

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย :

ในปัจจุบันชุมชนในชนบทมีวิถีการดำรงชีวิตเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเป็นอย่างมาก อาจเนื่องมาจากปัญหาทางด้านเศรษฐกิจ นอกจากอาชีพหลักทำนา ทำไร่แล้ว ยังต้องหาอาชีพเสริมเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับครอบครัว อาชีพเสริมได้แก่ ร้านเสริมสวย ขายอาหาร ขนมจาก แป้งมันสำปะหลังและข้าวเจ้า เช่นทำเส้นก๋วยเตี๋ยว และทำขนมจีน เป็นต้น น้ำทิ้งจากแป้งจะมีกลิ่นเหม็นมาก ถ้าเทลงท่อระบายน้ำหรือคูคลองจะทำให้เน่าเสียเนื่องจากมีปริมาณค่าออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD) และทางเคมี (COD) มีค่าสูงมาก ขาดต่อการย่อยสลายตามธรรมชาติ เป็นปัญหาใหญ่ทางสิ่งแวดล้อม การแก้ปัญหาน้ำทิ้งเน่าเสียโดยอาศัยระบบบำบัดรวมภายในชุมชนหรือหมู่บ้าน หรือตำบล หรืออำเภอ จะต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างสูงและจะต้องมีรายจ่ายในการบำบัดตลอดเวลา ถ้าปีใดไม่มีงบประมาณในการจัดการ ระบบก็จะไม่ได้ใช้งาน ปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาเหมือนเดิม ทำให้คณะวิจัยเกิดแนวคิดที่ว่าแทนที่ตรงไหน ควรมีการจัดการบำบัดน้ำทิ้งภายในครอบครัวหรือบำบัดในที่นั้นเลย การทำแบบนี้ น่าจะประสบความสำเร็จมากกว่า คณะวิจัยจึงคิดออกแบบระบบบำบัดน้ำทิ้งขนาดเล็ก ราคาถูก ใช้งานง่าย ไม่ต้องใช้พลังงาน และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพในระบบชุดเดียวกัน เพื่อนำมาใช้ภายในครอบครัวภายในครอบครัวและชุมชน

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งชุมชน 2 วิธี ได้แก่ การหมักด้วยจุลชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจน และการดูดซับทางกายภาพด้วยวัสดุถ่านแกลบ

1.3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

ออกแบบระบบบำบัดน้ำทิ้ง เพื่อใช้ในครัวเรือน เป็นระบบบำบัดด้วยเชื้อจุลชีพร่วมกับแบบตัวกรองด้วยวัสดุดูดซับธรรมชาติรวมในชุดเดียวกัน

1.4 ทฤษฎีสมมติฐานหรือกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

จากงานวิจัยเดิมได้ศึกษาวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ถ่านแกลบจากโรงสี ขี้เถ้าจากโรงอิฐ เกลิน และถ่านไม้ พบว่ามีสมบัติในการดูดซับสีย้อมเส้นไหม โลหะหนักที่มีพิษ เช่น โครเมียม ตะกั่ว แมงกานีส และแคดเมียม เป็นต้น โดยอาศัยพื้นที่ผิวจำเพาะจะดูดซับที่รูพรุนของมันและวัสดุบางชนิด เช่น ถ่านแกลบ เมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (Si-OH) ช่วยในการดูดซับที่ผิวหน้าเพิ่มอีกด้วย จึงออกแบบระบบบำบัดน้ำสีย้อมเส้นไหม จดอนุสิทธิบัตรเลขที่ 2873 และเลขที่ 4160 และติดตั้งที่บ้านสวย อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ อำเภอชนบท อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น อำเภอบ้านโพธิ์

จังหวัดกาฬสินธุ์ และออกแบบระบบบำบัดโลหะในน้ำทิ้งติดตั้งที่ อำเภอนบพ จังหวัดขอนแก่น วัสดุ ดูดซับเก่าแกลบและขี้เถ้าสามารถช่วยลดค่าปริมาณออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD) และทางเคมี (COD) ได้มาก คณะวิจัยจึงมีแนวคิดว่าจะมีการพัฒนาระบบบำบัดดังกล่าวเพื่อใช้บำบัดน้ำทิ้งประเภทแป้ง ซึ่งมี ค่าปริมาณออกซิเจนทางชีวภาพและทางเคมีค่อนข้างสูงมาก การออกแบบหาโดยคัดเลือกศึกษาหาเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนที่เหมาะสมมาใช้ในถังหมัก ซึ่งศึกษาจากโครงการวิจัยเดิมที่ดำเนินการเบื้องต้นมาแล้ว และพบว่ามันสามารถย่อยสลายแป้งและลดค่า BOD และ COD แล้วต่อระบบไปยังระบบบำบัด ที่อาศัยตัวกรองเป็นวัสดุดูดซับธรรมชาติได้แก่ แถ้แกลบ เพื่อลดค่า BOD และ COD ลงอีก เราจะได้ น้ำหลังบำบัดคุณภาพดีขึ้น ระบบบำบัดที่ออกแบบต้องมีขนาดเล็ก ราคาถูก ใช้งานง่ายและเปลี่ยนตัวกรอง ดูดซับด้วยตนเองได้และมีอายุการใช้งานยาวนานมาก

1.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

รัตนา มหาชัย และคณะ ได้ศึกษาหาพื้นที่ผิวจำเพาะของเมทิลีนบลูด้วยวัสดุถ่านกัมมันต์ ถ่าน แกลบ และถ่านเผา มีค่า 272.03, 149.16 และ 219.15 $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ตามลำดับ และหาพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุ แกลบเผาสีดำและแกลบเผาสีขาว โดยการดูดซับก๊าซไนโตรเจนมีค่า 399.66 และ 280.1 $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ตาม สมการแลงเมียร์ [1] ได้ศึกษาการกำจัดสีข้อมในน้ำทิ้งด้วยวัสดุแกลบเผาโดยทำแบบถังแช่ มีค่าความจุ การดูดซับ 6.62 mg/g และเมื่อทำแบบถังแช่ผสมแบบต่อเนื่อง พบว่า สามารถกำจัดสีข้อมและค่า COD ได้ร้อยละ 90 ตามลำดับ และหาค่าความจุการดูดซับสีมีค่า 10 g/g วัสดุ [2] ได้ออกแบบถังบำบัดน้ำสี ข้อมเคมีพร้อมติดตั้งที่ ตำบลสวาย อำเภอมือ จังหวัดสุรินทร์ โดยออกแบบเป็นถังพักบนดินและถัง 1 ชุดฝังดิน บรรจุแถ้แกลบมีการเทน้ำทิ้งให้ไหลลงที่กลางของถังและผ่านวัสดุขึ้นมา พบว่า สามารถ กำจัดสีข้อมและค่า COD ลงลงร้อยละ 99.18 และ 98.40 ตามลำดับ และจดอนุสิทธิบัตรเลขที่ 2873 ลง วันที่ 29 กันยายน 2549 [3] ได้ออกแบบระบบบำบัดน้ำสีข้อมแบบอยู่กับที่ไม่ใช้พลังงาน มีลักษณะถัง พักบนดินและถังฝังดิน 3 ชุด ชุดที่ 1 บรรจุตะกร้อพลาสติกเป็น media และถังชุดที่ 2 และ 3 บรรจุวัสดุ ดูดซับเก่าแกลบ และทำการติดตั้งที่ อำเภอนบพ จังหวัดขอนแก่น ระบบแบบนี้สามารถกำจัดสี, ค่า COD, ค่า BOD ลดลงร้อยละ 94.74, 93.34 และ 94.84 ตามลำดับ และทำการจดอนุสิทธิบัตรเลขที่ 4160 ลงวันที่ 4 เมษายน 2551 [4] ได้มีการอาศัยสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของการไหลสัมผัสผ่าน เมมเบรน เพื่อบำบัดน้ำทิ้งในเขตเทศบาล พบว่าสามารถลดค่า COD แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และของแข็ง ละลายได้ร้อยละ 95, 96.2 และ 100 ตามลำดับ [5] มีการศึกษาการย่อยสลายแบบมีออกซิเจนใน ขบวนการ activated sludge แบบ 2-3 ขั้นตอน ในน้ำทิ้งน้ำอัดลมซึ่งมีค่า COD 922-1980 mg/L, ฟีนอล 133-293 mg/L และ SCN^- 176-362 mg/L และ NH_4^+-N 123-296 mg/l ทำที่ 35°C reactor ที่ 1 ใช้เวลา 98 ชั่วโมง reactor ที่ 2 ใช้เวลา 86 ชั่วโมง สามารถลดค่า COD, ฟีนอล, SCN^- และ NH_4^+-N ได้มีค่าร้อยละ 90.7, 98.9, 98.6 และ 99.9 ตามลำดับ [6] ระบบบำบัดน้ำทิ้งเครื่องคั้นแบบการตกตะกอนร่วม (coagulation) การรวมกลุ่ม (flocculation) และ sludge ใช้ร่วมกัน สารที่ใช้ตกตะกอนได้แก่ เฟอริกคลอไรด์ และโพลีอิเล็กโตรไลต์ 300 mg/L สามารถลดค่า COD, ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) และปริมาณ ของแข็งทั้งหมด (TSS) มีค่าร้อยละ 91, 99 และ 97 ตามลำดับ [7] ระบบบำบัดน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลัง แบบไม่ใช้ออกซิเจนทำโดยการผ่านน้ำทิ้งตามแนวนอนไหลผ่านตัวกรองที่บรรจุเยื่อไม้ไผ่ พบว่าสามารถ ลดค่า COD จาก 11.8 g/L เหลือ 0.36 g/L และลด TSS ลงร้อยละ 67 [8] ได้บำบัดน้ำทิ้งโรงฆ่าสัตว์ด้วย

ระบบการกรองด้วยทราย เป็นชั้น ๆ โดยใช้ทรายละเอียดและหยาบสามารถลดค่า TOC และ COD ได้มากกว่าร้อยละ 94 [9] ได้มีการใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน กรองด้วยทราย และ chem. -O-autotrophic activated carbon oxidation (CAACO) พบว่าสามารถลดค่า BOD, COD ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (TOC), ปริมาณไนโตรเจนเจลาต (TKN) และแบคทีเรียมีค่าร้อยละ 81, 92, 84, 94 และ 99.99 ตามลำดับ [10] มีการใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 แบบร่วมกัน ได้แก่ การทำแบบ upflow anaerobic sludge blanket (UASB) และ anaerobic fluidized bed reactor (AFBR) เมื่อน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์ไหลในอัตรา $2.08 \text{ kg COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ กำจัด COD ได้ร้อยละ 94 ใช้เวลา 6 ชั่วโมง [11] การกำจัดน้ำทิ้งสารอินทรีย์จากขบวนการผลิตพาสต้าและคุกกี้ โดยใช้ aluminium electrocoagulation ร่วมกับ electrocoagulation / H_2O_2 ทำแบบถึงขั้น ภาวะการทดลองที่ใช้ที่ pH 4 ความหนาแน่นกระแส 18.2 mA/m^2 สามารถลดค่า BOD ได้ร้อยละ 96, TS ร้อยละ 95 และ fecal coliform ร้อยละ 99.9 [12] มีการกำจัดน้ำทิ้งจาก olive mill ด้วยระบบทางชีวภาพโดยใช้ยีสต์ที่เกาะในตัวกลาง (based medium) เมื่อน้ำทิ้งมีค่า COD $100\text{-}200 \text{ g/l}$ สามารถลดค่า COD ลงได้มาก [13] มีการศึกษาระบบบำบัดน้ำทิ้งประเภทเครื่องดื่มด้วยสินแร่ แมงกานีส และแมกนีเซียม ทำการทดลองที่ pH 1-2 สามารถลดค่า COD, ฟีนอล และซัลไฟด์ร้อยละ 70, 99 และ 100 ตามลำดับ [14]

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้ระบบบำบัดน้ำทิ้งประเภทแป้ง ใน 1 ชุด ประกอบด้วย ระบบแบบมีถังหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ และถังกรองด้วยตัวดูดซับต่ออนุกรมใช้ร่วมกัน โดยตัวกรองเป็นวัสดุธรรมชาติ เช่น ถ่านแกลบ หรือขี้เถ้าหรือวัสดุอื่น ๆ และหน่วยงานที่ได้รับประโยชน์ ได้แก่ ชุมชนในหมู่บ้าน ตำบล หรืออำเภอและกลุ่มอุตสาหกรรม SME

1.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี

ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งในชุมชนเป้าหมาย เผยแพร่ทางสื่อ เผยแพร่โดยการติดตั้งเป็นต้นแบบในแต่ละจังหวัด จัดอบรม และอาจจอนุสิทธิบัตร

1.8 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

สถานที่ทดลอง

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และพื้นที่เป้าหมายในจังหวัดขอนแก่นหรือจังหวัดใกล้เคียง

1.9 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

(1) ศึกษาหาเชื้อจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เหมาะสม เพื่อลดค่าความสกปรกในน้ำทิ้งประเภทแป้ง ได้แก่ น้ำทิ้งขนมจีน การบำบัดแบบถังหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่

- ก. ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสม
- ข. ตัวกลางสำหรับให้เชื้อจุลินทรีย์ยึดเกาะ
- ค. ออกแบบวิธีการหมัก

(2) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งประเภทแป้ง โดยอาศัยหลักการดูดซับแบบกายภาพด้วยวัสดุตัวกรองเก่าแลกเปลี่ยน ทำการทดลอง 2 แบบ ได้แก่ แบบถังแช่ และแบบต่อเนื่องให้น้ำทิ้งไหลขึ้น ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ศึกษาเวลาการดูดซับ และหาค่าความจุการดูดซับแป้ง (ในทอมค่า COD) ด้วยเก่าแลกเปลี่ยนจากการทดลอง 2 แบบ ได้แก่ การทดลองแบบถังแช่โดยอาศัยสมการเฟรนคลิชและแบบต่อเนื่องโดยอาศัย Breakthrough Curve

การวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำก่อนและหลังบำบัดตามวิธี Standard method for water and wastewater examination 2005

พารามิเตอร์	วิธีการ/เครื่องมือ
pH	pH meter
ค่าปริมาณออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD)	5-Day BOD test
ค่าปริมาณออกซิเจนทางเคมี (COD)	Closed reflux, dichromate Titration method
ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)	Dried at 103-105 °C
ค่ากรดไขมันระเหย (VFA)	Titration method
จำนวนเชื้อจุลินทรีย์	Most probable number และ Microscope

1.10 ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.10.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas หรือ Digester gas) [15]

ก๊าซชีวภาพ (biogas หรือ digester gas) หรือ ไบโอก๊าซ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (anaerobic digestion) โดยทั่วไปจะหมายถึง ก๊าซ มีเทน ที่เกิดจากการหมัก (fermentation) ของสารอินทรีย์ องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 50-70 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30-40 ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ (H_2O)

1.10.2 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน (Anaerobic digestion) [15]

ก๊าซชีวภาพเกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยมีเชื้อจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย เช่น จุลชีพกลุ่มที่สร้างมีเทน (methane-producing bacteria) หรือเมทาโนเจน และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (acid-producing bacteria) มาช่วยย่อยในสภาวะไร้อากาศ โดยกระบวนการหมักย่อยในสภาวะไร้อากาศแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

➢ **ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)** : สารอินทรีย์(เศษพืชผัก เนื้อสัตว์) มีองค์ประกอบสำคัญคือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน แบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์เอกซ์ตราเซลลูลาร์ (extra cellular enzyme) มาช่วยละลายโครงสร้างโมเลกุลอันซับซ้อนให้แตกลงเป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยว (monomer) เช่นการย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยสลายไขมันเป็นกรดไขมัน และการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน

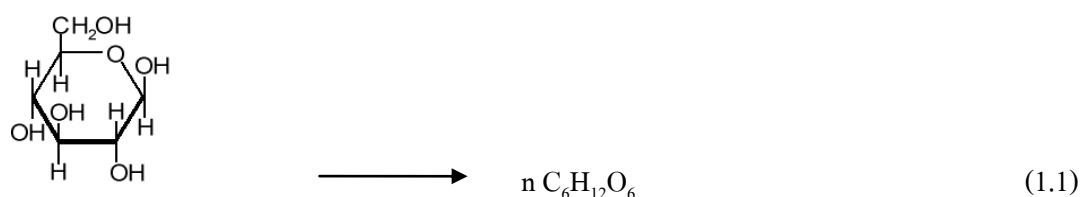
➢ **แอซิดิฟิเคชัน หรือ แอซิโดเจเนซิส (Acidification/ Acid genesis)** : การย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว เป็นกรดระเหยง่าย (volatile fatty acid) กรดคาร์บอน แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจน

➢ **อะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis)** : เปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตต ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน

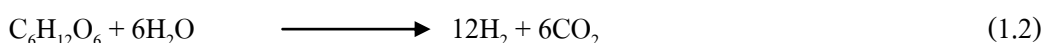
➢ **เมทาไนเซชัน หรือ เมทาโนเจเนซิส (Methanization/Methanogenesis)**: กรดอะซิติก และอื่นๆ จากขั้น 2 รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนบางส่วน จะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นมีเทนโดยเมทาโนเจน (methanogen)

เริ่มต้นจากแป้งเมื่อหมักในสภาวะไร้อากาศเกิดกระบวนการ 4 ขั้นตอน

1. ไฮโดรไลซิส แป้งจะถูกย่อยเป็นกลูโคส ดังสมการ



2. แอซิดิฟิเคชัน กลูโคสจะถูกย่อยสลายได้ 2 แบบ ได้กรดบิวทิริก



3. อะซิโตเจเนซิส กลูโคสอาจถูกย่อยได้กรดไพรูวอิกหรืออาจได้กรดอะซิติก ดังสมการ



4. เมทาไนเซชัน ก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ถูกย่อยสลายต่อเมื่อมีจุลินทรีย์เฉพาะ



1.10.3 ระบบของการหมักก๊าซชีวภาพ [16]

ระบบการหมักก๊าซชีวภาพ แบ่งตามแบบการเติมสารหมักได้ดังนี้

- **แบบเติมครั้งคราว (Batch Operation)** โดยการเติมอินทรีย์สารครั้งเดียวแล้วปล่อยให้อินทรีย์สารถูกย่อยสลายจนหมดแล้วจึงเอาออก และเติมสารอินทรีย์ลงใหม่ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซต่ำและปริมาณก๊าซไม่คงที่
- **แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi - Continuous Operation)** โดยการเติมอินทรีย์สารเป็นประจำ วันเว้นวัน หรือวันเว้น สองวัน ขึ้นอยู่กับสภาพสารอินทรีย์ที่มีและขนาดของบ่อหมัก ผลที่ได้มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแรกประมาณก๊าซที่ได้ค่อนข้างคงที่
- **แบบต่อเนื่อง (Continuous Operation)** เป็นการเติมสารอินทรีย์เข้าและเอาสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกอยู่ตลอดเวลา ด้วยอัตราการไหลเข้าและออกคงที่ ประสิทธิภาพของระบบนี้จะสูงสุด เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่อยู่ตลอดเวลา

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทน[15]

- **ความเป็นกรด-ด่าง (pH Value)** ค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือระหว่าง 7.0 – 7.2 ค่า pH ในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกจุลินทรีย์ที่สร้างกรด จะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่า pH ลดลง
- **ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Loading)** คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณที่เราเติมนั้นมากเกินไป ก็จะส่งผลให้ค่า pH ลดลงมากเกินไป จนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจากจุลินทรีย์ตายหมด แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยก๊าซที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย
- **ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time)** ขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอสำหรับจุลินทรีย์ที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ ขณะเดียวกันการที่ระยะเวลาการกักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายแล้วสะสมอยู่
- **การคลุกเคล้า (Mixing)** เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนเพราะจะทำให้จุลินทรีย์สัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น

1.10.4 กระบวนการดูดซับ [1,2]

การดูดซับ (adsorption Process) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือ ความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณ ผิวสัมผัสระหว่าง 2 สถานะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือ ของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) การดูดซับมีได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับอาจเป็นแรงที่ไม่ เจาะจง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงที่มีลักษณะเจาะจงซึ่งเป็นแรงที่อยู่ในรูปของพันธะเคมี กระบวนการดูดซับแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

(1) การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อน ก่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมลและสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็น ข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสาร ดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุล ของสารที่ถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านั้น

(2) การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับทางเคมีนี้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นแล้วไม่ทำให้การเรียงตัวของโครงสร้าง ของแข็งเปลี่ยนไป โดยการดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับที่แข็งแรง เกิดพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัว ถูกดูดซับและเป็นแบบเฉพาะเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับและผิวหน้าของตัวดูดซับหลังการดูดซับ ชั้นของโมเลกุลที่เป็นตัวถูกดูดซับบนผิวหน้าเพียงชั้นเดียว

(3) การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (Exchange adsorption)

เกิดเมื่อตัวถูกดูดซับและวัสดุดูดซับมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับที่เป็นไอออนที่มีประจุกับวัสดุดูดซับที่มีประจุตรงข้าม หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่อยู่ที่ผิวของวัสดุดูดซับ กับไอออนของตัวถูกดูดซับ

(4) การดูดซับแบบเจาะจง (Specific adsorption)

เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับวัสดุดูดซับที่หมู่ฟังก์ชันกัอยู่ บนผิว แต่ไม่มีผลให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมการดูดซับชนิดนี้จะมีค่าพลังงานในการ ยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

1.10.4.1 กลไกการดูดซับ [16]

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass transfer) จากก๊าซหรือของเหลวมายังของแข็งหรือของเหลว การเกาะติดบนพื้นผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะติดต่อกัน ดังนี้

ระยะที่ 1 การแพร่ภายนอก (External diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวดูดซับ (Adsorbent) ในน้ำจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

ระยะที่ 2 การแพร่ภายใน (Intraparticle diffusion หรือ Pore diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวดูดซับจะฟุ้งกระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ระยะที่ 3 การดูดซับ (Adsorption) เป็นระยะที่เกิดการเกาะติดบนผิวในรูพรุนระหว่างตัวถูกดูดซับและผิวของตัวดูดซับ การเกิดระยะที่ 3 อาจจะเกาะติดบนผิวด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือเคมีทั้งสองชนิดพร้อมกัน

1.10.4.2 วิธีการดูดซับ[2]

(1) แบบถังแช่ (Batch method)

เป็นการศึกษาการดูดซับโดยให้วัสดุดูดซับสัมผัสกับตัวถูกดูดซับในสารละลาย วัสดุดูดซับกับตัวถูกดูดซับเข้าถึงสมดุลได้โดยการแช่ทิ้งไว้ ซึ่งอาจใช้เวลานานเพื่อให้การดูดซับเข้าสู่ภาวะสมดุล แต่ถ้าต้องการให้การดูดซับเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้นก็จะต้องทำการเขย่าไปด้วย

(2) แบบต่อเนื่อง (Continuous method)

เป็นการศึกษาการดูดซับ โดยให้ตัวถูกดูดซับไหลผ่านวัสดุดูดซับตลอดเวลา หรือเรียกว่าแบบคอลัมน์ (column method) นำวัสดุดูดซับบรรจุลงในคอลัมน์ แล้วผ่านสารละลายของตัวถูกดูดซับลงไป ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแบบนี้ ได้แก่ อัตราการไหล ขนาดคอลัมน์ ความสูงของวัสดุที่บรรจุ พบว่าการดูดซับในตอนบนของคอลัมน์จะมีปริมาณมากกว่าในตอนล่าง และประสิทธิภาพการดูดซับแบบต่อเนื่องจะดีกว่าแบบถังแช่ ด้วยเหตุที่ว่าสารละลายของตัวถูกดูดซับจะสัมผัสกับวัสดุได้นานกว่า

1.10.4.3 ทฤษฎีการดูดซับ (Absorption)^[1]

(1) การดูดซับแบบถังแช่

เฟรอนดลิชแอดซอร์พชันไอโซเทอร์ม (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการเฟรอนดลิชนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่ออธิบายการดูดซับในสารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n} \quad (1.6)$$

X	=	จำนวนตัวดูดซับที่ถูกดูดซับ
m	=	น้ำหนักของวัสดุดูดซับ
C _e	=	ความเข้มข้นของตัวดูดซับที่สมดุล

$$K_f = \text{ค่าความจุของตัวดูดซับ}$$

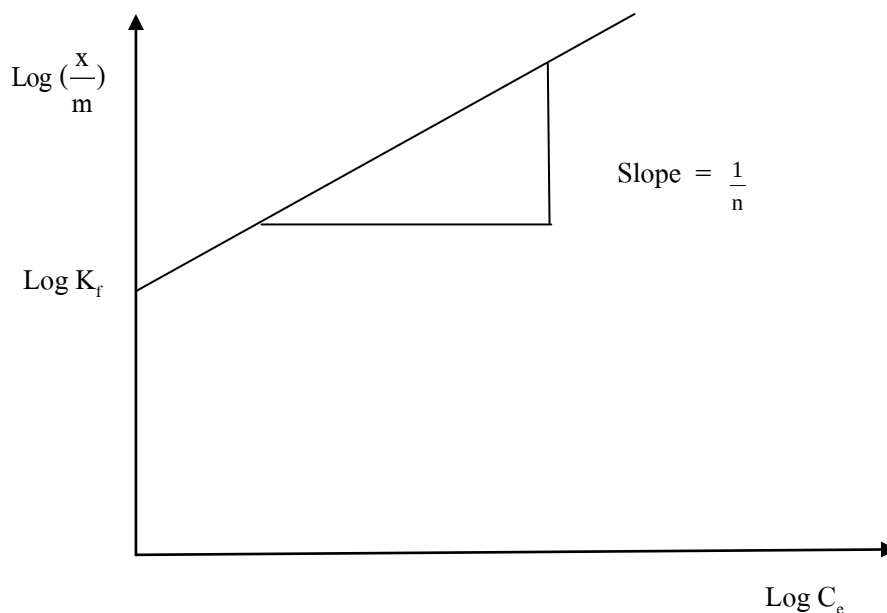
$$\frac{1}{n} = \text{ค่าคงที่ของระบบนั้นๆ}$$

สมการเฟรนดลิชใช้อธิบายได้ดี สำหรับวัสดุที่มีพื้นผิวแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous) และอธิบายการกระจายตามรูพรุน เมื่อทำเป็นสมการเส้นตรงจะได้

$$\begin{aligned} \text{Log} \left(\frac{x}{m} \right) &= \text{Log} (X) \\ &= \text{Log} (K_f * C_e^{1/n}) \\ &= \text{Log} (K_f) + \text{Log} (C_e^{1/n}) \\ &= \text{Log} (K_f) + \frac{1}{n} \text{Log} (C_e) \end{aligned} \quad (1.7)$$

พล็อต $\text{Log} \left(\frac{x}{m} \right)$ กับ $\text{Log} C_e$ ได้เส้นตรง ความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และจุดตัดเท่ากับ $\text{Log} K_f$ เมื่อ

$$\text{Log} \left(\frac{x}{m} \right) \text{ ที่ } C_e = 0$$



รูปที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Log} (x/m)$ กับ $\text{Log} C_e$

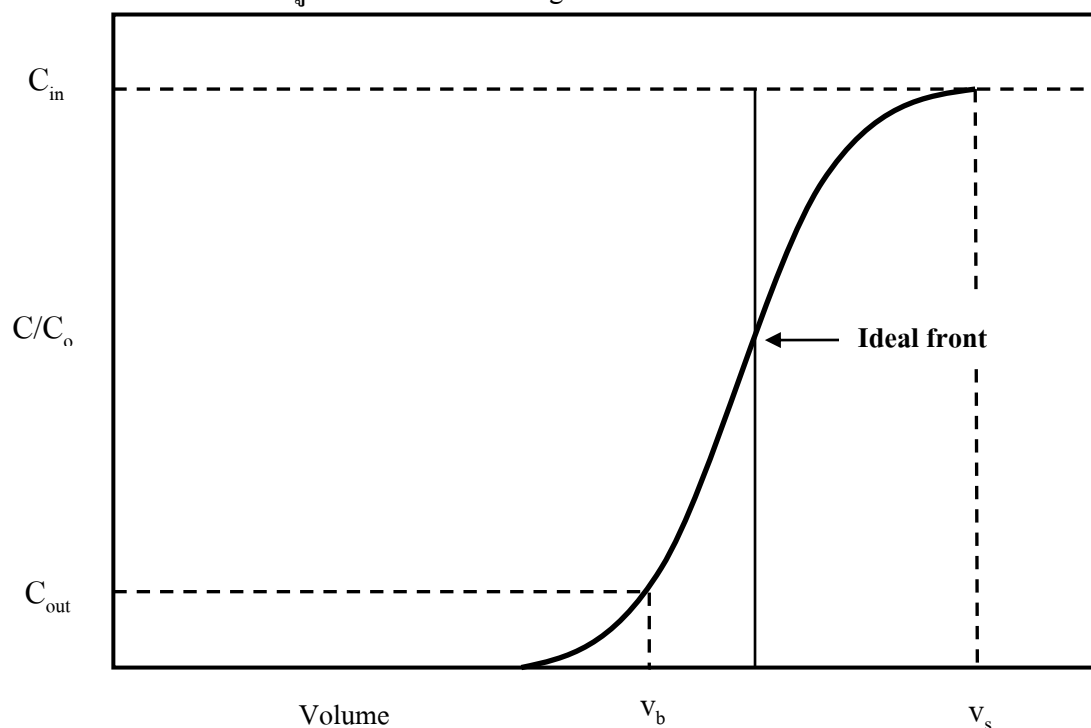
ที่มา : เอกสารอ้างอิงหมายเลข [2]

โดยทั่วไปค่า $\frac{1}{n}$ ของการดูดซับสารอินทรีย์มีค่าน้อยกว่า 1 แต่ถ้า $\frac{1}{n} \approx 1$ แสดงว่า ความจุของการดูดซับสูงที่ความเข้มข้นสูงๆ นั่นคือ การดูดซับเปลี่ยนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความเข้มข้นที่สมดุลต่ำ ทำให้ไอโซเทอรมีค่าความชันมาก ถ้า $\frac{1}{n} \ll 1$ แสดงว่าความจุของการดูดซับค่อยๆ ลดลงที่ความเข้มข้นที่สมดุลต่ำ

(2) การดูดซับแบบต่อเนื่อง

เมื่อผ่านสารละลาย (ตัวถูกดูดซับ) ลงไปในคอลัมน์และพิจารณา wave front ของวัสดุดูดซับ เมื่อสัมผัสกับตัวถูกดูดซับ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนผิววัสดุดูดซับตามความลึกของฐาน (bed depth) ของชั้นแรก วัสดุดูดซับจะถูกดูดซับอย่างรวดเร็วจนถึงสมดุล ส่วนที่สองเป็นการดูดซับแบบไดนามิก เรียกว่า ช่วงการขนถ่ายมวล (mass transfer zone) หลังจากส่วนนี้ตัวถูกดูดซับมาถึงส่วนล่างสุด ความเข้มข้นส่วนนี้เรียกว่าความเข้มข้นที่ Breakthrough ซึ่งสามารถสร้าง Breakthrough curve ได้ โดยพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นที่ออกมา (effluent concentration) กับเวลา ดังรูปที่ 1.2 มีวิธีการทดลองโดยให้ตัวถูกดูดซับก่อนผ่านคอลัมน์ และตัวถูกดูดซับที่ออกจากคอลัมน์ มีความเข้มข้นเท่ากัน ($C_{in} = C_{out}$) ตามปกติ Breakthrough curve จะได้รูปร่างตัวเอสที่เรียบ (smooth S-shape)

เมื่อทำการทดลองกับวัสดุดูดซับชนิดเดียวกัน แต่ถ้าตัวถูกดูดซับหลายๆชนิดผสมกัน การดูดซับจะเกิดการแข่งขัน ทำให้รูปร่างของ Breakthrough curve บิดเบี้ยว หรือเปลี่ยนไป



รูปที่ 1.2 แสดงการหา Breakthrough capacity

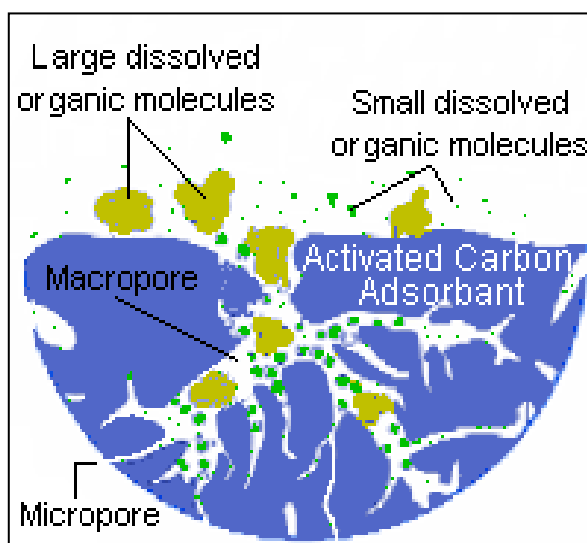
ที่มา : เอกสารอ้างอิงหมายเลข[2]

1.10.4.4 สมบัติของวัสดุดูดซับ^[2]

เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) คือผลผลิตที่ได้จากเปลือกข้าวถูกเผาโดยการควบคุมปริมาณออกซิเจน หรืออาจได้มาจากโรงสีข้าวที่ใช้พลังงานแกลบ เถ้าแกลบมีลักษณะเป็นผงสีดำนํ้ายังสามารถนำไปผสมกับวัสดุอื่นๆทำเป็นวัสดุก่อสร้างแล้ว แกลบข้าวยังถูกนำไปผลิตเป็นเถ้าแกลบ (rice husk ash) เพื่อนํ้าเถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์อีกมาก ซึ่งส่วนประกอบหลักของเถ้าแกลบ คือ คาร์บอน (C) และซิลิกา (SiO_2)ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

(1) คาร์บอน (C)

คุณภาพของถ่านขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เผา และอุณหภูมิในการเผาซึ่งจะมีผลต่อรูพรุนภายในของถ่าน ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสารเคมีและโลหะได้หลายชนิด ดังนั้นจึงนํ้าไปใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เช่น ใช้บำบัดนํ้าเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ดับกลิ่นและกำจัดสี ซึ่งถ่านมีสมบัติคล้ายกับถ่านกัมมันต์ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์แสดงดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

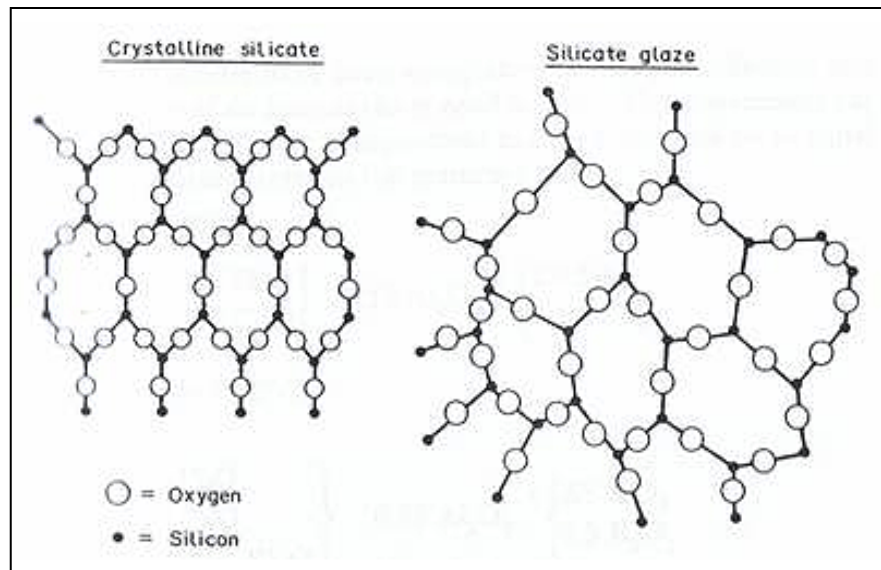
ที่มา : <http://www.cyber-nook.com/water/activated-carbon.gif> สืบค้นวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2554

(2) ซิลิกา (SiO_2)[2]

เกลบนั่นเมื่อเผาแล้วจะได้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง และมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก ซึ่งซิลิกาที่อยู่ในเกลบนั้นเกิดขึ้นจากการดูดซึมธาตุอาหารของต้นข้าว โดยรากของข้าวก็จะทำการดูดซึมธาตุอาหารต่างๆที่จำเป็นรวมทั้งธาตุซิลิกอน (Si) ด้วย จากนั้นสารละลายซิลิกอนก็จะมาถูกสะสมอยู่ที่บริเวณผิวด้านนอกของเปลือกเมล็ดข้าวและกลายเป็นซิลิกาที่รวมตัวกับเส้นใยประเภทเซลลูโลสและลิกนิน เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงของเปลือกข้าวหรือที่เราเรียกกันว่าเกลบนั่นเอง

องค์ประกอบของเกลบนั่นประกอบด้วยสารอนินทรีย์อยู่ประมาณ 20-25% เซลลูโลส 30-40% ลิกนิน 19-47% และน้ำตาลประมาณ 17-26% โดยในส่วนของสารอนินทรีย์นั้นองค์ประกอบหลักก็คือซิลิกา ซึ่งมีช่วงอยู่ตั้งแต่ 85-99% นอกจากนั้นยังมี Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , CaO และอื่นๆซึ่งปริมาณซิลิกาและมลทินเหล่านี้ขึ้นอยู่กับแหล่งที่เพาะปลูกข้าวชนิดของข้าวและปุ๋ยที่ใช้ด้วย

ซิลิกาที่ได้จากเกลบที่ผ่านกระบวนการล้างและเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสนั้นจะยังไม่มีรูปผลึกที่ชัดเจน เป็นอสัณฐานซิลิกา (amorphous phase) มี $\%\text{SiO}_2$ อยู่สูงมาก (>99%) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) สูงมาก มีขนาดของอนุภาคที่ละเอียดมาก (ต่ำกว่า $5\ \mu\text{m}$) ที่อุณหภูมิปกติซิลิกาทนต่อสารเคมีได้หลายชนิดและความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผลึก (รูปที่ 1.4) และยังพบว่าอสัณฐานซิลิกานั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าซิลิกา



รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้างของซิลิกา

ที่มา : <http://www2.mtec.or.th/th/special/cdm/articles5.html> สืบค้นวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2554