



รายการอ้างอิง

- ปานทิพย์ เปลี่ยนโชพี. 2533. โรงงานผลิตถ่านกะลาส่งนอก บทพิสูจน์
ความสำเร็จของคนไทย. อุตสาหกรรมสาร 33: 48-59.
- พัชรวิไล พงษ์วิษุฒดา. 2527. ชั่งข้าวโพด. วารสารวิทยาศาสตร์
38: 269-271.
- วิโรจน์ วิภาคแพทย์. 2518. อุตสาหกรรมการผลิตถ่านที่มีปฏิกิริยา.
อุตสาหกรรมสาร 18: 1-18.
- ศุลกากร, กรม. 2530-2534. สถิติการนำเข้าและส่งออกของกรม
ศุลกากร. กรุงเทพมหานคร: กรมศุลกากร.
- อุไรวรรณ ธรรมรัตน์พคุณ. 2523. การศึกษาเรื่องการทำถ่านกัมมันต์
จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ กองการวิจัย
กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- American Water Works Assosiation. 1974. AWWA standard
for granular activated carbon. 1st ed.
Denver: American Water Works Assosiation.
- Davidson, H.W, Wigg, P.K.C., Chwehouse, A.H., Maggs,
F.A.P and Bradley, R.S. 1968. Manufactured
carbon. London: Pegamon press Ltd.
- Eugene C. Stafford. 1980. Modern industrial
ceramics. Indianapolis: The bobbs-Merrill
Company.

Hassler , J.W. 1967. Activated carbon. 1st ed.

London: Leonard Hill

_____ . 1974. Purification with activated carbon.

New York: Chemical Publishing.

Slavoj Cerny and Milan Smisek. 1970. Active carbon.

New York: Elsevier Publishing.

Yehaske , A. 1978. Activated carbon , manufacture

and regeneration. New Jersey: Noyes Data

corporation.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

สารเคมีในการทดสอบไอโอดีนและวิธีเตรียม

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid ,HCl) เข้มข้น
ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 70 มล. ในน้ำ 550 มล. กวนให้เข้ากัน

2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate ,
 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0.1000 นอร์มัล

ละลาย 24.820 กรัมของโซเดียมไธโอซัลเฟต (A.R. grade)
ในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดแล้วและทำให้เย็นใหม่ๆ เติม 0.1 กรัมโซเดียมคาร์บอเนต
ลงไป แล้วทำให้ปริมาตรของสารละลายเป็น 1 ลิตร เก็บสารละลายในขวด
กันแสงทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 วันก่อนหาความเข้มข้น ควรไตเตรตหา
ความเข้มข้นก่อนใช้ทุกครั้งด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต

3. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต (Potassium Iodate, KIO_3)
0.1000 นอร์มัล

อบโพแทสเซียมไอโอเดต (A.R. grade) ในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 °C
เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ ละลาย
โพแทสเซียมไอโอเดตซึ่งอบแห้งแล้ว 3.5667 มก. ละลายในน้ำกลั่นแล้วทำให้
สารละลายมีปริมาตร 1000 มล. ในขวดวัดปริมาตร คำนวณหาความเข้มข้นที่
แน่นอนของสารละลายนี้

4. สารละลายแป้ง (Starch Solution)

นำ 1.0 กรัมของแป้งที่ละลายน้ำได้มาละลายในน้ำเล็กน้อย คนให้เป็นแป้งเปียก เทน้ำร้อนที่เดือด 100 มล. ลงไปแล้วคนให้แป้งละลาย ต้มสารละลายที่ได้ 1 นาที แล้วทำสารละลายที่ได้ให้เย็น เติม 2 กรัมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) คนสารละลายที่ได้ให้ผสมกันแล้วเก็บไว้ในขวดที่มีจุกอุด (ถ้าต้องการใช้สารละลายเป็นเวลาหลายเดือน ควรเติม 5 มก. ของเมอร์คิวรี(II)ไอโอไดด์ (HgI_2) แทน KI)

5. สารละลายมาตรฐานไอโอดีน (Iodine Solution) 0.1000 นอร์มัล

ชั่ง 12.700 กรัม ของผลึกไอโอดีน และโพแทสเซียมไอโอไดด์ในบีกเกอร์ ผสมเข้าด้วยกันแล้วเติมน้ำ 2-5 มล. คนให้ดี ค่อยๆเติมน้ำทีละน้อยขณะกวนจนกระทั่งได้ปริมาตรรวม 50-60 มล. ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าผลึกละลายหมดแล้ว ทำสารละลายให้มีปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร เก็บสารละลายในขวดกันแสง

6. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

6.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮโอซิลเฟต

ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต มา 25.0 มล. ใส่ในขวดแก้วรูปกรวย เติม 2.00 กรัมของโพแทสเซียมไอโอไดด์แล้วเขย่า เพื่อละลายผลึกโพแทสเซียมไอโอไดด์ ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มล. ใส่ในขวดแก้ว จากนั้นไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซิลเฟตจนกระทั่งมีสีเหลืองอ่อน หยด 1-2 หยดของน้ำแป้งและไตเตรตจนไม่มีสี หาความเข้มข้นของสารละลายได้จากสมการ

$$N_1 = (P \cdot R) / S$$

$$N_1 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซิลเฟต เป็น นอร์มัล (N)}$$

P = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต
เป็น มิลลิลิตร

R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต
เป็น นอร์มัล (N)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไซโอซิลเฟต เป็น
มิลลิลิตร

ทำการไตเตรตซ้ำอีก 2 ครั้งแล้วเฉลี่ยผลที่ได้ (ผลที่ได้แต่ละครั้งไม่ควรต่างเกิน 0.1 มล.)

6.2 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานไอโอดีน

ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25.0 มล. ใส่ในขวดแก้วรูปกรวย ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไซโอซิลเฟต จนกระทั่งสารละลายไอโอดีนเป็นสีเหลืองอ่อน เติมน้ำบั๊ง 1-2 หยดแล้วไตเตรตจนไม่มีสีหาความเข้มข้นได้จาก

$$N_2 = (S * N_1) / I$$

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน เป็นนอร์มัล

I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน เป็นมิลลิลิตร

ทำการไตเตรตซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วเฉลี่ยผลที่ได้ (ผลแต่ละครั้งไม่ควรต่างเกิน 0.1 มล.)

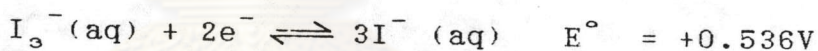
ไอโอดิเมทรี (Iodimetry)

ไอโอดีนเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างอ่อน และเป็นของแข็งระเหิดได้ง่าย เราจึงไม่นิยมใช้เป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ สารละลายไอโอดีนเตรียมได้โดยละลายผลึกไอโอดีนในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้นของไอโอดีนหาได้โดยการไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไซโอซิลเฟต ไอโอดีนเป็นสารที่สามารถออกซิไดซ์สารอื่นได้ในสารละลายที่เป็นกลาง

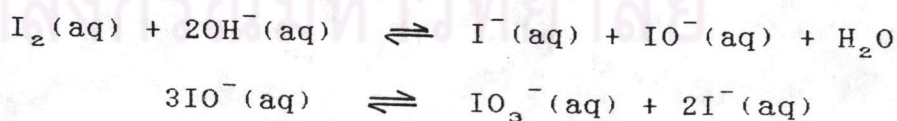
การไตเตรตที่เกี่ยวข้องกับไอโอดีนแบ่งออกเป็น 2 อย่างคือ แบบตรง (direct method) แบบนี้ไอโอดีนทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่เราต้องการวิเคราะห์ และปริมาณของสารสามารถหาได้จากการไตเตรตโดยตรงหรือแบบแบคไตเตรชัน (back titration) การหาปริมาณแบบนี้เรียกว่าไอโอดิมิตรี (iodimetry) ส่วนอีกแบบหนึ่ง ไอโอดีนเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสารที่เราต้องการหาปริมาณกับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ปริมาณของไอโอดีนที่เกิดขึ้นนำมาไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต การหาปริมาณแบบนี้เราเรียกว่า ไอโอดิมิตรี (iodometry) ปัจจุบันนี้ ตามระบบ IUPAC รวมเรียกรูปการไตเตรตทั้งสองแบบนี้ว่า ไอโอดิมิตรี

ไอโอดีนในปฏิกิริยารีดอกซ์

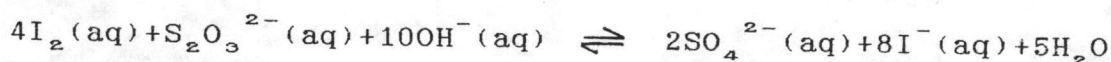
ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานแบบรีดักชันของไอโอดีนมีค่าเท่ากับ



ถ้า pH ของสารละลายต่ำกว่า 8 การออกซิเดชันของระบบไอโอดีน-ไอโอไดด์จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้า pH ของสารละลายสูงกว่า 8 การออกซิเดชันของระบบไอโอดีน-ไอโอไดด์จะเปลี่ยนไป ทั้งนี้ไอโอดีนจะทำปฏิกิริยากับ OH^- ในสารละลาย ทำให้เกิดไฮโปไอโอไดด์ซึ่งจะไม่อยู่รวมตัว และกลายเป็นไอโอเดตในที่สุด

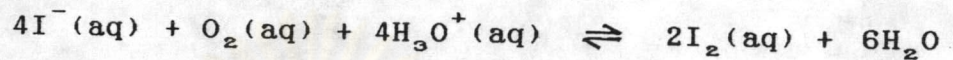


ในสารละลายที่มี pH สูงกว่า 8 โซเดียมไทโอซัลเฟต จะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นซัลเฟตดังสมการ



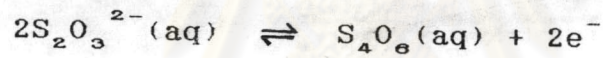
ข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นในการไตเตรตแบบไอโอดิเมตริกที่ควรจะต้องระวัง

1. ไอโอดีนอาจจะสูญหายไปเนื่องจากการระเหิด
2. สารละลายของไอโอดีนที่เป็นกรดจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนในอากาศจะทำให้เกิด I_2 ขึ้นอย่างช้าๆ



โซเดียมโซไธซัลเฟต กับการเป็นสารละลายมาตรฐาน

สารนี้นิยมเรียกในชื่อว่า โซโป (hypo) เป็นสารที่อยู่ตัว แต่เนื่องจากจำนวนโมเลกุลของน้ำผลึกไม่แน่นอน เราจึงไม่ใช้สารนี้เป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ ครึ่งปฏิกิริยาของการรีดิวซ์ของสารนี้ คือ



การไตเตรตไอโอดีนด้วยสารละลายโซไธซัลเฟต ควรกระทำในสารละลายที่เป็นกลางหรือสารละลายที่เป็นกรดเจือจาง ปกติประมาณ 2.0 F HCl แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดสูงกว่านี้ อาจทำให้เกิดการสลายตัวของโซไธซัลเฟตได้

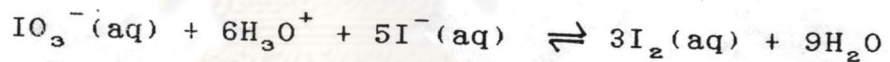
สารละลายโซเดียมโซไธซัลเฟตเตรียมได้ โดยละลายสารนี้ในน้ำกลั่นที่ได้ต้มไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกแล้ว แต่ถ้าในสารละลายมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ จะทำให้เกิดการสลายตัวของโซไธซัลเฟต นอกจากนี้ การสลายตัวอาจจะเกิดจากปฏิกิริยาของบิกเตรีในสารละลายได้ ถ้าตั้งทิ้งไว้นานๆ เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซไธซัลเฟต ควรปฏิบัติดังนี้

1. ใช้น้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดเตรียมสารละลาย
2. เติม 3 หยดของคลอโรฟอร์ม หรือ 10 มก. ของเมอร์คิวรี(II) ไอโอดัดลงไปในการละลาย 1 ลิตร

3. อย่ำให้สารละลายที่เตรียมถูกแสงสว่างโดยตรง ใช้ขวดที่มีสี
บรรจุสารละลาย

สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต

สารที่ใช้เป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ สำหรับหาความเข้มข้นของสาร
ละลายโซเดียมไฮโอซิลเฟตที่ใช้กันมาก ได้แก่ โพแทสเซียมไดโครเมต กับ
โพแทสเซียมไอโอเดต สารทั้งสองนี้มีสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยา
กับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่มากเกินไปในสารละลายที่เป็นกรด ให้
ไอโอดีน ปริมาณของไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่เป็นมาตรฐาน
ปฐมภูมิที่ใช้ เมื่อนำเอาไอโอดีนที่เกิดขึ้นไปไตเตรต กับ สารละลาย
โซเดียมไฮโอซิลเฟตอีกทีหนึ่ง เราก็สามารถหาความเข้มข้นของสารละลาย
โซเดียมไฮโอซิลเฟตได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข.1 ค่าแก้ไข (correction factor) สำหรับค่าไอโอดีน

Residual Filtrate Normality C	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009
0.0080	1.1625	1.1613	1.1600	1.1575	1.1550	1.1538	1.1513	1.1500	1.1475	1.1463
0.0090	1.1438	1.1425	1.1400	1.1375	1.1363	1.1350	1.1325	1.1300	1.1288	1.1275
0.0100	1.1250	1.1238	1.1225	1.1213	1.1200	1.1175	1.1163	1.1150	1.1138	1.1113
0.0110	1.1100	1.1088	1.1075	1.1063	1.1038	1.1025	1.1000	1.0988	1.0975	1.0963
0.0120	1.0950	1.0938	1.0925	1.0900	1.0888	1.0875	1.0863	1.0850	1.0838	1.0825
0.0130	1.0800	1.0788	1.0775	1.0763	1.0750	1.0738	1.0725	1.0713	1.0700	1.0688
0.0140	1.0675	1.0663	1.0650	1.0625	1.0613	1.0600	1.0588	1.0575	1.0563	1.0550
0.0150	1.0538	1.0525	1.0513	1.0500	1.0488	1.0475	1.0463	1.0450	1.0438	1.0425
0.0160	1.0413	1.0400	1.0388	1.0375	1.0375	1.0363	1.0350	1.0333	1.0325	1.0313
0.0170	1.0300	1.0288	1.0275	1.0263	1.0250	1.0245	1.0238	1.0225	1.0208	1.0200
0.0180	1.0200	1.0188	1.0175	1.0163	1.0150	1.0144	1.0138	1.0125	1.0125	1.0113
0.0190	1.0100	1.0088	1.0075	1.0075	1.0063	1.0050	1.0050	1.0038	1.0025	1.0025
0.0200	1.0013	1.0000	1.0000	0.9988	0.9975	0.9975	0.9963	0.9950	0.9950	0.9938
0.0210	0.9938	0.9925	0.9925	0.9913	0.9900	0.9900	0.9888	0.9875	0.9875	0.9863
0.0220	0.9863	0.9850	0.9850	0.9838	0.9825	0.9825	0.9813	0.9813	0.9800	0.9788
0.0230	0.9788	0.9775	0.9775	0.9763	0.9763	0.9750	0.9750	0.9738	0.9738	0.9725
0.0240	0.9725	0.9708	0.9700	0.9700	0.9688	0.9688	0.9675	0.9675	0.9663	0.9663
0.0250	0.9650	0.9650	0.9638	0.9638	0.9625	0.9625	0.9613	0.9613	0.9600	0.9600
0.0260	0.9600	0.9588	0.9588	0.9575	0.9575	0.9563	0.9563	0.9550	0.9550	0.9538
0.0270	0.9538	0.9525	0.9525	0.9519	0.9513	0.9513	0.9506	0.9500	0.9500	0.9488
0.0280	0.9488	0.9475	0.9475	0.9463	0.9463	0.9463	0.9450	0.9450	0.9438	0.9438
0.0290	0.9425	0.9425	0.9425	0.9413	0.9413	0.9400	0.9400	0.9394	0.9388	0.9388
0.0300	0.9375	0.9375	0.9375	0.9363	0.9363	0.9363	0.9363	0.9350	0.9350	0.9346
0.0310	0.9333	0.9333	0.9325	0.9325	0.9325	0.9313	0.9313	0.9313	0.9300	0.9300
0.0320	0.9300	0.9294	0.9288	0.9288	0.9280	0.9275	0.9275	0.9275	0.9270	0.9270
0.0330	0.9263	0.9263	0.9257	0.9250	0.9250					

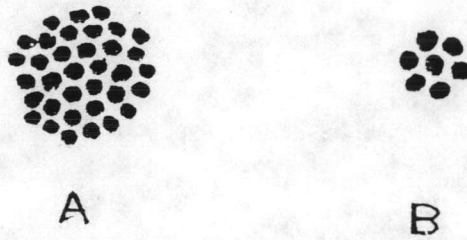
ภาคผนวก ค.

ทฤษฎีการดูดซับบนถ่าน

1. แรงตึงผิว (Surface Tension)

หยดของเหลวมีแนวโน้มที่จะจัดตัวเป็นทรงกลมซึ่งเป็นรูปร่างที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดสำหรับปริมาตรที่มีอยู่ เปรียบเหมือนว่าของเหลวถูกปิดล้อมด้วยผิวที่ยืดหยุ่นได้ ลักษณะนี้มีความแตกต่างกันระหว่างแรงตึงผิวกับแรงตึงจากวัสดุที่มีความยืดหยุ่นได้ ถ้าเราดึงวัสดุมันก็จะตึงขึ้นแต่ถ้าแผ่ของเหลวออกเพื่อให้มีพื้นที่มากขึ้นแรงตึงผิวจะไม่มากขึ้น

แรงตึงผิวเป็นสิ่งที่แสดงถึงแรงยึดโมเลกุลของเหลวไว้ด้วยกัน โมเลกุลในหยดของเหลวคงรูปอยู่ได้จากการดึงดูดซึ่งกันและกันกับโมเลกุลรอบๆข้าง แต่โมเลกุลซึ่งอยู่ที่ผิวจะได้รับแรงตึงจากภายในซึ่งไม่สมดุลย์กับภายนอก ดึงสู่ภายในจนกระทั่งพื้นผิวมีขนาดเล็กที่สุด ถ้าหากมีหยดของเหลวขนาดไม่เท่ากันสองหยดอยู่ในบริเวณเดียวกัน หยดของเหลวจะสามารถรวมเป็นหยดเดียวซึ่งมีพื้นที่ผิวรวมน้อยกว่าขนาดตอนเริ่มต้นรวมกัน กรณีเช่นนี้เกิดเมื่อหยดของเหลวสัมผัสกัน สำหรับหยดของเหลวที่ไม่สัมผัสกันการรวมกันจะเกิดโดยการถ่ายเทผ่านสภาวะไอ หากพิจารณาจากกลุ่มโมเลกุลซึ่งประกอบเป็นหยด A และ B ตามรูป ค.1



รูปที่ ค.1 แสดงกลุ่มโมเลกุล 2 กลุ่มซึ่งมีแรงดึงดูด

ภายในแต่ละกลุ่มโมเลกุลจะมีแรงดึงดูดระหว่างกัน กลุ่ม A มีจำนวนโมเลกุลมากกว่าจะยึดกันแข็งแรงกว่า ดังนั้นไอที่ระเหยจากกลุ่ม B จะถูกกลุ่ม A จับไว้เนื่องจากมีแรงยึดมากกว่า การถ่ายเทจะดำเนินไปจนกระทั่งกลุ่ม B ปรวมกับกลุ่ม A จนหมด ความดันไอของผิวโค้งเพิ่มขึ้นตามความโค้ง หยดของเหลวขนาดเล็กจะมีความโค้งมากกว่าขนาดใหญ่ ดังนั้นจะมีความดันไอบางกว่าและจะมีไอระเหยหลุดไปมากกว่า

หากในระบบมีองค์ประกอบมากกว่าหนึ่งมีแรงดึงดูดไม่เท่ากัน จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบที่ผิวหน้า ตัวอย่างเช่น กรณีสารละลายเอธานอลที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย เอธานอลมีแรงยึดกันของโมเลกุลน้อยกว่าจะอยู่ที่ผิวหน้า โมเลกุลของน้ำมีแรงยึดกันมากกว่าซึ่งทำให้มีแรงดึงดูดมากกว่า การดึงดูดซึ่งกันและกันระหว่างโมเลกุลของน้ำ จะทำให้สามารถเปียกแทรกผิวหน้าโมเลกุลที่มีแรงดึงดูดน้อยกว่า

ปรากฏการณ์จากแรงดึงดูดผิวใช้อธิบายสำหรับอำนาจในการทำให้สารบริสุทธิ์ของถ่าน คัดกันว่าสารปนเปื้อนซึ่งมีแรงดึงดูดต่ำกว่าจะรวมตัวกันเป็นฟิล์มที่ผิวของเหลวและหน้าที่ของถ่าน คือทำให้มีพื้นที่ผิวมากๆสำหรับฟิล์มไปเกาะ

2. การกลั่นตัวในคาปิลลารี (Capillary Condensation)

ของเหลวที่เปียกผนังของท่อคาปิลลารีจะขึ้นสู่ท่อและผิวหน้าของเหลวจะเว้าเข้าข้างในและมีความดันไอลดลง ภายในท่อคาปิลลารีเล็กๆ นี้ไอจะ

กลั่นตัวเป็นของเหลวเมื่อความดันต่ำลง การกลั่นตัวขึ้นกับเส้นผ่านศูนย์กลาง
 คาปิลลารี ตามทฤษฎีนี้เมื่อคาปิลลารีในโครงสร้างของแข็งมีขนาดเส้นผ่าน
 ศูนย์กลางต่าง ๆ กันคาปิลลารีที่แคบที่สุดจะมีความดันต่ำที่สุด
 คาปิลลารีจะให้พื้นผิวซึ่งจะเกิดการดูดซับขึ้นและความแตกต่างใน
 เรื่องขนาดและรูปร่างของคาปิลลารีจะมีความสำคัญในเรื่องการเลือกการดูดซับ

3. ทฤษฎีโพเทนเชียล (Potential Theory)

แรงดึงดูดของโมเลกุลมีผลตั้งแต่ระยะซึ่งมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง
 โมเลกุลจากนั้นลดตามระยะห่างไปเรื่อยๆจนเท่ากับศูนย์ ความสามารถในการ
 ดูดซับจะเกิดในระยะดังกล่าวทฤษฎีนี้ไม่ค่อยได้รับความสนใจเนื่องจากอธิบาย
 ยังคลุมเครือ

4. ทฤษฎีแลงเมียร์ (Langmuir Theory)

ทฤษฎีนี้มีความยืดหยุ่นครอบคลุมระบบที่มีสถานะเดียวหรือหลายสถานะ
 อธิบายได้ทั้งกรณีแรงทางกายภาพและเคมี พื้นผิวโมเลกุลชั้นเดียวหรือหลายชั้น
 พื้นผิวของตัวดูดซับจะมีลักษณะแตกต่างกัน เมื่อโมเลกุลของไอเคลื่อนที่มาชนกับ
 ที่ว่างบนผิวซึ่งเหมาะสม โมเลกุลก็จะเกาะติดอยู่ การเกาะติดขึ้นกับพลังงาน
 ความแข็งแรงของการดึงดูด ชนิดของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ ในตอนแรกเมื่อพื้นผิว
 ยังไม่มีโมเลกุลเกาะอยู่ จำนวนโมเลกุลที่กลั่นตัวจะมีมากกว่าที่ระเหย ต่อมา
 พื้นผิวถูกเกาะด้วยโมเลกุลก็ยังมีโมเลกุลที่หลุดจากพื้นผิวมากขึ้น เมื่ออัตรา
 การระเหยเท่ากับการกลั่นตัวก็จะถึงสมดุลย์ จำนวนโมเลกุลซึ่งถูกดูดซับที่สมดุลย์
 เป็นฟังก์ชันของปัจจัยต่างๆคือ

1. เวลาเฉลี่ยระหว่างที่โมเลกุลกลั่นตัวและกลับกลายเป็นไอ
 (time lag)
2. พื้นที่รวมของพื้นผิวของแข็ง
3. สัดส่วนของพื้นผิวรวมซึ่งมีอำนาจในการดูดซับเฉพาะ

4. จำนวนโมเลกุลที่สามารถถูกดูดซับในสถานะก๊าซหรือสารละลาย
5. จำนวนชั้นของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ

5. การดูดซับทางกายภาพและทางเคมี (Physical and Chemical Adsorption)

การดูดซับทางกายภาพแรงยึดเกาะจากการดูดซับจะอ่อน ใช้การเปลี่ยนแปลงของพลังงานน้อยกว่าการดูดซับทางเคมี เมื่ออยู่ในสถานะของแข็งของเหลวและก๊าซ โมเลกุลที่ถูกดูดซับยังมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนเดิม สามารถดูดซับโมเลกุลได้หลายชั้น คือ แต่ละชั้นโมเลกุลจะเกิดบนชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ก่อนแล้ว การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของสารถูกดูดซับและผิวของสารดูดซับมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกัน หรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน พันธะที่เกิดขึ้นจึงเป็นพันธะทางเคมี การดูดซับโดยวิธีนี้จะแรงกว่าการดูดซับทางกายภาพ บางครั้งการดูดซับต้องอาศัยพลังงานเข้าร่วมด้วย เรียกว่าการดูดซับแบบกระตุ้น (activated adsorption) ชั้นการดูดซับทางเคมีหนาเพียงโมเลกุลเดียว เพราะโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับต้องสัมผัสกันโดยตรง และเกิดการถ่ายเทหรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทั้งสองแบบคือ

1. ขนาดความร้อนของการดูดซับ เมื่อก๊าซดูดซับบนผิวของสารดูดซับ จะมีความร้อนถูกปล่อยออกมา ถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพจะมีขนาดพอกับความร้อนที่ปล่อยออกมาในการกลั่นตัวจากก๊าซเป็นของเหลวประมาณ กิโลแคลอรีต่อโมล ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมีความร้อนของการดูดซับประมาณ $10^4 - 10^5$ แคลอรีต่อโมล
2. อุณหภูมิการดูดซับ การดูดซับทางกายภาพเกิดภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ ความดันที่เหมาะสม ขณะที่การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นเฉพาะเมื่อสารสามารถเกิดพันธะเคมีกับผิว

3. โมเลกุลที่ถูกดูดซับทางกายภาพ สามารถทำให้หลุดจากผิวของสารดูดซับได้ด้วยวิธีลดความดันที่อุณหภูมิเดียวกับการเกิดการดูดซับโดยโมเลกุลไม่เปลี่ยนแปลง การขจัดชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดโดยวิธีเคมีทำได้ยาก

4. จำนวนชั้นที่ถูกดูดซับ การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดขึ้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับบนผิวซ้อนกันได้หลายชั้น แต่การดูดซับทางเคมีมักเกิดโมเลกุลที่ถูกดูดซับเพียงชั้นเดียว บางกรณีการดูดซับทางกายภาพอาจเกิดบนชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับทางเคมี

5. พลังงานกระตุ้น การดูดซับทางกายภาพเกิดได้อย่างรวดเร็วไม่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น การดูดซับทางเคมีอาจเกิดได้ทันทีโดยทั่วไปแต่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น

6. พื้นที่ผิว (Surface Area)

วิธีที่ดีในการวัดพื้นที่ผิวโดยคำนวณจากการดูดซับของก๊าซ วิธีหนึ่งที่น่าิยมใช้คือวิธีการของ Brunauer, Emmett และ Teller (BET) หลักการคือการสร้าง ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm) ในสภาวะที่เกิดการดูดซับทางกายภาพ โดยใช้การดูดซับก๊าซในโตรเจนที่อุณหภูมิต่ำ เส้นไอโซเทอมของการดูดซับจะเป็นเส้นตรงความชันและจุดตัดบนแกนจะให้ปริมาณของก๊าซซึ่งใช้เพื่อจัดโมโนเลเยอร์ (monolayer) เมื่อรู้พื้นที่ของแต่ละโมเลกุลก็คำนวณพื้นที่ของสารดูดซับได้

จำนวนพื้นที่ผิวไม่ได้เป็นสิ่งที่บอกความสามารถของถ่าน ถ่านที่มีพื้นที่ผิวน้อยอาจมีประสิทธิภาพมากกว่า ถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากกว่าก็ได้

7. โครงสร้างของรูพรุน (Pore Structure)

ในหลายๆกรณี ถ่านไม่สามารถที่จะดูดซับสารได้เต็มที่ เนื่องจากพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ เป็นผนังของคาปิลลารีและโมเลกุลที่จะผ่านเข้าไปได้จะต้องมีขนาดเล็กพอจะลอดเข้าไป ถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็นตาข่ายของรูพรุนซึ่งมีรูปร่างและ

ขนาดต่างๆกัน อาจเป็นทรงกระบอก สี่เหลี่ยมเมื่อมองตามขวาง รวมถึงรูปทรง
 แปลกๆ ขนาดของรูพรุนมีตั้งแต่ขนาดซึ่งน้อยกว่า 10 \AA ถึงเกิน $100,000 \text{ \AA}$
 การที่มีขนาดของรูพรุนปนกันหลายขนาดนี้เรียกว่า pore size distribution
 สิ่งนี้ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และวิธีการในการกระตุ้น รูพรุนอาจแบ่งได้เป็น
 รูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า $1,000 \text{ \AA}$
 และ รูพรุนขนาดเล็ก (micropore) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 \AA ถึง
 1000 \AA

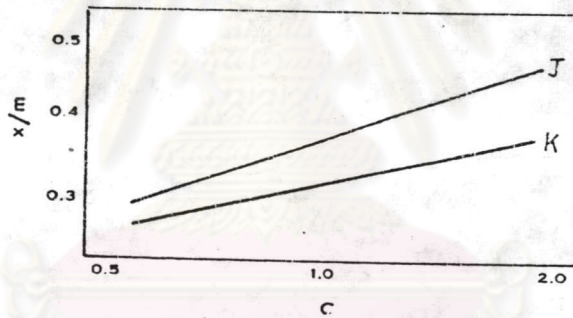
8. ลักษณะทางคุณภาพของผิว (Qualitative Characteristics of Surfaces)

ทฤษฎีนี้อธิบายการเลือกดูดซับบนผิวถ่านที่มีต่อสารต่างๆ โดยอธิบาย
 ในรูปของ แอคทีฟเซ็นเตอร์ (active center) ทฤษฎีนี้คิดว่าอำนาจในการ
 ดูดซับไม่ได้มีอยู่บนทุกส่วนของพื้นผิว แต่อำนาจการดูดซับเฉพาะสารจะมีอยู่เป็น
 ส่วนย่อยๆหรือเป็นหย่อมแยกจากกันเรียกว่า แอคทีฟเซ็นเตอร์ ที่บริเวณเหล่านี้
 อะตอมที่ผิวจะจัดเรียงตัวเป็นลักษณะเฉพาะ ซึ่งวิธีการแต่ละวิธีในการกระตุ้นจะ
 ให้ลักษณะเฉพาะตัวของแอคทีฟเซ็นเตอร์ บนผิวถ่านหนึ่งๆจะมีแอคทีฟเซ็นเตอร์
 หลายแบบ พื้นผิวที่ดูดซับสองแบบซึ่งดูดสารภายใต้สภาวะเดียวกัน เมื่อสภาวะ
 เปลี่ยนไปอำนาจในการดูดซับก็อาจจะแตกต่างกันไปได้ แต่ละแอคทีฟเซ็นเตอร์
 จะมีการเลือกชนิดของสารที่จะถูกดูดซับ ซึ่งอาจจะไม่เพียงชนิดเดียว

9. ตัวแปรที่ผิวและไอโซเทอม (Isotherms and Surface Variables)

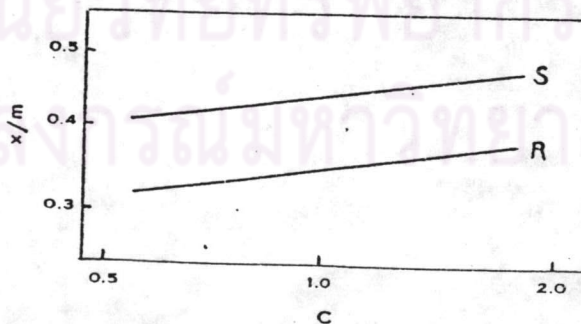
ไอโซเทอม เป็นวิธีสำหรับหาความแตกต่างของถ่านกัมมันต์ในเรื่อง
 ของคุณภาพและปริมาณของพื้นผิว เส้นทางของไอโซเทอมเป็นฟังก์ชันของ
 องค์ประกอบทุกตัวภายในระบบและการเปลี่ยนแปลงใดๆในองค์ประกอบ จะทำให้
 เส้นไอโซเทอมเปลี่ยนแปลง ถ่านที่ให้ไอโซเทอมแตกต่างกันเกิดจากอำนาจการ
 ดูดซับซึ่งต่างกัน คุณภาพของผิวจะพบความแตกต่างได้โดยการเปรียบเทียบถ่านที่

ได้จากวิธีการกระตุ้นที่ต่างกัน ตัวอย่างเช่นไอโซเทอมจากรูปที่ ค.2 เป็นการดูดซับไอโอดีนจากสารละลาย ความชันของเส้นไอโซเทอมที่ได้จากการดูดซับถ่าน ซึ่งเกิดจากขบวนการกระตุ้นด้วยแคลเซียมคลอไรด์จะต่างจากถ่านซึ่งเกิดจากขบวนการกระตุ้นของซิงค์คลอไรด์ และถ้าหากการกระตุ้นใช้ไอน้ำที่ 800°C แต่เวลาในการกระตุ้นต่างกัน เส้นไอโซเทอมจากรูประหว่างถ่านชนิด R และ S จะมีความชันคล้ายกัน ซึ่งแสดงว่ามีพื้นผิวที่มีคุณสมบัติคล้ายกันแต่มีปริมาณของแอกทีฟเซนเตอร์ต่างกัน ซึ่งสังเกตได้จากระดับของไอโซเทอม ถ่านชนิด S มีระดับสูงกว่าแสดงว่ามีอำนาจดูดซับสูงกว่า แม้ว่าจะใช้วิธีการกระตุ้นเหมือนกันให้ความชันของไอโซเทอมเหมือนกันแต่ก็อาจไม่เป็นไปตามนี้ได้ เนื่องจากสภาวะที่ใช้ เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น



ADSORPTION OF IODINE FROM AQUEOUS SOLUTION
(Carbon J, zinc chloride process; Carbon K, calcium chloride process)

C, grams iodine/liter
x/m, grams iodine adsorbed/gram of carbon



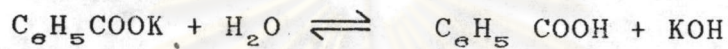
ADSORPTION OF IODINE FROM AQUEOUS SOLUTION
(Carbon R, activated by steam, 30 minutes; Carbon S, activated by steam, 50 minutes)

C, grams iodine/liter
x/m, grams iodine adsorbed/gram carbon

รูปที่ ค.2 แสดงไอโซเทอมการดูดซับของไอโอดีนในสารละลาย

10. การดูดซับไฮโดรไลติก (Hydrolytic Adsorption)

หลักการเบื้องต้นเกี่ยวข้องกับความสามารถของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่จะเกิดส่วนที่เป็นกรดหรือด่างซึ่งจะถูกดูดซับได้ การเพิ่มความสามารถในการดูดซับทำได้โดยการปรับ pH ที่เหมาะสม กรณีที่สารเป็นพวกเกลือซึ่งเมื่อเกิดการไฮโดรไลซิสมีองค์ประกอบซึ่งเป็นกรดถูกดูดซับ การเพิ่มการดูดซับทำได้โดยปรับ pH ให้ต่ำลง เช่น กรณีของโพแทสเซียมเบนโซเอต (potassium benzoate) ซึ่งมีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสคือ



ที่สมดุลย์สารละลายจะประกอบด้วย โพแทสเซียมเบนโซเอต กรดเบนโซอิก (benzoic acid) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) กรดเบนโซอิกเป็นส่วนที่ถูกดูดซับได้มากที่สุด การเติมกรดลงไปเพื่อปรับ pH จะเพิ่มการดูดซับโดยโพแทสเซียมเบนโซเอตจะเปลี่ยนเป็นกรดเบนโซอิกมากขึ้น ส่วนกรณีที่สารเป็นพวกสีย้อมหรือสารอื่นๆที่จะให้องค์ประกอบที่เป็นด่างถูกดูดซับ การเพิ่มค่า pH จะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น

11. ออกไซด์ที่ผิว (Surface Oxide)

ความเข้มข้นของออกซิเจนเป็นปัจจัยอันหนึ่งที่มีผลต่อการดูดซับกรดและด่าง การดูดซับกรดจะเกิดจากปฏิกิริยากับออกไซด์ต่าง ขณะที่การดูดซับด่างจะเกิดกับออกไซด์กรด ถ่านที่ถูกเตรียมจากอากาศที่มีความชื้นโดยใช้อุณหภูมิ 300-500 °C จะมีออกไซด์กรด ถ่านที่ได้จากการเตรียมในช่วงอุณหภูมิ 800-900 °C ด้วย อากาศ ไอน้ำ หรือ คาร์บอนไดออกไซด์จะให้ออกไซด์ต่าง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทำให้คุณสมบัติเป็นกรดและด่างนี้เปลี่ยนจากชนิดหนึ่งไปสู่อีกชนิดหนึ่งอย่างช้าๆ ถ่านที่ได้เมื่อเตรียมในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 500-800 °C จะมีคุณสมบัติทั้งสองแบบ คุณสมบัติของออกไซด์ที่ได้ที่อุณหภูมิหนึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อถูกให้ความร้อนอีกที่อุณหภูมิแตกต่างไป ถ่านที่เตรียมจากอุณหภูมิ 400 °C มีสมบัติดูดซับด่างเมื่อให้ความร้อนจนถึง 900 °C จะมีสมบัติดูดซับกรด ถ้าถ่าน

ได้รับความร้อนอีกที่อุณหภูมิ 400 °C ก็จะมีสมบัติดูดซับต่างอีก ผิวของถ่านซึ่งถูกปกคลุมด้วยออกไซด์จะมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของถ่าน

12. การดูดซับกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Adsorption Associated with Chemical Change)

สารหลายชนิดจะมีการรีดักชันเกิดขึ้นเมื่อเกิดดูดซับ ปริมาณที่เกิดรีดักชันเป็นฟังก์ชันของคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของสารและสมบัติทางเคมีของแอนไอออนที่เกี่ยวข้อง ความสามารถในการรีดิวซ์เป็นคุณสมบัติเฉพาะของถ่านแต่ละชนิด กลไกที่เกิดขึ้นอาจเป็นอันใดอันหนึ่งจากกลไกต่างๆ เหล่านี้

1. สารอาจถูกดูดซับก่อนจากนั้นจึงเกิดการรีดักชัน
2. รีดักชันและการดูดซับอาจเกิดรวมกันไปพร้อมกัน
3. รีดักชันอาจเกิดขึ้นก่อนและเปลี่ยนสารไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายแล้ว

จึงถูกดูดซับ

13. ชั้นของการดูดซับ (The Adsorbed Layer)

ทฤษฎีส่วนมากมุ่งความสนใจไปที่ว่าชั้นของการดูดซับมีความหนาเท่าใด ทฤษฎีโพเทนเซียลอธิบายว่าโมเลกุลที่ถูกดูดซับจะก่อตัวอยู่รอบอนุภาคของตัวดูดซับ Langmuir เห็นว่ามีชั้นเดียวโดยเกิดจากแรงดูดซับของพื้นผิวอนุภาคตัวดูดซับและชั้นการดูดซับชั้นแรกนี้สามารถดูดซับโมเลกุลอื่นเพื่อก่อตัวเป็นชั้นที่สองได้ แรงที่ยึดอยู่บนชั้นที่สองนี้จะอ่อนกว่าโมเลกุลระเหยได้เร็วกว่า ดังนั้นชั้นที่สองจึงมีจำนวนโมเลกุลน้อยกว่าชั้นแรกตามความคิดของ Langmuir แล้วไม่น่าเป็นไปได้ที่จะมีจำนวนชั้นมากกว่าสามชั้น ต่อมาทฤษฎีอื่นถูกพัฒนาเพื่ออธิบายกลไกการก่อตัวเกิดเป็นชั้นการดูดซับแบบหลายชั้น (multimolecular theory) โดยอธิบายว่าชั้นการดูดซับชั้นแรกถูกดึงดูดอย่างแข็งแรงโดยพื้นผิว ชั้นการดูดซับที่สองเกิดโดยถูกดูดซับจากชั้นแรกและการดูดซับจะเกิดขึ้นในชั้นอื่นต่อไป แรงดูดซับเป็นผลมาจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

14. ทิศทางการจัดตัว(Orientation)

ในการดูดซับหมู่แทนที่ในสารเป็นสิ่งที่ช่วยแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการจัดเรียงตัวของอนุภาคสาร เมื่อเพิ่มหมู่แทนที่เข้าสู่โมเลกุลแล้วทำให้เกิดการดูดซับเพิ่มขึ้น อาจสันนิษฐานได้ว่ามีการเกาะติดกับผิวของถ่าน ถ้าการดูดซับลดลงอาจแสดงว่าโมเลกุลของสารหันหนีจากผิวของถ่าน ผลซึ่งเกิดจากหมู่แทนที่ในขบวนการดูดซับมักจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติอื่นด้วย เช่น หมู่โพลาร์จะลดการดูดซับของตัวถูกละลายในสารละลายแต่เพิ่มการดูดซับของไอทั้งนี้เนื่องจากหมู่โพลาร์ทำให้คุณสมบัติอื่นเกิดเปลี่ยนแปลง หมู่โพลาร์ทำให้เกิดการกลั่นตัวได้มากขึ้นจึงถูกดูดซับมากขึ้น แต่ทำให้ตัวถูกละลายละลายในน้ำได้มากขึ้นเป็นเหตุให้ตัวถูกละลายถูกดึงไปจากผิวถ่าน ความสามารถในการเปียกตัวจะบอกถึงการจัดตัวของชั้นดูดซับ ถ่านมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำดังนั้นจะเปียกตัวทำละลายอินทรีย์ได้ง่ายกว่าน้ำ เมื่อต้องการดูดสารอินทรีย์จากน้ำส่วนซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนในโมเลกุลจะสัมผัสกับผิวของถ่านและหันหมู่โพลาร์สู่เฟสของเหลว แต่เนื่องจากถ่านจะมีบางส่วนที่มีคุณสมบัติชอบน้ำความสามารถของถ่านจึงไม่ได้จำกัดแค่ดูดซับสารที่เป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ถ่านสามารถดูดซับสารอื่นซึ่งไม่มีอะตอมของคาร์บอนได้ เช่น ฮาโลเจน และออกไซด์ของไนโตรเจน สัดส่วนของส่วนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำและชอบน้ำจะเปลี่ยนไปตามวิธีการผลิตถ่านแต่ละชนิด

15. อิเล็กโตรโฟรีซิส(Electrophoresis)

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านของแข็งซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำ อนุภาคของแข็งจะเคลื่อนที่สู่ขั้วใดขั้วหนึ่งของอิเล็กโทรด สันนิษฐานกันว่าพฤติกรรมนี้จะเกิดที่บริเวณอิเล็กตริกดับเบิลเลเยอร์ (electric double layer) ซึ่งมีอยู่ที่ขอบระหว่างเฟสและเรียกพฤติกรรมนี้ว่า อิเล็กโตรโฟรีซิส ในอนุภาคขนาดใหญ่อิเล็กตริกดับเบิลเลเยอร์ ประกอบด้วยอไอออน ดังนั้นอิเล็กโตรโฟรีซิสและการเคลื่อนที่ของอไอออนในสนามไฟฟ้าจะเป็นปรากฏการณ์ที่คล้ายกัน ถ่านกัมมันต์

ส่วนมากจะมีประจุลบ อัตราเร็วของการเคลื่อนที่และความแรงของประจุขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมถ่าน การเพิ่มอุณหภูมิในการผลิตถ่านมีผลในการเพิ่มอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของประจุ แต่อัตราเร็วจะลดลงถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 850°C ความเข้มข้นของถ่านซึ่งแขวนลอยอยู่มีผลต่ออิเล็กโตรโพริซีส กรณีซึ่งเตรียมถ่านที่อุณหภูมิสูงกว่า 950°C ด้วยไฮโดรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ถ่านจะมีประจุบวก ประจุบนถ่านเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิที่ถ่านถูกกระตุ้น

16. ความร้อนของการดูดซับ (Heat of Adsorption)

เมื่อโมเลกุลกลั่นตัวจากสถานะก๊าซกลายเป็นของเหลวจะมีการปล่อยพลังงานออกมาในรูปความร้อน เมื่อไอของสารกลั่นตัวบนผิวของแข็งจะปล่อยความร้อนออกมาเช่นกัน หากก๊าซปริมาณหนึ่งถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ในแคลอรีมิเตอร์ ความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะเรียกว่าความร้อนของการดูดซับ หน่วยเป็นแคลอรีต่อโมล หรือต่อมิลลิลิตรของก๊าซที่ถูกดูดซับเมื่อหนึ่งโมลของไอของสารถูกดูดซับด้วยถ่าน 500 กรัม ค่าความร้อนที่วัดได้เป็นค่าเฉลี่ยจากก๊าซทั้งหมดที่ถูกดูดซับ โดยทั่วไปความร้อนของการดูดซับเพิ่มขึ้นตามจุดเดือดของสาร ความยาวของโซ่ไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรคาร์บอนเส้นตรงจะมีค่าความร้อนสูงกว่าแบบมีกิ่งก้าน การแทนที่อะตอมไฮโดรเจนในมีเทนด้วยคลอรีนเป็นการเพิ่มค่าความร้อนแต่ปริมาณความร้อนที่เพิ่มจะน้อยลง ในการแทนที่อะตอมเพิ่มขึ้น หมู่ไฮดรอกซิลให้ค่าความร้อนเพิ่มได้มากกว่าอะตอมคลอรีน เมซิลและเอซิลแอลกอฮอล์มีค่าความร้อนการดูดซับสูงกว่ากรณีเป็นคลอไรด์

ภาคผนวก ง.

การหาพื้นที่ผิวโดยวิธีบีอีที (BET)

วิธีนี้เป็นการหาปริมาตรของไนโตรเจนซึ่งถูกดูดซับโดยวัตถุตัวอย่าง ซึ่งทราบน้ำหนัก เมื่อมีโมโนโมเลกุลาร์เลเยอร์ (monomolecular layer) ปกคลุมผิวของวัตถุตัวอย่าง พื้นที่ผิวรวมคำนวณได้จากผลคูณของพื้นที่ซึ่งถูกยึดโดยไนโตรเจนที่ถูกดูดซับหนึ่งโมเลกุลกับจำนวนโมเลกุลที่ก่อตัวเป็นโมโนเลเยอร์ (monolayer)

การดูดซับแปรโดยตรงกับความดันและผกผันกับอุณหภูมิ โดยวิธีการบีอีที จะให้อุณหภูมิคงที่แล้ววัดปริมาณของไนโตรเจนซึ่งถูกดูดซับที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว (-195 °C) โดยวัดที่หลายๆค่าความดัน ปริมาตรของไนโตรเจนซึ่งถูกดูดซับในโมโนเลเยอร์ (V_m) ถูกคำนวณจากสมการของบีอีที สมการมีรูปแบบเป็นสมการเส้นตรงคือ

$$\frac{P}{V_a(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C (P_0 - P)}$$

$$\frac{P}{V_a(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C (P_0 - P)}$$

เมื่อ P = ความดันของไนโตรเจน

P_0 = ความดันไอของไนโตรเจนที่อุณหภูมิซึ่งทำการทดลอง

V_a = ปริมาตรของไนโตรเจนซึ่งถูกดูดซับที่ความดัน P และที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลวที่ STP

C = ค่าคงที่ซึ่งเกี่ยวข้องกับความแตกต่างระหว่างความร้อนของการอัดตัว (liquefaction) และความร้อนของการดูดซับของสารถูกดูดซับ

สร้างเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่าง $P/V_a(P_0 - P)$ กับ P/P_0 โดยค่าความดันสัมพัทธ์อยู่ในช่วงจาก 0.05 ถึง 0.35 ความชัน (s) คือ $(C-1)/VmC$ และจุดตัด (i) คือ $1/VmC$

$$s + i = \frac{1}{VmC} + \frac{C-1}{VmC} = \frac{1}{Vm}$$

ดังนั้น

$$Vm = \frac{1}{s+i}$$

เมื่อกำหนดค่า Vm ได้ พื้นที่ผิว (S) คำนวณได้จากสมการ

$$S = \frac{NAVm}{MvW}$$

เมื่อ

$$N = \text{เลขอะโวกาโดร} = 6.024 \times 10^{23} \text{ โมเลกุล/กรัม} \\ \text{-โมล}$$

$$A = \text{พื้นที่ซึ่งถูกครอบครองโดยโมเลกุลไนโตรเจนใน} \\ \text{สถานะของเหลวจำนวน 1 โมเลกุล} \\ = 16.3 \times 10^{-20} \text{ ตรม.}$$

$$Mv = \text{กรัมโมล ปริมาตร} = 22414 \text{ มล.}$$

$$W = \text{น้ำหนักตัวอย่าง เป็น กรัม}$$

เครื่องมือมีหลักการดังแสดงในรูปที่ ง.1 ประกอบด้วยเซลล์ดูดซับ (adsorption cell) มีหลอดคาปิลลารีต่อเชื่อมสู่กระเปาะหลายอัน ก๊าซบิวเรต (water-jacketed gas buret) และมาโนมิเตอร์สำหรับการเปลี่ยนแปลงความดัน บิวเรตและมาโนมิเตอร์ต่อกับอ่างปรอทสำหรับปรับความดันอากาศโดยดูจากระดับชั้นลงของปรอท มาโนมิเตอร์สำหรับวัดความดันไอไนโตรเจนเหลว (vapor pressure) ต่อกับกระเปาะซึ่งขนานกับเซลล์ดูดซับและ

คอมเพรสชันบัลบ (compression bulb) ซึ่งสัมผัสกับอ่างปรอท ปั๊ม (high-vacuum pump และ mercury diffusion pump) สำหรับถ่ายเทภายในระบบ โดยมีเครื่องดัก (cold trap) ซึ่งล้อมรอบด้วยไนโตรเจนเหลวทำให้การถ่ายเทสะดวก เกจ (McLeod gage) สำหรับตรวจสอบสุญญากาศ ซีลีี่ยม และไนโตรเจนมีการผ่านกระบวนการทำให้สะอาดขึ้นโดยไหลผ่านถ่านกัมมันต์ และ ลูกแก้ว ก๊าซทั้งสองถูกทำให้เย็นถึงอุณหภูมิไนโตรเจนเหลวเพื่อขจัดน้ำและสิ่งสกปรก

ปริมาตรบิวเรตต้องได้รับการหาขนาดด้วยปรอทก่อนติดตั้งสู่ระบบ ที่วางภายในหลอดคาปิลลารีซึ่งเชื่อมระหว่างเซลล์ดูดซับกับบิวเรตและมาโนมิเตอร์ ถูกหาด้วยซีลีี่ยมก่อนการใช้งาน ปิดก๊อก 3, 4 และ 6 ให้ระดับปริมาตรของปรอทในบิวเรตเป็นศูนย์ ปล่ยซีลีี่ยมผ่านก๊อก 3 จนความดันเป็น 500 มม. โดยอ่านจากมาโนมิเตอร์ ปิดก๊อก 3 และความดันปริมาตร V_x ซึ่งไม่รู้ค่าถูกบันทึกค่าเป็น P_1 ปรับปรอทในบิวเรตอีกหนึ่งให้ต่ำลง วัดความดัน P_2 ที่อุณหภูมิคงที่

$$P_1 V_x = P_2 (V_x + V_y)$$

$$V_x = \frac{P_2 V_y}{P_1 - P_2}$$

$$P_1 - P_2$$

V_y เป็นปริมาตรของกระเปาะแรกของบิวเรต ค่า V_x ตรวจสอบได้ โดยหาความดันที่บิวเรตอีกอันหนึ่ง เพื่อสะดวกในการคำนวณปริมาตรของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน สร้างตารางของปริมาตรของระบบที่แต่ละตำแหน่งของปรอทในบิวเรต การเปลี่ยนเป็นค่าที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานโดยคูณปริมาตรด้วยอัตราส่วน $273.16/760$ จะได้ตารางของค่าแฟกเตอร์ f_v ดังนั้นปริมาณของก๊าซในระบบที่ความดัน P และอุณหภูมิ T หาโดยสมการ

$$\text{volume STP} = \frac{f_v P}{T}$$

T

วิธีการ

ยึดเซลล์ดูดซับซึ่งบรรจุตัวอย่างเข้ากับเครื่องมือใช้จารบีการอบรอยต่อ ใส่เตาให้ความร้อน (sleeve furnace) รอบเซลล์และ ทำการความสะอาดก๊าซ (degas) ภายใต้สูญญากาศที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อขจัดอากาศ น้ำ และสิ่งเจือปนอื่นซึ่งจะรบกวนการทดลอง หลังจากการปล่อยให้ตัวอย่างเย็นตัวลงแล้วใส่ขวด (Dewar flask) ซึ่งบรรจุไนโตรเจนเหลวให้ล้อมรอบกระเปาะของเซลล์และของมาโนมิเตอร์ (vapor pressure) จากนั้นหาที่ว่างของเซลล์ซึ่งก็คือ ที่ว่างภายในเซลล์ซึ่งเหลืออยู่หลังจากใส่ตัวอย่างและที่ว่างระหว่างอนุภาคของตัวอย่าง ทำการหาที่ว่างของเซลล์โดยปล่อยฮีเลียมจากก๊อก 3 สูบิวเรตแล้ววัดความดัน จากนั้นปล่อยฮีเลียมสู่เซลล์โดยผ่านก๊อก 6 และวัดความดัน จากสมการคำนวณปริมาตรเริ่มต้นของฮีเลียมเหลว และปริมาตรที่ยังเหลือในบิวเรต ปริมาตรของก๊าซในที่ว่าง V_{H_2} คือความแตกต่างระหว่างปริมาตรเริ่มต้นและที่ยังเหลืออยู่ ค่า V_{H_2} จะเปลี่ยนตามความดันหาร V_{H_2} ด้วยความดัน จะได้ค่าคงที่ (adsorption bulb free space factor, f_A) ผลคูณของความดันที่เวลาใดๆ กับ f_A จะได้ปริมาตรก๊าซภายในเซลล์ที่สภาวะมาตรฐาน

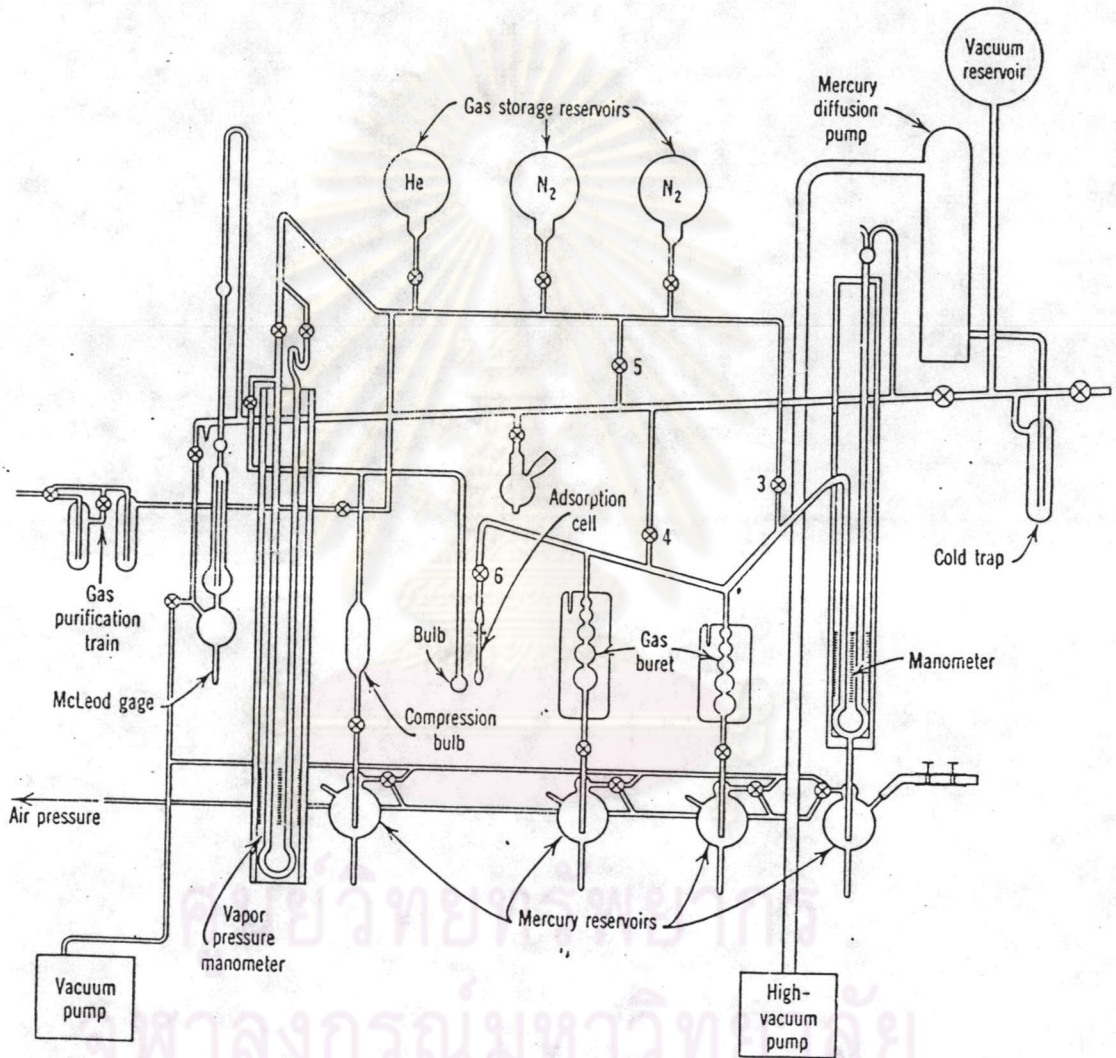
นำอ่างไนโตรเจนเหลวออกและถ่ายฮีเลียมจากระบบ ใช้ไนโตรเจนเหลวเข้าสู่ระบบแทนฮีเลียม หาปริมาตรที่ใช้ V_1 จากสมการ เปิดก๊อก 6 ให้ไนโตรเจนเข้าสู่หลอดดูดซับ เมื่อถึงสมดุลย์คำนวณปริมาตรไนโตรเจนซึ่งเหลืออยู่ในบิวเรตหลังการดูดซับ V_2 จากสมการ ปริมาตรไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ V_u คำนวณได้จากสูตร

$$V_u = V_1 - (V_2 + V_3)$$

$$V_3 = (P) \text{ (free space factor, } f_A)$$

บันทึกค่าความดันไอของไนโตรเจนจะได้จุดแรกของความสัมพันธ์

$P/(V_u)(P_0 - P)$ กับ P/P_0 จุดอื่นๆหาโดยเคลื่อนปรอทในบิวเรตให้ความดันมากขึ้น หากความชื้นและจุดตัดแล้วคำนวณพื้นที่ผิวจากสมการ



รูปที่ ง.1 แสดงเครื่องมือสำหรับวิธีการป้อนที่

ภาคผนวก จ.

ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับถ่านกัมมันต์

abrasion resistance	คุณสมบัติของอนุภาคที่ต้านทานการเสียดสี โดยความเสียดทาน
absorption	ขบวนการซึ่งโมเลกุลของไหลถูกดูดซึมโดยของเหลวหรือ ของแข็งและแผ่กระจายไปทั่วของเหลวหรือของแข็งนั้น
accelerated	
adsorption tests	การทดสอบการดูดซับที่สภาวะรุนแรงกว่าการใช้งานที่คาดไว้ เพื่อให้ถึงจุดยุติโดยเร็วขึ้น
accelerated	
service life	เวลาที่ใช้ในการทดลองดูดซับแบบเร่งจนกระทั่งถึงจุดยุติ
acid-extractable	
material	สารซึ่งสามารถละลายด้วยกรดภายใต้สภาวะเฉพาะ
activated carbon	สารประเภทถ่านซึ่งถูกผลิตโดยขบวนการที่ เพิ่มคุณสมบัติในการดูดซับ
activation	ขบวนการที่สารถูกทำให้มีคุณสมบัติดูดซับดีขึ้น
activity	เกณฑ์ทั่วไปที่ใช้อธิบายความสามารถในการดูดซับ
adsorbate	สารใด ๆ ซึ่งถูกหรือสามารถถูกดูดซับ
adsorbent	ของแข็งซึ่งมีความสามารถทำให้ความเข้มข้นของสารอินบนผิวของแข็งมีปริมาณมากขึ้น

adsorption	ขบวนการซึ่งโมเลกุลของไหลถูกทำให้เข้มข้นบนผิวของสารดูดซับโดยแรงทางเคมี หรือกายภาพ หรือทั้งสองแบบ
ash	ส่วนที่เหลือหลังจากการเผาไหม้สารภายใต้สภาวะเฉพาะ
breakpoint	การปรากฏครั้งแรกของสารที่ถูกดูดซับที่ไหลออกมาภายใต้สภาวะที่กำหนด
channeling	การไหลของของไหลผ่านเส้นทางที่ต้านทานการไหลต่ำเนื่องจากการจัดตัวไม่เป็นระเบียบ รูปร่าง และขนาดของอนุภาคผิดปกติ ผลจากผนังของคอลัมน์ และอื่นๆ
chemisorption	การยึดติดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของแข็ง โดยแรงซึ่งมีระดับพลังงานใกล้เคียงพันธะเคมี
coadsorption	การดูดซับขององค์ประกอบ 2 หรือมากกว่า 2 ตัว บนสารดูดซับ
countercurrent adsorption	ขบวนการดูดซับซึ่งการไหลของของไหลมีทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของสารดูดซับ
degassing	การขจัดก๊าซ
density, absolute	มวลภายใต้สภาวะที่กำหนดของปริมาตรหนึ่งหน่วยของแข็งซึ่งไม่รวมปริมาตรรูพรุนและที่ว่างภายในอนุภาค
density, apparent	มวลของแข็งซึ่งมีปริมาตรหนึ่งหน่วยซึ่งประกอบด้วยรูพรุน และที่ว่างภายในอนุภาคและอนุภาคของแข็ง
density, particle	มวลของของแข็งที่มีปริมาตรหนึ่งหน่วยซึ่งรวมปริมาตรรูพรุนแต่ไม่รวมที่ว่างภายในอนุภาค

desorption	การแยกตัวของสารที่ถูกดูดซับจากสารดูดซับ
differential heat of adsorption	ความร้อนแฝงตลอดการดูดซับปริมาณเพิ่มขึ้นของสารดูดซับที่ระดับการดูดซับซึ่งให้
dosage	ปริมาณของสารต่อหน่วยน้ำหนักหรือปริมาตรของไหลซึ่งถูกดูดซับ
dry basis	ไม่รวมความชื้น
electrophoresis	การเคลื่อนย้ายวัสดุในรูปของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซซึ่งกระจัดกระจายอยู่ไปสู่ขั้วใดขั้วหนึ่งของอิเล็กโทรดเนื่องจากอิทธิพลของแรงดันไฟฟ้า
filterability	อัตราซึ่งอนุภาคสามารถแยกจากการผสมโดยผ่านตัวกลางเลือกผ่าน
Freundlich adsorption isotherm	ความสัมพันธ์ในรูปลอการิทึมของปริมาณองค์ประกอบซึ่งถูกดูดซับต่อหน่วยสารดูดซับกับความเข้มข้นขององค์ประกอบนั้นที่สมดุลและที่อุณหภูมิคงที่มีสมการเส้นตรงคือ $X/M = kC^n$ $X = \text{ปริมาณที่ถูกดูดซับ}$ $M = \text{ปริมาณของสารดูดซับ}$ $C = \text{ความเข้มข้น}$ $k \text{ และ } n = \text{ค่าคงที่}$
granular activated carbon	ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 80 เมช
hardness	เกณฑ์ทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานของอนุภาคต่อการแตกหัก ซึ่งวัดโดยวิธีการเฉพาะ

heat of adsorption	ความร้อนซึ่งปล่อยออกมาระหว่างการดูดซับ
hydrolytic	
adsorption	การดูดซับกรดหรือด่างซึ่งแตกตัวให้อิออนจำนวนน้อยจากการไฮโดรไลซิสของสารประกอบเกลือบางชนิดในสารละลายน้ำ
ignition	
temperature	อุณหภูมิต่ำสุดซึ่งการเผาไหม้สามารถเกิดได้เอง
impact strength	คุณสมบัติของอนุภาคที่ต้านทานความแตกหักเมื่อถูกแรงกระแทก
isotherm	ความสัมพันธ์ปริมาณที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของสารดูดซับกับความเข้มข้นที่สมดุลหรือความดันที่สมดุลเมื่ออุณหภูมิคงที่
macropore	รูพรุนในถ่านกัมมันต์ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 5,000 Å
micropore	รูพรุนในถ่านกัมมันต์ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 40 Å
moisture content	ปริมาณน้ำในสารซึ่งถูกวัดได้โดยวิธีการที่กำหนด
monomolecular	
layer	แผ่นบาง ๆ ของสารที่ถูกดูดซับไว้ มีความหนาหนึ่งโมเลกุล
multimolecular	
layer	แผ่นบาง ๆ ของสารที่ถูกดูดซับซึ่งมีความหนามากกว่าหนึ่งโมเลกุล

physical	
adsorption	การเกาะของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของแข็งโดยแรง ซึ่งมีพลังงานเท่ากับการกลั่นตัว
pore diameter	เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนในแบบจำลอง ซึ่งรูพรุน ถูกสมมติว่ามีรูปร่างเป็นทรงกระบอก
pores	ช่องแคบ ๆ ในอนุภาคของสารดูดซับซึ่งมีลักษณะเป็น โครงข่ายที่ซับซ้อน
pore volume	ปริมาตรของรูพรุนต่อน้ำหนักของสารดูดซับ
powdered	
activated carbon	ถ่านกัมมันต์ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 80 เมช
reactivation	ขบวนการออกซิเดชันเพื่อทำให้สารดูดซับซึ่งใช้งาน แล้วมีคุณสมบัติในการดูดซับอีก
relative	
efficiency	อัตราความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับที่สนใจ กับสารดูดซับอ้างอิง
retentivity	ความสามารถของสารดูดซับที่จะต้านทานการคายการ ดูดซับของสารที่ถูกดูดซับ
surface area (B.E.T)	พื้นที่ผิวรวมของแข็งที่ถูกคำนวณโดยสมการ บี.อี.ที.
surface oxides	ออกซิเจนซึ่งประกอบเป็นสารเชิงซ้อนที่ผิวสารดูดซับ
threshold order	
test	วิธีประเมินระดับกลิ่นของของไหลโดยการทำให้ เจือจางด้วยของไหลซึ่งไม่มีกลิ่น
transitional pore	รูพรุนในถ่านกัมมันต์ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 40 ถึง 5000 Å
wettability	อัตราซึ่งอนุภาคสามารถถูกทำให้เปียกตัว

ภาคผนวก จ.

คุณภาพพื้นฐานของถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติพื้นฐานประกอบด้วย specific pore volume ,
specific surface area , pore volume distribution , surface
area distribution , nature of the surface, nature of the
adsorbate

Specific Pore Volume

หน่วยเป็น มล./ก คำนวณโดยหักค่า specific skeletal volume
จาก specific particle volume specific skeletal volume
คือ ความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ในฮีเลียม specific particle volume
คือ ความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ในปรอท มีข้อจำกัดของวิธีการคือใช้ได้กับ
อนุภาคใหญ่กว่า 80 เมช เนื่องจากการวัดความหนาแน่นในปรอทจะไม่แน่นอน
สำหรับอนุภาคเล็กกว่า 80 เมช

Specific Surface Area

พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีหน่วยเป็น ตรม./ก วัดโดยใช้การดูดซับ
ไนโตรเจนที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดเดือดของไนโตรเจนด้วยเทคนิค BET
(Brunauer, Emmett, Teller)

Pore Volume Distribution

pore volume distribution สัมพันธ์กับ surface area distribution

ตามสมการ

$$A = \frac{2 \Delta V}{r}$$

A เป็นพื้นที่ย่อย ΔV เป็นปริมาตรย่อย ภายในช่วงรัศมีที่กำหนดซึ่งมีค่าเฉลี่ยคือ r โดยสมมติรูปร่างของรูพรุนเป็นทรงกระบอก สามารถวัด pore volume distribution ได้ 2 วิธี คือ mercury porosimetry สำหรับขนาดรูที่มีรัศมีใหญ่กว่า 125 Å และ nitrogen or water desorption สำหรับรัศมีที่เล็กกว่า 125 Å

mercury porosimetry เป็นวิธีการซึ่งปรอทถูกอัดเข้าไปในรูของแข็งด้วยความดัน สมการที่เกี่ยวข้อง คือ

$$r = \frac{-2\sigma \cos\theta}{P}$$

$$r = \text{รัศมีรูพรุน } \text{Å}$$

$$\sigma = \text{แรงตึงผิวของปรอท} = 470 \text{ dyn/cm}$$

$$\theta = \text{มุมสัมผัสระหว่างปรอทและถ่าน สมมติเท่ากับ } 140^\circ$$

$$P = \text{ความดันสมบูรณ์ dyn/cm}^2$$

$$\text{หรือ } r = \frac{106.5 \times 10^4}{P}$$

P

$$P = \text{ความดัน psia}$$

วิธี water or nitrogen desorption จะลดความดันทีละขั้นจากจุดอิ่มตัว สมการแสดงความสัมพันธ์คือ

$$P = \frac{-2V\phi \cos\theta}{rRT}$$

$$P_s =$$

P = ความดันในระบบ

P_s = ความดันไออิ่มตัวของสารที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิทดลอง

ϕ = แรงตึงผิวของสารที่ถูกดูดซับ

θ = มุมสัมผัสระหว่างสารที่ถูกดูดซับและถ่าน

V = ปริมาตรโมลลของสารที่ถูกดูดซับ lit

R = ค่าคงที่ก๊าซ

T = อุณหภูมิ °K

r = รัศมี

ความสามารถในการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับเป็นการหาปริมาณก๊าซหรือของเหลวซึ่งถูกดูดซับต่อน้ำหนักของถ่าน

gas-phase carbons วัดความสามารถในการดูดซับโดยการดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์จากกระแสอากาศโดยมีการควบคุมสภาวะการทดลอง แล้ววัดความสามารถในการดูดซับและภาวะคงสภาพ (retentivity)

liquid-phase carbons การวัดความสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ phenol value เป็นการดูดซับฟีนอลจากสารละลายเจือจางมากๆ เพื่อหาปริมาณถ่านเป็น ppm ที่สามารถลดความเข้มข้นของฟีนอลจาก 100ppb เป็น 10ppb

molasses value เหมาะสำหรับเปรียบเทียบถ่านจากผู้ผลิตรายเดียวกันเป็นการเปรียบเทียบค่า absorbance ของส่วนที่ได้จากการกรองสารละลายกากน้ำตาล (molass) ซึ่งถูกดูดซับด้วยถ่านตัวอย่างและถ่านอ้างอิง

threshold odor อาจใช้เพื่อประเมินถ่านซึ่งใช้ในขบวนการบำบัดน้ำ เพื่อทราบความสามารถในการดูดซับสารซึ่งทำให้เกิดกลิ่น

iodine number เป็นค่าซึ่งวัดโดยหาจำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนซึ่งถูกดูดซับ โดยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อส่วนที่ได้จากการกรองสารละลายไอโอดีน 0.1 นอร์มัล จำนวน 100 มล. มีความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล

methylene blue test เป็นการทดสอบเพื่อหาจำนวนกรัมของเมทิลีนบลูซึ่ง ถูกฟอกสีโดยถ่าน 1 กรัม

คุณภาพอื่น ๆ

Particle Size and Size Distribution

ขนาดของถ่านแยกตามขนาดของตะแกรงมาตรฐาน ถ่านกัมมันต์ชนิด เม็ดมีหลายช่วงขนาด 4/12, 6/8, 6/16, 10/30, 12/20, 16/30, 20/40 และขนาดตามจุดประสงค์การใช้งานเฉพาะ ถ่านชนิดผงจะได้รับการ บดถ่านให้มีถ่านซึ่งมีขนาด 325 เมช 50-99% การหา size distribution จะใช้เครื่องมือ Ro-Tap testing sieve shaker

Permeability or Filterability

สำหรับถ่านชนิดเม็ด ค่า permeability อยู่ในรูปความดันลด ถ่าน ชนิดผงจะวัดในรูปของอัตราที่ของเหลวถูกกรองด้วยความดันน้อยที่สุดและมีความ ใสมากที่สุดผ่านความลึกและพื้นที่หน้าตัดของชั้นถ่าน

Bulk Density

หรือ apparent density แสดงปริมาตรของแข็ง ช่องว่างในอนุภาค รูปทรงที่มีต่อน้ำหนักถ่าน

Hardness Number, Abrasion Number and Abrasion Resistance

เป็นการวัดความต้านทานของถ่านชนิดเม็ดต่อการแตกหัก โดยใช้ เครื่องจักร hardness number ใช้ทั่วไปสำหรับถ่านที่ใช้งานในการดูดซับก๊าซ หรือไฮระเหย abrasion number ใช้กับถ่านซึ่งใช้งานในการดูดซับของเหลว hardness number แสดงอยู่ในรูปถ่านน้ำหนัก 100 กรัม ซึ่งยังมีค้างอยู่บน ตะแกรงเบอร์ 20 หลังจากการทดสอบ abrasion number แสดงอยู่ในรูป เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคเฉลี่ย abrasion resistance แสดงในรูปเปอร์เซ็นต์การลดลงของอนุภาคเฉลี่ย

Ash

ปริมาณเถ้าของถ่านเป็นส่วนที่เหลือหลังจากที่มีคาร์บอนถูกเผาไหม้

Extractable Content

วัตถุดิบสำหรับผลิตถ่านมีเกลือของเหล็ก อลูมิเนียม แคลเซียม หรือ ธาตุอื่นๆ ซึ่งอาจจะปนเปื้อนของเหลวที่ถูกดูดซับหากไม่ขจัดออก

Moisture Content

สามารถทดสอบโดยใช้การอบเพื่อหาปริมาณน้ำในตัวอย่าง

pH

โดยทั่วไปถ่านจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำซึ่งถูกล้างด้วยกรดจะมี pH 4-7 ถ่านซึ่งล้างด้วยน้ำเป็นด่างมี pH 7-9 ถ่านซึ่งไม่ได้ล้าง pH 11-12

ภาคผนวก ช.

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเตาเผา

เตาเผาทุกชนิดมีองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน คือ

1. ฉนวนกันความร้อน
2. แหล่งความร้อนและอุปกรณ์ควบคุม
3. ส่วนสำหรับบรรจุวัตถุที่จะเผา
4. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

เตาเผาแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ คือ

- เตาแบบไม่ต่อเนื่อง (periodic kiln)
- เตาเผาแบบต่อเนื่อง (continuous kiln)

เตาแบบไม่ต่อเนื่อง ที่ใช้กันมีชนิดหลักดังนี้ คือ electric,

updraft, downdraft, muffle, shuttle, glass pot, day tank, kettle, electric resistance furnace, electric arc furnace

เตาแบบต่อเนื่อง ที่ใช้กันได้แก่ tunnel, vertical, rotary, glass tank, Lehr

หลักเกณฑ์การพิจารณาการใช้เตาโดยทั่วไปมีดังต่อไปนี้

1. การประหยัดเชื้อเพลิงหรือกำลังงานต้องให้สิ้นเปลืองน้อยที่สุด การเลือกใช้ชนิดของเชื้อเพลิงควรจะเป็นเชื้อเพลิงชนิดที่หาง่ายที่สุด ราคาถูก ไม่มีปัญหาในการจัดหาจะมีก็น้อยที่สุด

2. มีความคงทนสูง สามารถทำการเผาได้ต่อเนื่อง ไม่ชำรุดง่าย กล่าวคือเป็นเตาที่สร้างถูกต้องตามหลักวิชาการ สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้ผลผลิตสูงและคงทนต่อการใช้งานหรืออายุเตายาวนาน

3. มีความคล่องตัว สามารถใช้กับงานได้หลายชนิดและสามารถปรับปรุงแก้ไขได้ง่าย

4. สะดวกและง่ายต่อการควบคุมดูแลและการทำงานก็เป็นแบบง่าย ๆ ไม่ยุ่งยากแก่การฝึกหัดผู้ควบคุมดูแล

5. ค่าบำรุงรักษาต่ำ

เตาไฟฟ้า (electric kiln) ปัจจุบันเป็นเตาที่จัดได้ว่าอยู่ในระดับอาชีพที่มีผู้สนใจกันมาก ข้อดีของเตาไฟฟ้าเป็นเตาที่มีความคล่องตัวในการทำงานใช้ได้สะดวก ควบคุมง่าย มีความปลอดภัยสูง ใช้เนื้อที่ในการปฏิบัติงานไม่มากนัก ไม่มีเสียงรบกวน และที่สำคัญสามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูง ประหยัดค่าใช้จ่าย

การทำงานของเตาไฟฟ้าอาศัยหลักความร้อนโดยขดลวดความต้านทาน (heating element) ที่ออกแบบติดตั้งรอบเตา ซึ่งประกอบด้วยผนังเตาอิฐทนไฟและฉนวนคอยหุ้มกันความร้อนได้อย่างดี เมื่อกระแสไฟไหลผ่านขดลวดความร้อน ความต้านทานยิ่งนานชั่วโหมงก็จะสะสมความร้อนขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิสูงสุดตามความต้องการ เตาไฟฟ้าจะไม่มีปล่องเตาระบายความร้อนเหมือนเตาชนิดอื่น เป็นความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีของขดลวดความร้อนไม่มีเปลวไฟ นอกจากมีช่องเล็ก (peep hole) เจาะไว้สังเกตอุณหภูมิในเตา หรือใช้วางโคน (pyrometric cone) ในเวลาทำการเผา และในขณะเดียวกันก็เป็นที่ระเหยของก๊าซที่เกิดจากการเผาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

การใช้เตาไฟฟ้า การที่จะใช้เตาไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้อายุการใช้งานได้นานและคุ้มค่าการลงทุนกล่าวคือ

- การบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตา ไม่ควรบรรจุของแน่นจนเกินไป
- การเปิดสวิตช์เผาผลิตภัณฑ์ ควรมีขั้นตอน ไม่ควรเปิดสวิตช์พร้อมกันทั้งหมด ควรเปิดสวิตช์ทีละตัว วันระยะเวลาให้ห่างกันตามความเหมาะสม และควรเปิดสวิตช์ตัวล่างก่อนแล้วค่อยเปิดเรียงกันตามลำดับ
- เตาไฟฟ้าจะกำหนดอุณหภูมิไว้ ไม่ควรเผาให้เกินอุณหภูมิที่กำหนด

ไว้

- ก่อนใช้เตา ควรตรวจสอบสวิทช์ไฟ สายไฟ ข้อต่อเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ

- ชั้นรองเตา ควรมีขนาดความหนา กว้าง ยาว พอเหมาะกับเตา

- ถ้าสามารถให้เตาให้ติดต่อกันได้ จะช่วยประหยัดกระแสไฟได้

- การใช้เตาทุกครั้ง มือและเท้าไม่ควรเปียกน้ำทำให้กระแสไฟลัดวงจรเป็นอันตรายได้

- เวลาเลิกใช้เตา ควรตัดสวิทช์ไฟ และเซฟตี้สวิทช์ทุกครั้ง เพื่อความปลอดภัย

- ลวดความร้อนที่ใช้งานแล้ว ไม่ควรตัดหรือยึดออกเปราะ ทำให้หักง่าย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช.

การหาปริมาณสังกะสีในตัวอย่าง

- นำถ่าน 2 กรัม ไปเผาในครุชีเบลเปิดฝาที่ 600 °C จนเผาไหม้สมบูรณ์ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
- ละลายซีแก่ที่ได้ใน 15 มล. ของกรดไฮโดรคลอริก ล้างครุชีเบลด้วยน้ำร้อนเล็กน้อย ต้มให้เหลือ 5 มล. ในบีกเกอร์
- ทำให้เย็นและล้างด้านข้างของบีกเกอร์ เติม 10 มล. ของน้ำโบรมีนอิ่มตัว จากนั้นเติม 5 กรัมของแอมโมเนียมคลอไรด์ และ 15 มล. ของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
- กรองตะกอนและล้าง 4 ครั้งด้วยน้ำร้อน 100 มล.
- เจือจางสารละลายเป็น 200 มล. ต้มให้เดือด เติม 4 หยดของสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์เข้มข้น จากนั้นทำให้เป็นกรดด้วยไฮโดรคลอริก
- ไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเพอร์โรโชยานาไดด์ซึ่งเตรียมได้โดย ละลายโพแทสเซียมเพอร์โรโชยานาไดด์ 5 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร
- เตรียมสารละลายมาตรฐานของสังกะสีซึ่งรู้น้ำหนักแน่นอน โดยใช้วิธีการข้างต้นแต่เปลี่ยนจากตัวอย่างเป็นสังกะสีแทน
- ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเพอร์โรโชยานาไดด์จนถึงจุดยุติ
- เตรียมสารละลายเปล่า (blank solution) และไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเพอร์โรโชยานาไดด์
- คำนวณ กรัมของสังกะสี/มล. ของ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเพอร์โรโชยานาไดด์ ในสารละลายมาตรฐานสังกะสี (F) ได้จาก

$$F = \frac{\text{น้ำหนักของสิ่งกะสีในสารละลายมาตรฐานที่เตรียมขึ้น}}{\text{ความแตกต่างปริมาตรจากการไตเตรตของโพแทสเซียมเพอร์โรเซอานาตที่ใช้ในสารละลายสิ่งกะสีกับที่ใช้ในสารละลายเปล่า}}$$

- ปริมาณสิ่งกะสีในตัวอย่าง (%)

% Zn = ปริมาตรจากการไตเตรตสารละลายของ (ตัวอย่างถ่าน-สารละลายเปล่า)

$$* \frac{F * 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน



นายพงศธร โคว์คชาภรณ์ เกิดวันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2509 ที่
 เขตธนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษา ปริญญาตรี
 วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2531 และ เข้าศึกษา
 ต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อพ.ศ. 2533

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย