

บทที่ 2

การผลิตถ่านดูดซับกับการดูดซับของเหลวผสม

2.1 การผลิตถ่านดูดซับในอุตสาหกรรม

ถ่านดูดซับเป็นถ่านชนิดพิเศษชนิดหนึ่งที่สามารถดูดซับได้ โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น ถ่านดูดซับสามารถผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ถ่านดูดซับนิยมใช้ดูดซับไอของสารประกอบอินทรีย์ออกจากแก๊ส หรือ อากาศ หรือใช้ในการดูดซับสารที่เจือปนในน้ำ โดยทั่วไปการผลิตถ่านดูดซับในอุตสาหกรรมประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมวัตถุดิบ การทำเป็นถ่าน และการเพิ่มพื้นที่ผิวตามลำดับ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านดูดซับส่วนใหญ่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก สามารถแบ่งเป็นกลุ่มต่างๆได้ดังนี้[5]

- กลุ่มเซลลูโลส เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ชานอ้อย เป็นต้น
- กลุ่มถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ พีท เป็นต้น
- กลุ่มวัตถุดิบจากสัตว์ เช่น กระดุก เป็นต้น

ถ้าวัตถุดิบมีลักษณะเป็นชิ้นใหญ่เช่นกะลามะพร้าว เป็นต้น มักถูกย่อยให้มีขนาดเล็กพอเหมาะ แต่ถ้าวัตถุดิบมีลักษณะแข็งมากเช่นถ่านหิน กะลามะพร้าว เป็นต้น ทำให้อยากออกเผาให้เป็นถ่านก่อน แล้วจึงย่อยให้มีขนาดเล็กลงตามต้องการได้สะดวกมากขึ้น

2. การทำเป็นถ่าน

การทำเป็นถ่านมักเป็นการเผาในบรรยากาศที่อัดแก๊สออกซิเจน โดยอุณหภูมิที่ใช้สำหรับเผาประมาณ 300-600 องศาเซลเซียส[6] ในขั้นตอนนี้สารประกอบที่ระเหยง่าย และธาตุอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน เป็นต้น ในวัตถุดิบกลุ่มเซลลูโลสจะหลุดออกในลักษณะของแก๊สทำให้อัตถุดิบเหลือเพียงคาร์บอนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่

3. การเพิ่มพื้นที่ผิว

การเพิ่มพื้นที่ผิวเป็นการทำให้ถ่านมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวการดูดซับ ในขั้นตอนนี้สามารถดำเนินการได้โดย

1. ให้เกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารละลายต่างๆ เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก กรดกำมะถัน เป็นต้นที่อุณหภูมิ 400-1000 องศาเซลเซียส หรือ

2. ให้เกิดปฏิกิริยากับแก๊สออกซิไดซ์ต่างๆ เช่นไอน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียสในกระบวนการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยแก๊สเหล่านี้ธาตุคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับแก๊สให้เป็นแก๊สอื่นๆเช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ หรือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นต้น เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นบนถ่านทำให้เกิดเป็นรูพรุนขนาดต่างๆจำนวนมาก โดยขึ้นอยู่กับ ปริมาณแก๊สออกซิไดซ์ อุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาเคมี และช่วงเวลาของการเกิดปฏิกิริยาเคมี

2.1.2 การผลิตถ่านดูดซับในงานวิจัยต่างๆ

ในระดับงานวิจัยสามารถจำแนกการศึกษากรรมวิธีการผลิตถ่านดูดซับที่มีผลต่อสมบัติพื้นฐานของถ่านดูดซับได้เป็น 3 กรรมวิธีดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.1.2.1 วิธีการผลิตถ่านดูดซับแบบอุตสาหกรรมโดยศึกษาวัตถุดิบและปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติพื้นฐานของถ่านดูดซับ

การผลิตถ่านดูดซับวิธีนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมวัตถุดิบ การทำเป็นถ่าน และการเพิ่มพื้นที่ผิวเช่นเดียวกับการผลิตถ่านดูดซับในอุตสาหกรรมโดยในระดับงานวิจัยได้ศึกษา การนำวัตถุดิบในท้องถิ่นเช่น กะลามะพร้าว กะลาตาลโดนด เป็นต้นเพื่อใช้ในการผลิตถ่านดูดซับ พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผลิตถ่านดูดซับ ได้มีผู้ศึกษาหลายท่านดังนี้

SinghและRaman[7] ศึกษาการผลิตถ่านดูดซับจากกะลามะพร้าวโดยการนำกะลามะพร้าวที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตรมาทำให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที แล้วเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยไอน้ำ ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิ เวลาที่ใช้เพิ่มพื้นที่ผิว และอัตราการไหลของไอน้ำ นำถ่านที่ได้มาวิเคราะห์ร้อยละของผลผลิตและความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมพบว่าได้ถ่านดูดซับที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด 900 มิลลิกรัมต่อกรัม และได้ผลผลิตร้อยละ 52

Hsisheng Teng และ Tien Sheng Yeh [8] ได้ศึกษาการผลิตถ่านดูดซับจากถ่านหินขนาด 2 ขนาด คือ 210-300 ไมโครเมตร และ 420-1000 ไมโครเมตร ใช้ถ่าน 20 กรัมผสมกับสารละลาย 100 กรัม(ซึ่งในสารละลายมี $ZnCl_2$ อยู่ 40 กรัม)อบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีแก๊สไนโตรเจนไหลผ่าน ที่อุณหภูมิ 400-700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าถ่านดูดซับขนาด 420-1000 ไมโครเมตรให้ค่าพื้นที่ผิวสูงสุด 1,300 ตารางเมตรต่อกรัม

เกศรา นุตาลัย และผู้ร่วมงาน[5] ศึกษาการผลิตถ่านดูดซับจากดินพรุในห้องปฏิบัติการ โดยเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยไอน้ำยิ่งยวด จากการทดลองพบว่าเมื่อนำดินพรุมาอัดเป็นแท่งแล้วเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยไอน้ำยิ่งยวดที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ได้ถ่านดูดซับที่มีค่าการดูดซับไอโอดีน 1,200 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านดูดซับ ค่าพื้นที่ผิว 881 ตารางเมตรต่อกรัมของถ่านดูดซับ

บุญชัย ตระกูลมหชัย[9] ทดลองผลิตถ่านดูดซับจากกะลาตาลโตนดโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ พบว่าต้องเผากะลาตาลโตนดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้บดง่ายและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านดูดซับ คือ ผสมกับสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ถ่านดูดซับที่มีพื้นที่ผิว 1600 – 1700 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าไอโอดีน 1100 – 1200 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนการใช้แก๊สออกซิไดซ์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการเผาที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ถ่านดูดซับที่มีพื้นที่ผิว 1800-1900 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าไอโอดีน 1000-1300 มิลลิกรัมต่อกรัม

เกรียงศักดิ์ กิตติพิมาน[10] ศึกษาการผลิตถ่านดูดซับจากกะลามะพร้าวโดยนำกะลามะพร้าวเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดปริมาณการดูดซับไอโอดีนพบว่าถ่านกะลามะพร้าวมีค่าการดูดซับไอโอดีน 66 มิลลิกรัมต่อกรัม แต่เมื่อนำไปแช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 3 วันแล้วนำไปเผาในเตาอับอากาศที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ศึกษาผลกระทบของปริมาณซิงค์คลอไรด์พบว่าที่ปริมาณซิงค์คลอไรด์ต่อถ่านกะลา 2.5:1 ให้ค่าการดูดซับไอโอดีน 608 มิลลิกรัมต่อกรัม และให้ค่าพื้นที่ผิว BET 869 ตารางเมตรต่อกรัม

ภฤติยา เสือสีนาค[11] ศึกษาการผลิตถ่านดูดซับโดยนำกะลามะพร้าวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส แช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์แล้วนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 350 – 600 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสได้ถ่านดูดซับที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดที่ 898 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.1.2.2 วิธีการผลิตถ่านดูดซับโดยนำวัตถุดิบผสมสารเคมีแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400-1000 องศาเซลเซียส

เป็นการผลิตถ่านดูดซับโดยนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผสมกับสารเคมี เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก หรือกรดซัลฟูริก เป็นต้น แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400-1000 องศาเซลเซียส เป็นการรวมขั้นตอนการแปรสภาพสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบให้เป็นถ่านพร้อมกับขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยสารเคมี ได้มีผู้ศึกษากรรมวิธีการผลิต และ ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านดูดซับที่ได้ดังนี้

Mukherjee.S และผู้ร่วมงาน[12] ได้ทดลองผลิตถ่านดูดซับจากวัตถุดิบ 2 ชนิด คือกะลามะพร้าว และเปลือกถั่วลิสง โดยใช้สารประกอบต่างๆคือซิงค์คลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดกำมะถัน ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว โดยเผาที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าการใช้ซิงค์คลอไรด์ได้ถ่านดูดซับที่มีค่าการดูดซับไอโอดีน , การดูดซับเมทิลีนบลู และดูดซับคาร์บอนสูงทั้งหมด ส่วนการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดกำมะถันเป็นสารกระตุ้นจะได้ถ่านดูดซับที่มีค่าการดูดซับไอโอดีน , การดูดซับเมทิลีนบลู และดูดซับคาร์บอนน้อยที่สุด

Khummongkol,Charoenkool และ Pongkum[13] ศึกษาการผลิตถ่านดูดซับจากกะลามะพร้าว และผงซีลี้อยู่โดยใช้สารเคมีโซเดียมคลอไรด์พบว่าสำหรับกะลามะพร้าวเผาที่อุณหภูมิ 794 องศาเซลเซียส โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ 3.15 กรัมต่อกรัมของกะลามะพร้าวจะให้ค่าการดูดซับไอโอดีน 685.5 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับซีลี้อยู่เผาที่อุณหภูมิ 751 องศาเซลเซียส และใช้โซเดียมคลอไรด์ 5.52 กรัมต่อกรัมของผงซีลี้อยู่ ให้ค่าการดูดซับไอโอดีน 581.1 มิลลิกรัมต่อกรัมของกะลามะพร้าว

มนัด แก้วถาวร[6] ศึกษาการผลิตถ่านดูดซับจากกะลามะพร้าวโดยเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มพื้นที่ผิวของสารเคมีที่ใช้ระหว่างโซเดียมคลอไรด์ และ ซิงค์คลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสพบว่าถ่านดูดซับที่ใช้ซิงค์คลอไรด์มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดที่ 686 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.1.2.3 วิธีการผลิตถ่านดูดซับโดยการต้มวัตถุดิบกับสารละลายเคมี

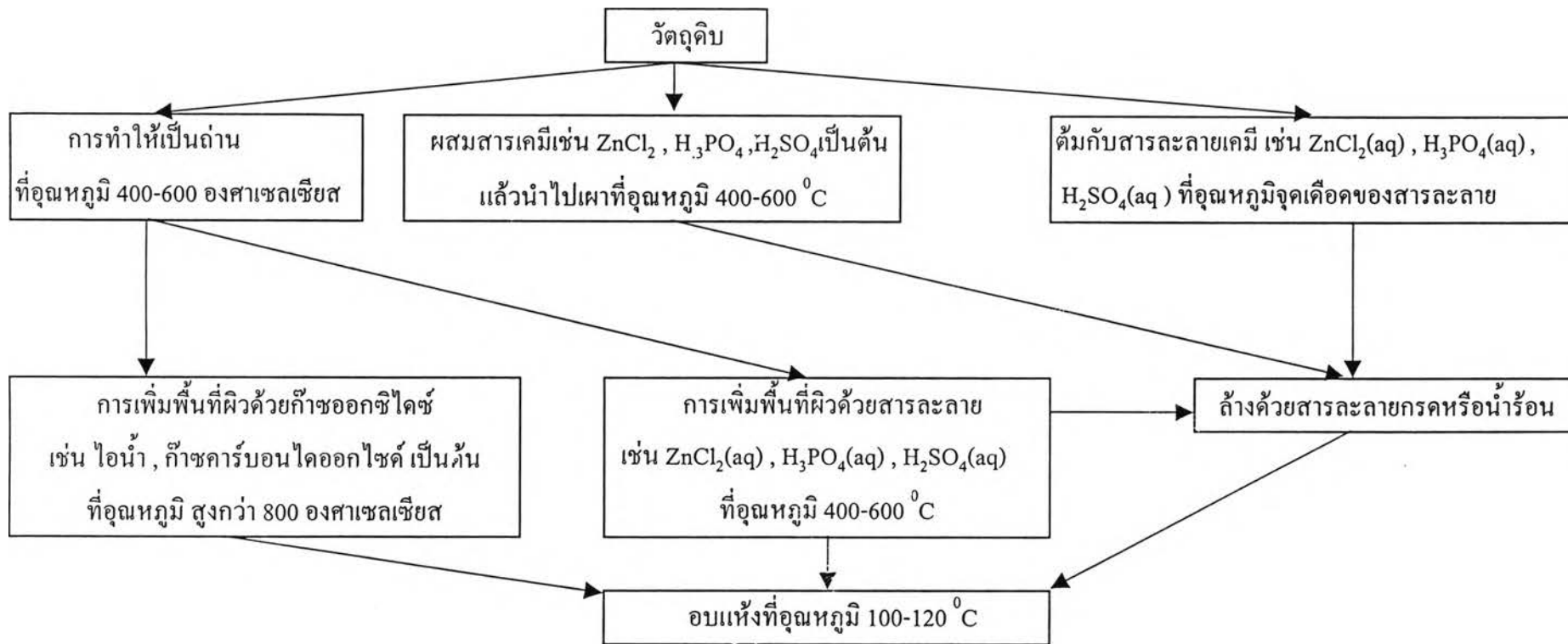
เป็นการผลิตถ่านดูดซับโดยวิธีการแปรสภาพสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบให้เป็นถ่านพร้อมกับเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยสารละลายกรดที่อุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย โดยสารละลายกรดที่ใช้ ได้แก่ $ZnCl_2(aq)$, $H_3PO_4(aq)$ และ $H_2SO_4(aq)$ เป็นต้น ซึ่งเป็นแนวทางใหม่ในการเตรียมถ่านดูดซับที่อุณหภูมิต่ำลงเมื่อเทียบกับวิธีการเตรียมถ่านดูดซับอื่นๆ ได้มีผู้ศึกษารวมวิธีการผลิตและปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านดูดซับที่ได้ดังนี้

สิริพร อติเรกลาก[14] ศึกษาการผลิตถ่านดูดซับโดยนำกะลามะพร้าวต้มกับสารละลายซิงค์คลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 60 – 80 โดยนำหนักที่อุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย 156 องศาเซลเซียสพบว่าเมื่อต้มนาน 3 ชั่วโมงที่ความเข้มข้นของสารละลายซิงค์คลอไรด์ร้อยละ 80 โดยนำหนักให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดที่ 354 มิลลิกรัมต่อกรัม

ยศรักษ์ สุวรรณพันธ์ณี[15] ศึกษาการผลิตถ่านดูดซับ โดยนำกะลามะพร้าวต้มกับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 60 โดยนำหนักที่อุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย 112 องศาเซลเซียสพบว่าเมื่อต้มนาน 4 ชั่วโมงถ่านดูดซับที่ได้ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด 206.88 มิลลิกรัมต่อกรัม

สุทธินนท์ ศักดิ์สวัสดิ์[16] ศึกษาการผลิตถ่านดูดซับโดยนำกะลามะพร้าวต้มกับสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยนำหนักที่อุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย 137 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงถ่านดูดซับที่ได้ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด 366.5 มิลลิกรัมต่อกรัม

รูปที่ 2.1 กรรมวิธีการผลิตถ่านดูดซับในงานวิจัย
สามารถแบ่งกรรมวิธีการผลิตออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

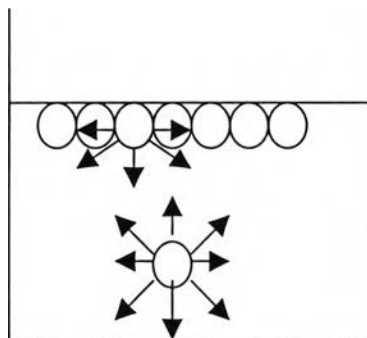


2.2 การดูดซับของเหลวองค์ประกอบเดียว

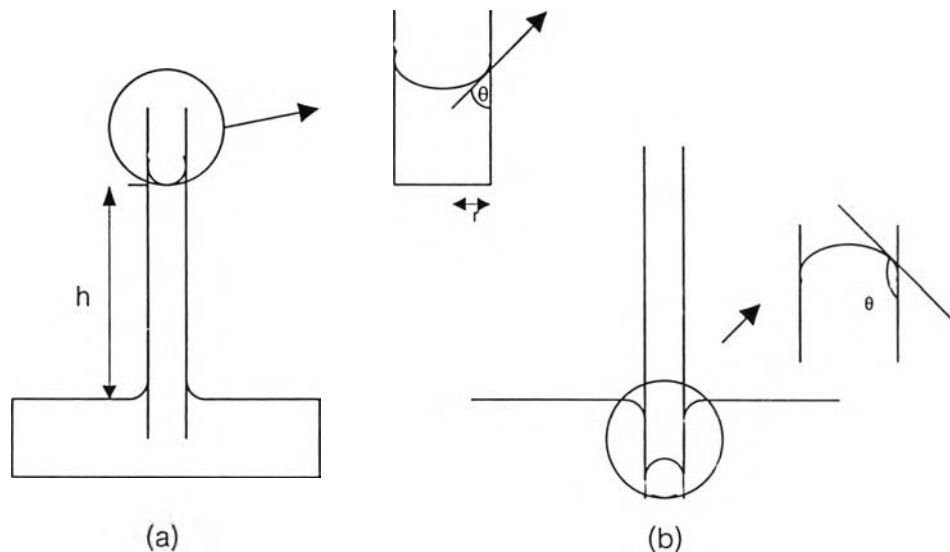
เนื่องจากวัสดุที่มีรูพรุนสามารถดูดซับน้ำเข้าไปในรูพรุนได้เช่น ฟองน้ำ เป็นต้น ถ่านดูดซับเป็นอีกวัสดุหนึ่งที่มีความพรุนดั่งนั้นน้ำจึงสามารถเข้าไปในรูพรุนของถ่านดูดซับได้เช่นกัน ลักษณะการดูดซับของเหลวองค์ประกอบเดียวเช่นน้ำ สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับการไหลของของเหลวขึ้นไปในหลอดคะปิลลารีด้วยแรงตึงผิว ซึ่งมีหลักการดังนี้

การดูดซับด้วยแรงตึงผิว [17]

โมเลกุลแต่ละโมเลกุลของของเหลวมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ภายใต้อิทธิพลของโมเลกุลรอบด้านเกือบเท่ากันทุกทิศทุกทาง ส่วนโมเลกุลที่ผิวถูกดึงดูดด้วยโมเลกุลที่อยู่ด้านข้างและด้านล่างเท่านั้นดังรูป 2.2 ทำให้ดูเหมือนว่าโมเลกุลนั้นถูกแรงดึงเข้าภายในของเหลวมากกว่าแรงนี้จะพยายามลดพื้นที่ผิวของของเหลวให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ เพื่อลดจำนวนโมเลกุลที่ผิวหน้าของของเหลวให้น้อยลง จึงเกิดความตึงผิวขึ้น การวัดความตึงผิวของของเหลววิธีหนึ่งที่ใช้คือ วิธี โดยจุ่มหลอดคะปิลลารีรัศมี r ลงในของเหลวที่ต้องการวัดความตึงผิวดังรูป 2.3



รูปที่ 2.2 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว



2.3 วิธีวัดความตึงผิวโดยใช้หลอดคะปิลลารี

- ปรากฏการณ์โดยทั่วไปของของเหลวในหลอดคะปิลลารี
- เมื่อแรงโคฮีชันมากกว่าแรงแอดฮีชัน

ค่าแรงตึงผิวสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\gamma = \frac{h\rho gr}{2 \cos \theta} \quad [2.1]$$

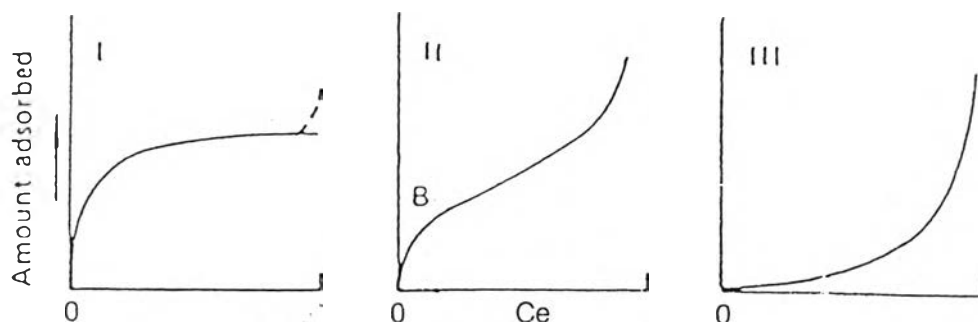
ของเหลวส่วนมากพบว่าสามารถไหลสูงขึ้นไปในหลอดคะปิลลารีได้ แต่ก็มีของเหลวบางอย่างไม่เกิดปรากฏการณ์แบบนี้ ดังตัวอย่างเช่นปรอทที่เป็นเช่นนี้พอจะพิจารณาถึงแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้ แรงดึงดูดของโมเลกุลที่เหมือนกัน เรียกว่าแรงโคฮีชัน (Cohesion) แรงดึงดูดของโมเลกุลที่ต่างกัน เรียกว่า แรงแอดฮีชัน (Adhesion) ถ้าแรงแอดฮีชันแข็งแรงกว่าแรงโคฮีชันของเหลวจะถูกดึงขึ้นไปตามผนัง แต่ถ้าแรงโคฮีชันแข็งแรงกว่าแรงแอดฮีชันของเหลวในหลอดคะปิลลารีจะลดต่ำลง ความแตกต่างระหว่างแรงโคฮีชันและแอดฮีชันนี้เราจะเห็นได้เมื่อหยดน้ำเล็กๆ ลงลึ้นพื้นที่สะอาดน้ำมีแนวโน้มแผ่กระจายออกทำมุม θ น้อยกว่า 90 องศา ส่วนการหยดปรอทลงบนพื้นผิว ลักษณะของมันจะคล้ายเป็นทรงกลมและทำมุมอยู่ระหว่าง 90 – 180 องศา ปรากฏการณ์การไหลของของเหลวขึ้นสู่หลอดคะปิลลารีด้วยความตึงผิวสามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์การไหลของของเหลวขึ้นสู่วัตถุที่มีรูพรุนขนาดเล็กได้เช่นกัน

การวัดสมมูลการดูดซับในของเหลวองค์ประกอบเดียว

เนื่องจากของเหลวองค์ประกอบเดียวเช่น น้ำ เป็นต้นสามารถถูกดูดซับในถ่านดูดซับได้ด้วยแรงดึงดูด การหาปริมาณที่ถูกดูดซับของของเหลวองค์ประกอบเดียวทำได้โดยการชั่งน้ำหนักของตัวดูดซับเริ่มต้นก่อนทำการดูดซับและน้ำหนักสุดท้ายของตัวดูดซับหลังทำการดูดซับจนกระทั่งน้ำหนักตัวดูดซับไม่เปลี่ยนแปลง จากข้อมูลทั้งสองส่วนสามารถคำนวณหาปริมาณของเหลวที่ถูกดูดซับได้วิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้กับการวัดปริมาณของเหลวถูกดูดซับที่ระเหยได้น้อยที่ความดันบรรยากาศเช่นน้ำ เป็นต้น ข้อจำกัดของวิธีนี้คือไม่สามารถวัดปริมาณการดูดซับของเหลวที่ระเหยง่ายที่ความดันบรรยากาศได้เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักจากการระเหย

2.3 สมมูลการดูดซับของเหลวผสม

ข้อมูลสมมูลการดูดซับของของเหลวผสมสามารถนำไปใช้คัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมสำหรับการแยกของเหลวผสมได้ ลักษณะของสมมูลของการดูดซับโดยทั่วไปแสดงในรูป 2.4 สมการแบบจำลองของสมมูลการดูดซับได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.4 สมมูลการดูดซับพื้นฐาน[18]

ตารางที่ 2.2 แสดงแบบจำลองสมมูลการดูดซับ[18]

สมการสมมูล	ประเภทสมมูล	สมการ	ตัวแปรที่สำคัญ	หมายเหตุ
เฮนรี	แบบที่ 1,2,3	$X = b_n C_e$	b_n	ที่ความเข้มข้นต่ำหรือมีปริมาณการดูดซับน้อยสมมูลเป็นเส้นตรง
แลงเมียร์	แบบที่ 1	$X = (X_m b_1 C_e) / (1 + b_1 C_e)$	b_1, X_m	
ฟรอยด์ดริช	แบบที่ 1 แบบที่ 3	$X = K C_e^{1/n}$	K, n	$n > 1$ $n < 1$
เบท	แบบที่ 2	$X = (X_m B C_e) / (C_s - C_e) [1 + (B-1) C_e / C_s]$	B, X_m	

การวัดสมมูลการดูดซับในของเหลวสององค์ประกอบ

การหาปริมาณการดูดซับที่สมดุลของของเหลวสององค์ประกอบในระบบปิดทำได้โดยการวัดความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้นของระบบและความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่เหลือหลังจากที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นจากข้อมูลทั้งสองส่วนสามารถคำนวณหาปริมาณที่ดูดซับได้

เนื่องจากของเหลวมีค่าการแพร่ต่ำเมื่อเทียบกับการแพร่ของก๊าซพบว่าค่าการแพร่ของของเหลวมีค่าต่ำกว่าก๊าซมากกว่าพันเท่าทำให้ในการวัดสมมูลการดูดซับในของเหลวสององค์ประกอบในระบบปิดต้องใช้เวลาานาน ตัวอย่างค่าการแพร่ของก๊าซและของเหลวแสดงในตารางที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าการแพร่ของก๊าซ[18]

ก๊าซ	อุณหภูมิ(°C)	D_v (cm ² /s)			
		อากาศ	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	คาร์บอนไดออกไซด์
เอทานอล	0		0.377		0.0686
ไอโอดีน	0	0.07		0.07	
ปรอท	0	0.112	0.53		0.13
คาร์บอนไดออกไซด์	20			163	
ฮีเลียม	20			0.705	

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าการแพร่ของของเหลว(25°C)[18]

ตัวถูกละลาย	ตัวทำละลาย	D_L cm ² /s
เอทานอล	น้ำ	1.28×10^{-5}
กลูโคส	น้ำ	0.69×10^{-5}
กรดอะซิติก	อะซิโตน	3.31×10^{-5}