

บทที่ 2

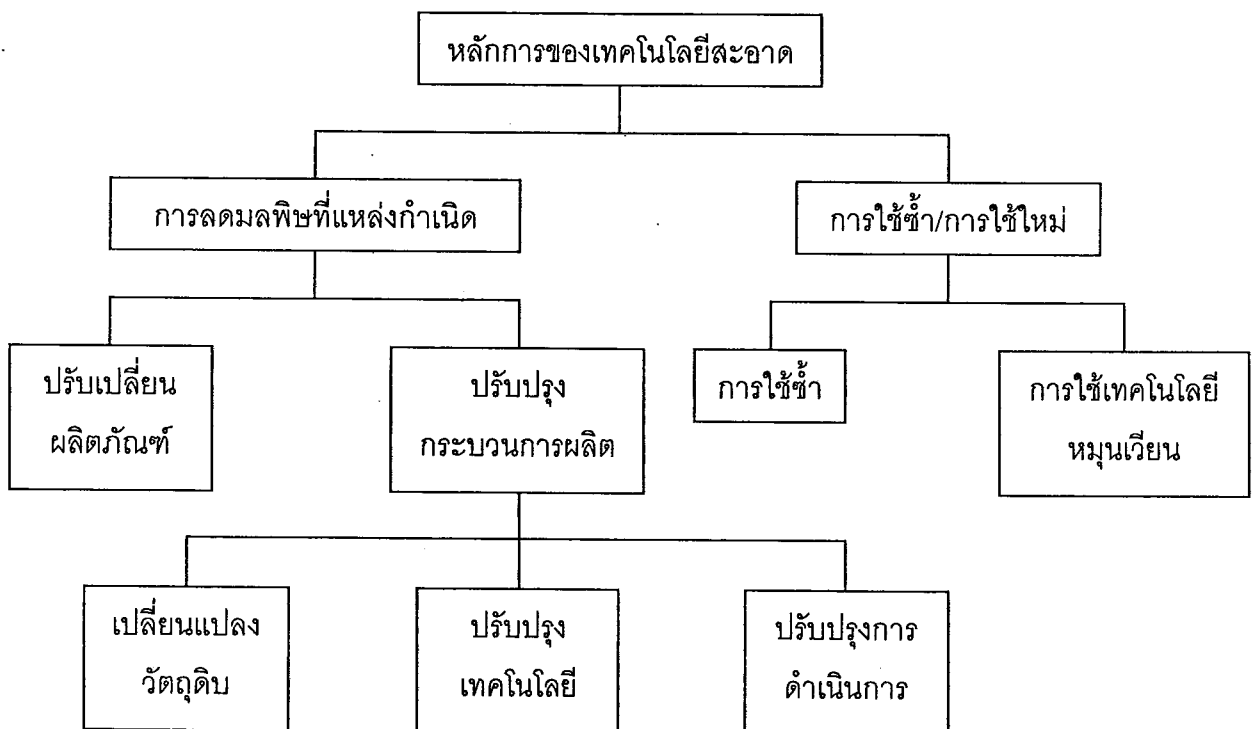
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology)

เทคโนโลยีสะอาดเป็นวิธีการจัดการของเสียจากกระบวนการผลิตโดยใช้กลยุทธ์ในการแยกของเสียหรือลดของเสียที่แหล่งกำเนิด แล้วจึงหาวิธีการนำของเสียที่แยกได้กลับไปใช้งานซ้ำ (Reuse) หรือ นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle & Recovery) ส่วนของเสียที่ไม่สามารถหาวิธีการจัดการได้อย่างเหมาะสมก็จะทำการบำบัดตามหลักวิชาการต่อไป

แนวคิดเรื่องการป้องกันมลพิษที่แหล่งกำเนิด อาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น การป้องกันมลพิษ (Pollution Prevention: P2) หรือการผลิตที่สะอาดขึ้น (Cleaner Production: CP) ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันในรายละเอียดเล็กน้อย แต่มีหลักการมุ่งเน้น "มลพิษที่แหล่งกำเนิด เพื่อทำให้มีของเสียน้อยที่สุด และหากมีของเสียเกิดขึ้น ต้องหาวิธีนำของเหล่านี้นกลับมาใช้ซ้ำหรือนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้เหลือของเสียสำหรับการบำบัดที่ปลายทางให้น้อยที่สุด" ซึ่งเป็นหลักการเดียวกันกับเทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology: CT)

หลักการของเทคโนโลยีสะอาดแสดงดังแผนผังตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการดำเนินงานเทคโนโลยีสะอาด [1]

2.2 ปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นในฟาร์มสุกร

ปัญหามลพิษในฟาร์มสุกรที่สำคัญ ได้แก่ กลิ่นเหม็น น้ำเสีย ของเสียและขยะ เลี้ยงรวกวน แผลงวันและยุ่ง ซึ่งสามประเภทแรกมีความสัมพันธ์กันสูงมาก นั่นคือหากมีการสะสมของมูลและน้ำเสียมากและไม่ได้รับการจัดการถูกต้องและเหมาะสม ปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นและแผลงวัน รวกวนก็จะตามมา

ปัญหากลิ่นเหม็นจะพบทั่วไปในฟาร์มที่ขาดการจัดการที่ดีหรือมีความสกปรกสะสมสูง โดยความเข้มข้นของกลิ่นบริเวณระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียมีความเข้มข้นสูงสุด 9,770 OU (Odor Unit คือ จำนวนเท่าของอากาศปราศจากกลิ่นที่ต้องใช้ในการเจือจางกลิ่นตัวอย่างจนไปถึงระดับที่ไม่มีกลิ่น) บริเวณกองมูลสุกรและลานตากมูลมีความเข้มข้น 1,479 OU บริเวณที่มีการนำมูลสุกรไปใช้มีความเข้มข้น 818 OU และบริเวณโรงเรือนเลี้ยงสุกรมีความเข้มข้น 213 OU [2]

ปริมาณและลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจำแนกตามขนาดฟาร์มแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งจะแตกต่างตามวิธีการทำความสะอาดคอก ปริมาณน้ำใช้และความถี่ของการทำความสะอาด รวมทั้งวิธีการจัดการมูล หากมีการแยกมูลสุกรออกก่อนการฉีดล้างทำความสะอาด ความเข้มข้นของน้ำเสียก็จะน้อยลง นอกจากนี้ประเภทของสุกรที่เลี้ยงก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปผู้เลี้ยงจะเน้นความสะอาดของพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์มากกว่าสุกรขุน ทำให้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์มีปริมาณสูงกว่าน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขุนแต่ความเข้มข้นต่ำ

ฟาร์มสุกรมีการแบ่งขนาดฟาร์มเป็น 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยใช้น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ (นปส.) หรือ Livestock Unit เป็นเกณฑ์ เมื่อน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 1 หน่วย เท่ากับ น้ำหนักสุกรรวม 500 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเฉลี่ยสุกรพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์เท่ากับ 170 กิโลกรัม น้ำหนักเฉลี่ยสุกรขุนเท่ากับ 60 กิโลกรัม และน้ำหนักเฉลี่ยลูกสุกรเท่ากับ 12 กิโลกรัม สำหรับฟาร์มสุกรกรณีศึกษาของโครงการวิจัยนี้มีกำลังการผลิตสุกรขุนจำนวน 150,000 ตัวต่อปี จัดเป็นฟาร์มขนาดใหญ่

ตารางที่ 2.1 ปริมาณและลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจำแนกตามขนาดฟาร์ม [2]

ลักษณะน้ำเสีย	ขนาดฟาร์ม	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
บีโอดี (BOD); มิลลิกรัม/ลิตร	ขนาดใหญ่	1,225	9,000	3,000
	ขนาดกลาง	460	7,650	2,500
	ขนาดเล็ก	239	19,280	1,500
ซีโอดี (COD); มิลลิกรัม/ลิตร	ขนาดใหญ่	2,152	18,388	7,000
	ขนาดกลาง	2,578	31,096	6,800
	ขนาดเล็ก	778	40,000	4,000
สารแขวนลอย (SS); มิลลิกรัม/ลิตร	ขนาดใหญ่	1,304	9,530	4,800
	ขนาดกลาง	149	14,500	3,000
	ขนาดเล็ก	82	1,887	2,000
ไนโตรเจนในรูป TKN; มิลลิกรัม/ลิตร	ขนาดใหญ่	367	981	540
	ขนาดกลาง	235	3,371	540
	ขนาดเล็ก	261	24,480	400
อัตราการเกิดน้ำเสีย; ลิตร/ตัว/วัน	ขนาดใหญ่	-	-	10
	ขนาดกลาง	-	-	15
	ขนาดเล็ก	-	-	20

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานขนาดฟาร์มสุกร [3]

ขนาดฟาร์ม	ประเภท	เทียบเท่าจำนวนสุกร (ตัว)	น้ำหนักรหน่วยปศุสัตว์ (นปส.)
ใหญ่	ก	>5,000	>600
กลาง	ข	500–5,000	60–600
เล็ก	ค	50 ถึงน้อยกว่า 500	6 ถึงน้อยกว่า 60

2.3 แก๊สชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

แก๊สชีวภาพเป็นพลังงานที่เกิดจากการนำของเสีย เช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ขยะ และของเหลือใช้ทางการเกษตร มาผ่านกระบวนการหมัก เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยแบคทีเรียหลายชนิด เมื่อภาวะแวดล้อมเหมาะสม แบคทีเรียจะเจริญ และย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จนกระทั่งในที่สุดเปลี่ยนสภาพเป็นแก๊สชีวภาพ

ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไร้ออกซิเจนเกิดขึ้น 4 ขั้นตอนตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนี้ .

ขั้นที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex organic compound) ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน ให้กลายเป็นโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน ตามลำดับ

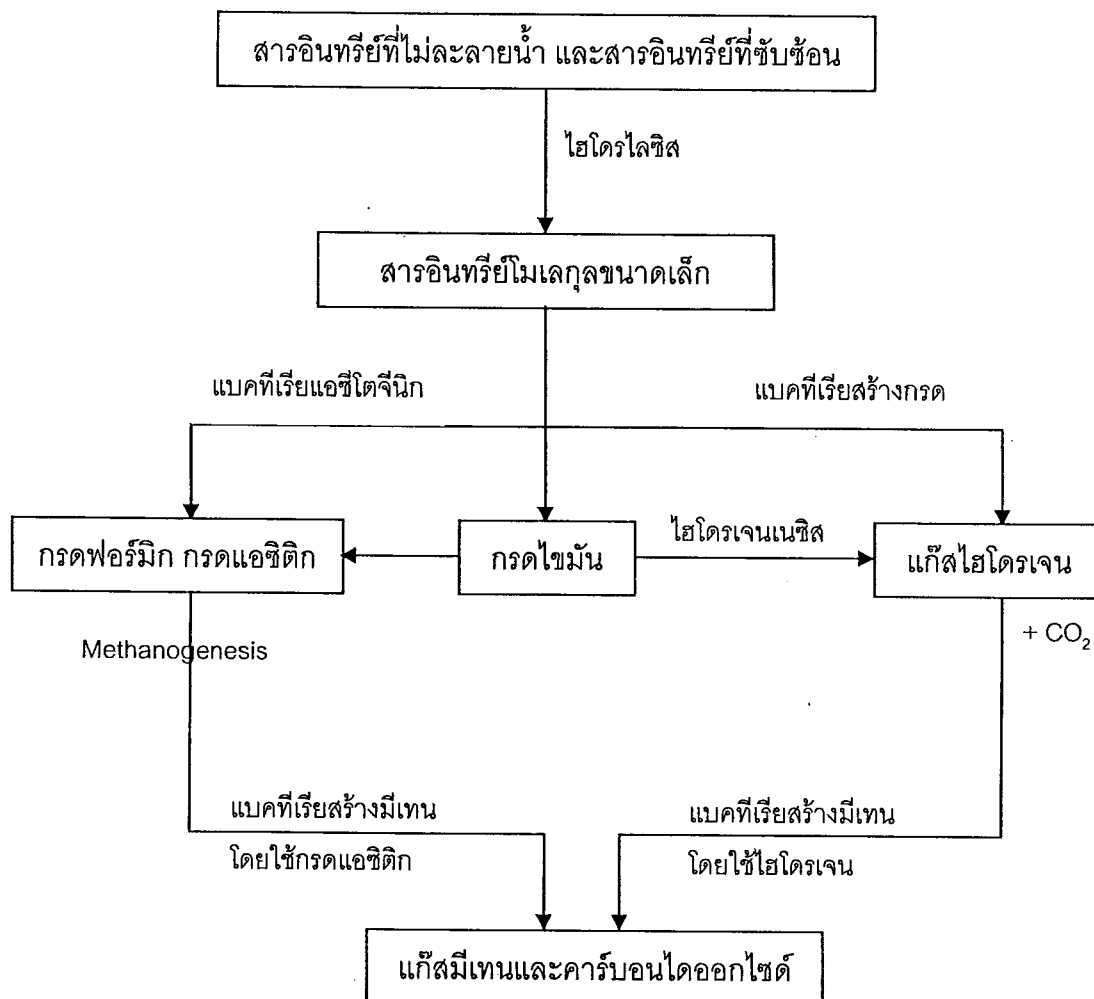
ขั้นที่ 2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) ขั้นตอนนี้เป็นการย่อยสลายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนไฮโดรไลซิสเพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่และเพื่อใช้เป็นพลังงาน สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กจากขั้นตอนไฮโดรไลซิสจะถูกแบคทีเรียพวกสร้างกรดนำไปใช้เพื่อผลิตกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid) ที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 อะตอม เช่น กรดแอสติก (Acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) กรดบิวทิริก (Butyric acid) และกรดแวลริก (Valeric acid) เป็นต้น

ขั้นที่ 3 กระบวนการสร้างกรดแอสติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis) กรดไขมันระเหยที่ได้จากกระบวนการสร้างกรดจะถูกแบคทีเรียแอซิโตจีนิก (Acetogenic bacteria) เปลี่ยนให้เป็น กรดแอสติก กรดฟอร์มิก แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างแก๊สมีเทนต่อไป ปฏิกริยานี้มีความสำคัญเนื่องจากการลดการสะสมของกรดไขมันระเหย ซึ่งการสะสมของกรดไขมันระเหยในปริมาณที่สูงสามารถยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนได้

ขั้นที่ 4 กระบวนการผลิตแก๊สมีเทน (Methanogenesis) แบคทีเรียสร้างแก๊สมีเทน (Methanogenic bacteria) จะผลิตแก๊สมีเทนจากกรดแอสติก กรดฟอร์มิก แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

องค์ประกอบหลักของแก๊สชีวภาพ คือ แก๊สมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 60–70 ซึ่งเป็นแก๊สที่ติดไฟได้ จึงนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 28–38 และแก๊สอื่น ๆ เช่น แก๊สไฮโดรเจน (H_2) แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และแก๊สไนโตรเจน (N_2) ประมาณร้อยละ 2 ซึ่งเป็นแก๊สที่ไม่ติดไฟ ดังนั้นคุณสมบัติของแก๊สชีวภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแก๊สมีเทน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ประกอบด้วย

มีเทนร้อยละ 60 จะมีค่าความร้อนประมาณ 5,000–5,500 กิโลแคลอรี ซึ่งเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร หรือ น้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร หรือน้ำมันเตา 0.81 ลิตร หรือพลังงานไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือแก๊สหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม หรือไม้ฟืน 1.5 กิโลกรัม



รูปที่ 2.2 ลักษณะขั้นตอนของปฏิกิริยาไร้ออกซิเจน [4]

การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตแก๊สมีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ (Temperature) การย่อยสลายอินทรีย์และการผลิตแก๊สในสภาพปราศจากออกซิเจน สามารถเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมากตั้งแต่ 40–60 องศาเซลเซียสขึ้นอยู่กับชนิดของกลุ่มจุลินทรีย์

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเป็นกรด-ด่าง มีความสำคัญต่อการหมักมาก ช่วง pH ที่เหมาะสมอยู่ในระดับ 6.6–7.5 ถ้า pH ต่ำเกินไปจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทน
3. สภาพด่าง (Alkalinity) สภาพด่างหมายถึง ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง สภาพด่างที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ 1,000–5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)
4. สารอาหาร (Nutrients) มีรายงานการศึกษาพบว่าสารอินทรีย์ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ต้องมีสารอาหารในสัดส่วน C:N และ C:P ในอัตรา 25:1 และ 20:1 ตามลำดับ
5. สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and toxic materials) เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย สามารถทำให้กระบวนการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงักได้
6. สารอินทรีย์และลักษณะของสารอินทรีย์สำหรับกระบวนการย่อยสลาย ซึ่งมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
7. ชนิดและแบบของบ่อแก๊สชีวภาพ (Biogas plant)

2.4 รูปแบบบ่อแก๊สชีวภาพสำหรับฟาร์มสุกร [5]

รูปแบบบ่อแก๊สชีวภาพที่มีการส่งเสริมให้นำมาใช้จัดการน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรเพื่ออนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบัน ได้แก่

1. บ่อโดมคงที่ (Fixed dome)

เป็นบ่อแก๊สชีวภาพที่มีการส่งเสริมให้ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดเล็ก (ฟาร์มที่เลี้ยงสุกรเทียบเท่าสุกรขุนไม่เกิน 500 ตัว) โดยได้มีการส่งเสริมในช่วงปี พ.ศ.2538–2544 ในโครงการส่งเสริมการผลิตแก๊สชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ส่วนที่ 2: เกษตรกรรายย่อย (ระยะที่ 1 และระยะที่ 2) ซึ่งดำเนินโครงการโดยกรมส่งเสริมการเกษตร (กสก.) กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สนับสนุนงบประมาณโครงการโดย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพช.) หรือ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ในปัจจุบัน

2. บ่อหมักแบบรางตามด้วยบ่อหมักเร็วน้ำใส (Channel digester + UASB)

เป็นบ่อแก๊สชีวภาพที่พัฒนาขึ้นโดยหน่วยบริการแก๊สชีวภาพ (ปัจจุบันคือ สถานเทคโนโลยีแก๊สชีวภาพ) ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลักทำงานต่อเนื่องกัน คือ บ่อหมักแบบราง (Channel

digester) ทำงานต่อเนื่องด้วยบ่อหมักเร็วน้ำใส (UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ซึ่งบ่อหมักดังกล่าวได้มีการส่งเสริมให้ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดกลางและขนาดใหญ่มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2546 ในโครงการส่งเสริมการผลิตแก๊สชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ส่วนที่ 1: ฟาร์มขนาดกลางและขนาดใหญ่ (ระยะที่ 1 และระยะที่ 2) ดำเนินโครงการโดยหน่วยบริการแก๊สชีวภาพหรือสถานเทคโนโลยีแก๊สชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สนับสนุนงบประมาณโครงการโดยกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพช.) หรือสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ในปัจจุบัน

3. บ่อหมักเร็วน้ำขึ้น (H-UASB)

บ่อหมักเร็วน้ำขึ้น (H-UASB: High suspension solids – Upflow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นบ่อหมักที่หน่วยบริการแก๊สชีวภาพพัฒนาขึ้นโดยปรับปรุงจากบ่อหมักแบบ Channel Digester + UASB เพื่อให้สามารถรองรับและบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น บ่อหมักดังกล่าวได้เริ่มนำมาใช้งานในฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ในโครงการฯ ระยะที่ 2 จำนวน 2 ฟาร์ม คิดเป็นปริมาตรบ่อหมักรวม 12,000 ลบ.ม. ซึ่งพบว่า บ่อหมักดังกล่าวสามารถทำงานได้ดีเกินคาดหมาย จึงถูกนำมาใช้ส่งเสริมในฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ให้แพร่หลายมากยิ่งขึ้นในโครงการฯ ระยะที่ 3

4. บ่อ Covered Lagoon

บ่อ Covered Lagoon เป็นบ่อแก๊สชีวภาพอีกรูปแบบหนึ่ง ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นบ่อดินด้านบนคลุมด้วยผืนพลาสติกขนาดใหญ่เพื่อรวบรวมแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นก่อนนำแก๊สไปใช้ประโยชน์ บ่อหมักแบบนี้ได้มีการนำมาใช้งานเมื่อประมาณ 3–5 ปีที่ผ่านมา จึงถือว่ายังอยู่ในช่วงต้น ๆ ของอายุการใช้งานของบ่อซึ่งประเมินไว้ที่ประมาณ 15 ปี ปัจจุบันจึงยังไม่มีข้อมูลผลการทำงานของบ่อ Covered Lagoon ที่สมบูรณ์เพียงพอ และจำเป็นต้องติดตามผลการใช้งานของบ่อดังกล่าวต่อไป

2.5 เทคโนโลยีการแยกแก๊สด้วยเมมเบรน

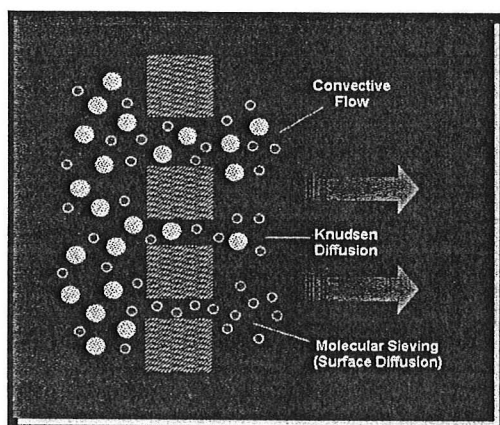
การแยกแก๊สด้วยเมมเบรน เกิดขึ้นได้จากสมบัติการเลือกของเมมเบรน ซึ่งมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ เมมเบรนมีรูพรุน และเมมเบรนเนื้อแน่น โดยกลไกการแพร่ซึมผ่านของแก๊สในเมมเบรนมีรูพรุนแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 (ก) ดังนี้

- 1) ถ้ารูมีขนาดค่อนข้างใหญ่ กล่าวคือ ในช่วง 0.1–10 ไมครอน แก๊สจะแพร่ซึมผ่านเมมเบรนโดยกลไกการพาและไม่มีการแยกเกิดขึ้น

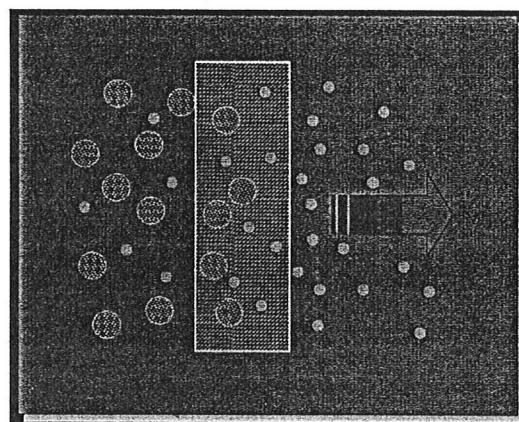
- 2) ถ้ารูมีขนาดน้อยกว่า 0.1 ไมครอน ซึ่งทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูมีขนาดเท่ากับหรือเล็กกว่าวิถีเสรีเฉลี่ย (Mean free path) กลไกการเคลื่อนที่ของโมเลกุลผ่านรูเป็นแบบ Knudsen diffusion
- 3) ถ้ารูของเมมเบรนเล็กมากในระดับ 5–20 อังสตรอม การแยกแก๊สเกิดขึ้นด้วยกลไกการคัดขนาดโมเลกุล ซึ่งมีทั้งการแพร่ในเฟสแก๊ส และการแพร่ของโมเลกุลที่ถูกดูดซับอยู่ตามผนังของรู ซึ่งเรียกว่า Surface diffusion

แต่กลไกการแพร่ซึมของแก๊สผ่านเมมเบรนเนื้อแน่น คือ การละลาย-การแพร่ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ข) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- 1) การละลายหรือการดูดซับของโมเลกุลแก๊สบนผิวของเมมเบรน
- 2) การแพร่ผ่านเมมเบรน
- 3) การคายออกของโมเลกุลแก๊สจากเมมเบรนทางด้านเพอร์มิเอต



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 ลักษณะการแพร่ของแก๊สผ่านเมมเบรน (ก) แบบมีรู (ข) แบบเนื้อแน่น [6]

โดยค่าการซึมผ่านแก๊ส และค่าการเลือกสรรคู่แก๊สนั้น จะขึ้นอยู่กับวิธีการที่โมเลกุลของแก๊สต่างชนิดกันมีการละลายในเมมเบรน และสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านเมมเบรนต่างกัน ค่าการซึมผ่านแก๊ส (P : permeability) เป็นผลคูณของสัมประสิทธิ์การแพร่ (D : diffusion coefficient) และสัมประสิทธิ์การละลาย (S : solubility coefficient) นิยามดังสมการที่ 2.1 โดยสัมประสิทธิ์การละลาย เป็นคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ที่ขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของแก๊สกับเมมเบรน ส่วนสัมประสิทธิ์การแพร่เป็นตัวแปรทางจลนศาสตร์ซึ่งสามารถหาค่าได้จากการทดลอง ค่าการเลือกสรรคู่แก๊ส ($\alpha_{A/B}$: separation factor or permselectivity) เป็นค่าแสดงความสามารถของเมมเบรนในการแยกแก๊สผสม 2 ชนิดออกจากกัน นิยามดังสมการที่ 2.2

$$P = D \times S \quad (2.1)$$

$$\alpha_{A/B} = \frac{P_A}{P_B} \quad (2.2)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sen และคณะ (2007) [7] ได้ทำการเตรียมมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน (Mixed matrix membrane) ของพอลิคาร์บอนเนตและซีโอไลต์ 4A โดยมีการเติมพาราไนโตรแอนิลิน (*p*-nitroaniline) เป็นสารเติมแต่ง ปริมาณของพาราไนโตรแอนิลิน และซีโอไลต์ 4A อยู่ในช่วงร้อยละ 1–5 และ 5–30 โดยน้ำหนักของเมมเบรน ตามลำดับ พบว่าการเติมพาราไนโตรแอนิลินลงไปจะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์และพื้นผิวของซีโอไลต์สามารถเชื่อมติดกันได้ดี ส่งผลให้มิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนมีค่าการซึมผ่านแก๊ส (Permeability) ลดลง แต่จะให้ค่าการเลือกสรรคู่แก๊ส (Selectivity) สูงขึ้น โดยมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนพอลิคาร์บอนเนต/ซีโอไลต์ 4A ที่มีปริมาณของพาราไนโตรแอนิลิน และซีโอไลต์ 4A เท่ากับร้อยละ 1 และ 20 โดยน้ำหนักของเมมเบรน แสดงค่าการเลือกสรรคู่แก๊สของ H_2/CH_4 และ CO_2/CH_4 เป็น 3 และ 2 เท่าของเมมเบรนพอลิคาร์บอนเนต ตามลำดับ

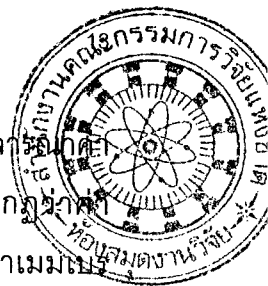
Li และคณะ (2005) [8] ได้ทำการเตรียมมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนของพอลิอีเทอร์อีซิลโฟนและซีโอไลต์ที่มีขนาดรูพรุนที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิสูงใกล้เคียงกับอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วของพอลิเมอร์ เพื่อศึกษาผลของวิธีการเตรียมเมมเบรน ปริมาณของซีโอไลต์ และขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ที่มีต่อสมบัติการแยกแก๊สของเมมเบรน พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนที่ทำให้เย็นลงตามธรรมชาติ (Natural cooling) จะแสดงพื้นผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์และซีโอไลต์ที่ดี และให้ค่าการซึมผ่านแก๊สและค่าการเลือกสรรคู่แก๊สสูงกว่ามิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนที่ทำให้เกิดการเย็นตัวลงทันทีทันใด (Immediate quenching) เมื่อปริมาณของซีโอไลต์เพิ่มขึ้น มิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนจะทำให้ค่าการซึมผ่านแก๊สลดลง แต่ค่าการเลือกสรรคู่แก๊สสูงขึ้น เนื่องมาจากผลของความไม่อ่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์ (Polymer chain rigidification) การอุดตันของรูพรุนในซีโอไลต์ (Partial pore blockage of zeolite) และเมื่อรูพรุนของซีโอไลต์มีขนาดใหญ่ขึ้น มิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนที่ได้จะแสดงค่าการซึมผ่านแก๊ส และค่าการเลือกสรรคู่แก๊สเพิ่มขึ้น

Li และคณะ (2005) [9] ต้องการปรับปรุงสมบัติการแยกแก๊สของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนที่เตรียมได้ก่อนหน้านี้ โดยการปรับปรุงพื้นผิวของซีโอไลต์ด้วยสารคู่ควบซิลเลน (Silane coupling agent) พบว่ามิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนภายหลังจากทำการปรับปรุงพื้นผิวของซีโอไลต์ด้วยสารคู่ควบซิลเลน จะมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ดีขึ้น ทำให้ได้ค่าการซึมผ่านแก๊สและค่าการเลือกสรรคู่แก๊สเพิ่มขึ้น

Anson และคณะ (2004) [10] ได้ทำการเตรียมมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนของพอลิเมอร์ร่วม อะครีโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ABS copolymer) และถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) สำหรับนำมาใช้ในการแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแก๊สมีเทน พบว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนที่มีปริมาณของถ่านกัมมันต์ 1 และ 2 เท่ากับร้อยละ 10 และ 40 โดยน้ำหนักของเมมเบรน จะให้ค่าการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Permeability) และค่าการคัดเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทน (CO_2/CH_4 Selectivity) สูงสุดเท่ากับ 11, 21, 35 และ 51 ตามลำดับ ส่วนความดันไม่มีผลต่อค่าการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าการคัดเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนอย่างมีนัยสำคัญ

Pechar และคณะ (2005) [11] ได้ทำการเตรียมมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน โดยมีซีโอไลต์แอลกระเจาตัวอยู่ในพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มของพอลิอิไมด์ (Polyimide) และพอลิไดเมทิลซิล็อกเซน (Polydimethylsiloxane) จากการศึกษาผลของการเติมพอลิไดเมทิลซิล็อกเซนลงไป ในมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน ด้วยเทคนิค Gel permeation chromatography (GPC) และเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) พบว่าการเติมพอลิไดเมทิลซิล็อกเซนเป็นผลให้น้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของพอลิไดเมทิลซิล็อกเซนเป็นสองเท่าของพอลิอิไมด์ และปรากฏพีคของ C-N-C ที่ 1373 cm^{-1} ซึ่งแสดงให้เห็นการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างพอลิอิไมด์และพอลิไดเมทิลซิล็อกเซน เมื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนที่มีการเติมซีโอไลต์แอลลงไปในพอลิอิไมด์ซิล็อกเซน (Polyimide siloxane) ปริมาณร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนักของเมมเบรน ตามลำดับ พบว่าไม่ปรากฏการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนของซีโอไลต์ เนื่องจากซีโอไลต์สามารถเชื่อมติดกับพอลิเมอร์ร่วมส่วนที่เป็นพอลิไดเมทิลซิล็อกเซน ซึ่งมีความยืดหยุ่นได้ดี และเมื่อศึกษาสมบัติการแยกแก๊สของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน พบว่าเมื่อปริมาณของพอลิไดเมทิลซิล็อกเซนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 41 โดยน้ำหนักของเมมเบรน มิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนจะทำให้ค่าการซึมผ่านแก๊สและค่าการเลือกสรรคู่แก๊สสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันเมื่อเพิ่มปริมาณของซีโอไลต์แอลเป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของเมมเบรน มิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนจะทำให้ค่าการซึมผ่านแก๊สและค่าการเลือกสรรคู่แก๊สลดลง เนื่องจากสายโซ่ที่ยืดหยุ่นของพอลิไดเมทิลซิล็อกเซน จะไปทำให้รูพรุนของซีโอไลต์เกิดการอุดตัน

Tin และคณะ (2003) [12] ได้ทำการปรับปรุงสมบัติการแยกแก๊สของ Matrimid membrane โดยการเชื่อมขวางเมมเบรนด้วยสารละลายพาราไซลีนไดเอมีน (*p*-xylenediamine) ที่อุณหภูมิห้อง ศึกษาสมบัติของเมมเบรนแบบเชื่อมขวางและแบบไม่เชื่อมขวางด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) พบว่าเมมเบรนภายหลังจากทำการจุ่มลงในสารละลายพาราไซลีน ไดเอมีนผ่านไปเป็นเวลา 61 วัน ก็จะเกิดการเชื่อมขวางที่สมบูรณ์ เห็นได้จากการยืดออกของพีคแอมไนด์ (N-H stretching) ที่ 3300 cm^{-1} เมื่อศึกษาสมบัติ



การมีเสถียรภาพทางความร้อนด้วย Thermomechanical analysis (TMA) พบว่าเมื่อพิจารณาการ
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิ 75–150 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าค่า
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเมมเบรนแบบเชื่อมขวางจะให้ค่าที่ต่ำกว่าเมมเบรน
แบบไม่เชื่อมขวาง เนื่องจากการเชื่อมขวางจะไปทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการจัดเรียงตัวที่เป็น
ระเบียบอยู่ในแนวเดียวกัน และเมื่อศึกษาผลของเวลาที่น่าเมมเบรนไปแช่ในสารละลายพาราไซลีน
ไดเอมีนต่อสมบัติการแยกแก๊สของเมมเบรน พบว่าเมื่อทำการแช่เป็นเวลา 1 วัน เมมเบรนจะให้ค่า
การซึมผ่านแก๊สสูงที่สุด ต่อจากนั้นก็ลดลงตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น
ค่าการเลือกสรรคู่แก๊สของเมมเบรนเชื่อมขวางก็จะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าการเลือกสรรคู่
แก๊สของ He/N_2 จะให้ค่าการเลือกคู่แก๊สที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ O_2/N_2 , CO_2/CH_4 และ
 CO_2/N_2 เนื่องจากเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น ทำให้เมมเบรนเกิดการเชื่อมขวางกันได้มากขึ้น สายโซ่พอลิ
เมอร์เกิดการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบและอยู่ใกล้ชิดกัน โมเลกุลของแก๊สจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่าน
ได้ยากขึ้น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
— ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 2 ก.ย. 2554
เลขทะเบียน 235885
เลขเรียกหนังสือ