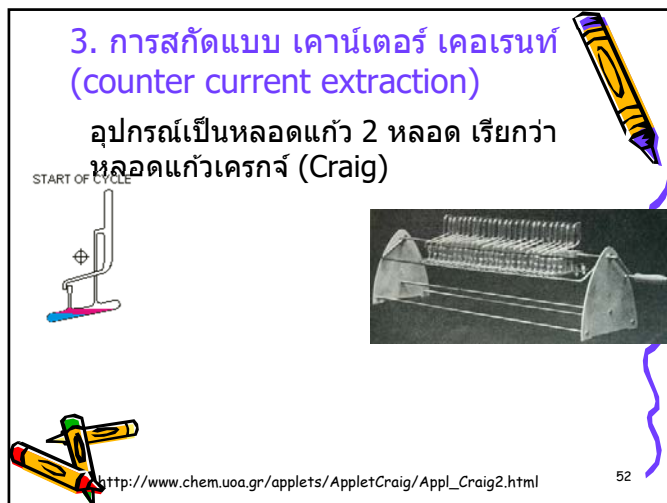
49



51



50



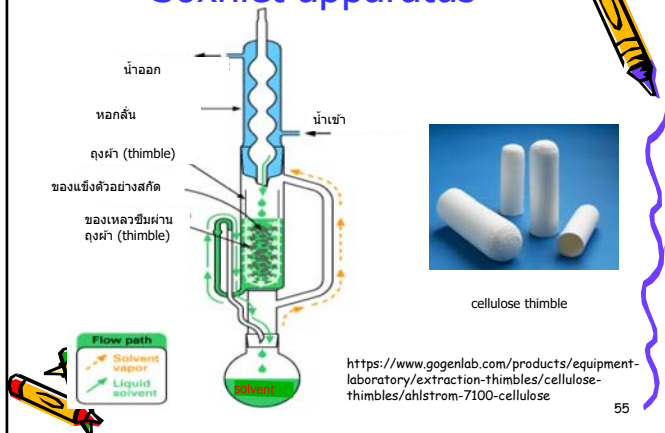
52

Extraction from Solids

1. Soxhlet extraction
2. Accelerated solvent extraction (ASE) (also called pressurized Fluid extraction)
3. Microwave-assisted extractions
4. Supercritical Fluid extraction (SFE)
5. purge-and-trap technique

53

Soxhlet apparatus



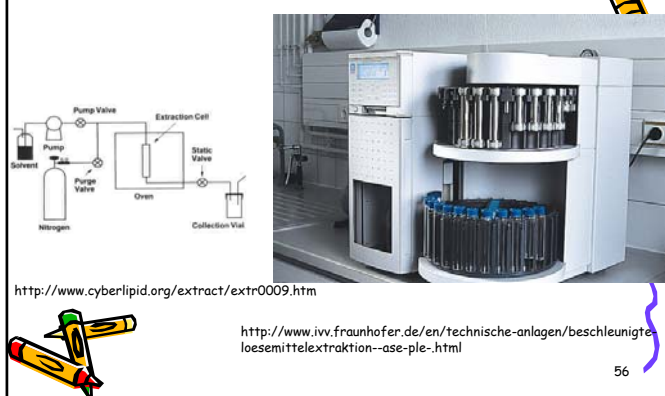
55

เทคนิคโซลิด – ลีควิดเอกซ์เทรคชัน

- เป็นเทคนิคสกัดตัวอย่างที่เป็นของแข็ง โดยใช้สารละลาย
- อุปกรณ์สกัด ที่เรียกว่า "ขวด โซลล์เกต (Soxhlet flask)" ประดิษฐ์และคิดค้นโดย **Franz Von Soxhlet** นักเคมีการเกษตร (agricultural chemist)

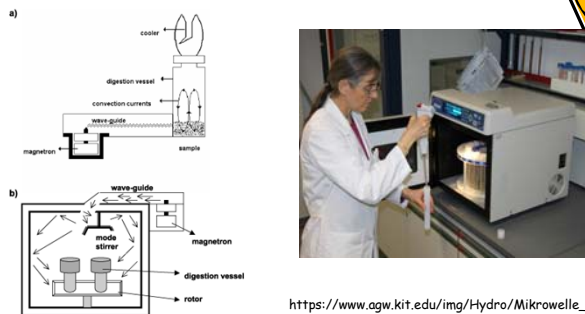
54

Accelerated solvent extraction (ASE/PLE)



56

Microwave-assisted extractions



http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532003000200004

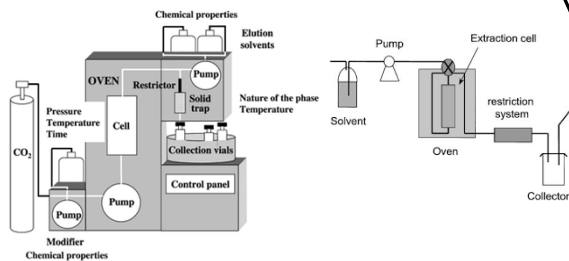
57

Further Reading

1. Barton AFM (ed.) (1990) *Handbook of Polymer-Liquid Interaction Parameters and Solubility Parameters*. Boca Raton: CRC Press.
2. Dean JR (1990) *Extraction Methods for Environmental Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
3. Giddings JC (1991) *Unified Separation Science*. New York: John Wiley & Sons.
4. Handley AJ (ed.) (1999) *Extraction Methods in Organic Analysis*. SheffReld: SheffReld Academic Press.
5. Karger BL, Snyder LR and Horvath C (1973) *An Introduction to Separation Science*. New York: John Wiley & Sons.
6. Lide DR (ed.) (1994) *Handbook of Organic Solvents*. Boca Raton: CRC Press.
7. Morrison GH and Freiser H (1957) *Solvent Extraction in Analytical Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
8. Perry RH and Green DW (eds) (1997) *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 7th edn. New York: McGraw-Hill.
9. Rydberg J, Musikas C and Choppin GR (eds) (1992) *Principles and Practice of Solvent Extraction*. New York: Marcel-Dekker.

59

Supercritical Fluid extraction (SFE)



<http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2001/an/b008243k/unauth#divAbstract>

58