การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุดูดซับ

*สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล**

• ความสำคัญ

พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุ เป็นสมบัติทางกายภาพที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อนำวัสดุนั้นไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการหรือตามที่มาตรฐานกำหนด การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่จะกล่าวในที่นี้เป็นการวัดปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุ แล้วนำมาคำนวณเป็นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุ

• ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการเบื้องต้น

บรูนัวร์ เอ็มเมทท์และเทลเลอร์ (Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett and Edward Teller) ได้ศึกษาการดูดซับแก๊สไนโตรเจนทั้งบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ ดังแสดงในภาพที่ 1 พบว่าแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับนั้นจะมีส่วนหนึ่งที่เคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียวจนเต็มพื้นที่ผิวก่อน จากนั้นแก๊สไนโตรเจนที่เหลือแพร่กระจายไปเคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลหลายชั้น ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งจากผลการศึกษานี้สามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแก๊สที่ถูกดูดซับ (W) กับความดันสัมพัทธ์ (P/P_o) ของวัสดุที่เพิ่มขึ้น เป็นสมการที่เรียกว่า “สมการของ BET” ได้ดังนี้

$$\frac{1}{W\left[\left(\frac{P_0}{P}\right) - 1\right]} = \frac{1}{W_m C} - \frac{C - 1}{W_m C}\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

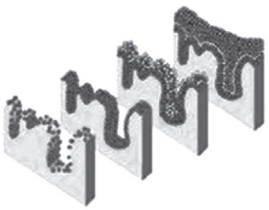
โดย W = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์ P/P_o

W_m = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับเคลือบบนผิวของสารในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียว

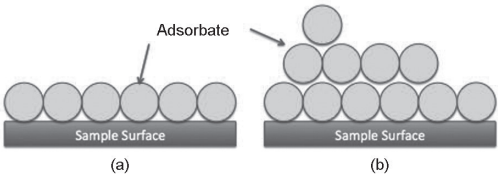
P = ความดันของแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ในขณะทำการทดลอง (หน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท)

P_o = ความดันอิ่มตัวของแก๊สไนโตรเจน (หน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท)

C = ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในการดูดซับ



ภาพที่ 1 แสดงการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ



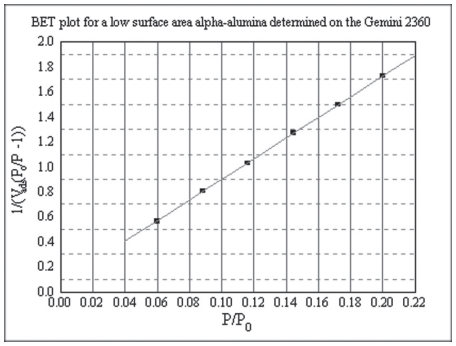
ภาพที่ 2 แสดงการดูดซับโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนของวัสดุเป็นชั้น ๆ

จากความสัมพันธ์สมการ BET เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $1/W[(P_0/P) -1]$ กับ P/P_0 จะได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 3 มีความชัน (slope, s) ดังสมการ ;

$$S = \frac{C - 1}{W_m C}$$

และจุดตัดแกน y (y-intercept, i) ดังสมการ ;

$$i = \frac{1}{W_m C}$$



ภาพที่ 3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแก๊สที่ถูกดูดซับกับความดันสัมพัทธ์

* นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ สำนักเทคโนโลยีชุมชน

ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียว (W_m) คำนวณโดยนำ s และ i แทนค่าในสมการ

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

พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุ คำนวณโดยนำ W_m แทนค่าในสมการ

$$S_t = \frac{W_m N A_{cs}}{M}$$

โดย S_t = พื้นที่ผิวของวัสดุ (หน่วยเป็นตารางเมตร)

N = เลขอาโวกราโดร (6.023×10^{23}) (หน่วยเป็นโมเลกุลต่อโมล)

M = น้ำหนักโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน (28 กรัมต่อโมล)

A_{cs} = พื้นที่หน้าตัดของโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (16.2×10^{-23}) (หน่วยเป็นตารางเมตร)

ค่า S_t ที่ได้เมื่อหารด้วยปริมาณของตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทดสอบ (w) จะได้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ หน่วยเป็นตารางเมตรต่อกรัม

$$S = \frac{S_t}{W}$$

ปริมาตรรูพรุนรวม (V_p) และขนาดรูพรุนเฉลี่ย ($\bar{r}_p$) ของวัสดุ คำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$V_p = \frac{W_s}{p}$$

$$\bar{r}_p = \frac{2V_p}{S_t}$$

โดย W_s = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุที่ความดันสัมพัทธ์ $(P/P_o) \approx 1$

ρ = ความหนาแน่นของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุที่ความดันสัมพัทธ์ $(P/P_o) \approx 1$

S_t = พื้นที่ผิวของวัสดุที่ทดสอบได้

ในการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน ดังแสดงในภาพที่ 4 ใช้เซลล์สำหรับใส่ตัวอย่าง (sample cell) จำนวน 2 เซลล์ เซลล์หนึ่งบรรจุวัสดุตัวอย่างที่ต้องการทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะ ส่วนอีกเซลล์ไม่ใส่วัสดุตัวอย่างแต่ทำหน้าที่เป็นเซลล์อ้างอิง ก่อนการทดสอบต้องให้ความร้อนแก่เซลล์ที่บรรจุวัสดุตัวอย่างเพื่อไล่ความชื้นและโมเลกุลของสารถูกดูดซับชนิดอื่นให้ออกจากผิวหน้าของวัสดุตัวอย่าง จากนั้นทำให้เซลล์ทั้งสองเป็นสุญญากาศ เพื่อให้ภายในเซลล์ไม่มีโมเลกุลของแก๊สชนิดอื่น ก่อนจุ่มเซลล์ทั้ง 2 ลงในภาชนะที่บรรจุไนโตรเจนเหลวเพื่อให้เซลล์ทั้งสองอยู่ในภาวะอุณหภูมิต่ำ จากนั้นผ่านแก๊สไนโตรเจนเข้ามาในเซลล์ทั้ง 2 โดยแก๊สไนโตรเจนที่เข้ามาในเซลล์ที่มีวัสดุตัวอย่างจะถูกดูดซับบนผิวของวัสดุทำให้ความดันภายในเซลล์ที่บรรจุวัสดุตัวอย่างลดลงจนกระทั่งคงที่ (P) ในขณะที่เซลล์ที่ไม่มีวัสดุตัวอย่างความดันของแก๊สไนโตรเจนจะคงที่ (P_0) ข้อมูลที่เครื่องบันทึกผลคือค่าความดันสัมพัทธ์ (P/P_o) และปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (W) โดยวัสดุตัวอย่าง จากนั้นเครื่องจะปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้ามาอีกเช่นเดียวกับครั้งแรก และแก๊สไนโตรเจนถูกดูดซับจนความดันคงที่อีกเป็นเช่นนี้จนกระทั่งความดันภายในเซลล์ที่มีวัสดุตัวอย่างไม่ลดลง ($P/P_o \cong 1$) แสดงว่าไม่เกิดการดูดซับแก๊สไนโตรเจนอีกแล้ว จากข้อมูลค่าความดันสัมพัทธ์และปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ได้ เครื่องทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมตามสมการของ BET แสดงผลออกมาเป็น ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรของรูพรุน

ภาพที่ 4 แสดงเครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน

• ประโยชน์

สำนักเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการ มีเครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน ซึ่งได้ส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากเครื่องมือดังกล่าว 2 รูปแบบคือ

1. การให้บริการวิเคราะห์ทดสอบ

1.1 ผู้ประกอบการผลิตหรือนำเข้าวัสดุที่มีสมบัติในการดูดซับ เช่น ซิลิกอนไดออกไซด์ คาร์บอนแบล็ค ถ่านกัมมันต์ เนื่องจากวัสดุเหล่านี้ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง

ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดคุณสมบัติไว้เป็นมาตรฐาน ซึ่งพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นคุณสมบัติหนึ่ง เช่น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หมายเลข 1070-2535 : ซิลิกอนไดออกไซด์สำหรับอุตสาหกรรมยาง กำหนดค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกอนไดออกไซด์ เท่ากับ 130-200 ตารางเมตรต่อกรัม หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หมายเลข 333-2546: คาร์บอนแบล็คสำหรับอุตสาหกรรมยาง มีการกำหนดคุณภาพของคาร์บอนแบล็ค โดยใช้พื้นที่ผิวจำเพาะเป็นเกณฑ์ในการระบุชั้นคุณภาพ

1.2 หน่วยงานวิจัยของมหาวิทยาลัยและนักศึกษาของมหาวิทยาลัยระดับบัณฑิตศึกษาที่ทำวิทยานิพนธ์ด้านวัสดุศาสตร์ มาขอรับบริการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างวัสดุ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา ถ่านกัมมันต์ และวัสดุที่มีสมบัติในการดูดซับอื่น ๆ

จากผลการดำเนินงานในปีงบประมาณ 2554 ได้ทดสอบตัวอย่าง 18 ตัวอย่าง 38 รายการ แต่ในช่วงเดือนตุลาคม 2554 - มีนาคม 2555 ได้ทำการทดสอบตัวอย่างไปแล้ว 20 ตัวอย่าง 36 รายการ จะเห็นว่าแนวโน้มปริมาณงานมีมากขึ้น

2. การให้บริการสนับสนุนงานวิจัยของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

การวิจัยและพัฒนาด้านวัสดุศาสตร์ เป็นภารกิจหนึ่งของสำนักเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ผ่านมามีผลงานวิจัยได้แก่ ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ถ่านผลไม้ และซิลิกาเจลชนิดครึ่งวงกลม ปัจจุบันมีงานวิจัยการผลิตถ่านชีวภาพ (biochar) เพื่อใช้ในการปรับปรุงดินในพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้น ค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนจึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่จะบ่งชี้ประสิทธิภาพของวัสดุที่มีสมบัติในการดูดซับ

เอกสารอ้างอิง

Gas sorption-principles of operation. 2544. **[Online]** [cite dated April 1012] Available from Internet : http://www.quantachrome.com/GasSorption/index.htm.

Lowel,S.L and Shields, Joan E.. **Powder surface area and porosity.** 3 rd.ed.. London : Chapman & Hall , 1991. p. 1-40.

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชาและคณะ. **เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์ : ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น.** กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. ๒๕๔๓. หน้า ๒๒๑ -๒๒๘.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานคาร์บอนแบล็กสำหรับอุตสาหกรรมยาง **มอก. 333-2546.** หน้า 3-5.

_____. มาตรฐานซิลิกอนไดออกไซด์สำหรับอุตสาหกรรมยาง มอก. 1070- 2535. หน้า 2.