บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล

อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลเป็นหนึ่งอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นแหล่งสร้างพลังงานของประเทศเพื่อทดแทนพลังงานที่นำเข้า ทั้งยังส่งเสริมการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น อ้อยและมันสำปะหลัง และสร้างเสถียรภาพของราคาผลผลิตทางการเกษตรของประเทศอีกด้วย ซึ่งการผลิตเอทานอลยังเสริมสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่ง การผลิตเอทานอลในประเทศไทยนั้นมีจุดเริ่มต้นที่ภาคเกษตรกรรม โดยวัตถุดิบที่สำคัญ ได้แก่ กากน้ำตาล และมันสำปะหลัง เป็นต้น

การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังนั้น มีการใช้วัตถุดิบและสารเคมี ซึ่งประกอบไปด้วยมันสำปะหลัง ทั้งในรูปมันสดและมันเส้น ยีสต์ นอกจากนี้ยังมีสารเคมีจำเป็น ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต [$(NH_4)_2HPO_4$] แอมโมเนียมซัลเฟต [$(NH_4)_2SO_4$] ยูเรีย (NH_2CONH_2) เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส เอนไซม์กลูโคอะไมเลส (Glucoamylase) และสารลดการเกิดฟอง (ณัฐกรณ์ มะวังนุทูล, 2559; ปิยพงศ์ สุวรรณศรี, 2553; โอภาส ชูนุตร และกนกพร สังขรักษ์, 2559) ซึ่งขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสามารถสรุปได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลัง ทำโดยนำมันสำปะหลังที่ผ่านการแยกเหง้าและล้างสะอาดแล้ว นำไปบดให้ละเอียดจนกลายเป็นแป้งมันสำปะหลัง

ขั้นตอนที่ 2 การย่อยแป้ง

ขั้นตอนนี้จะทำการเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็นน้ำตาล (น้ำตาลกลูโคส) เพื่อให้มีสภาพเหมาะกับการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ในขั้นตอนต่อไป โดยในการย่อยแป้งนั้นอาจใช้เอนไซน์ (Enzymatic Hydrolysis) หรือกรดย่อยแป้ง (Acid Hydrolysis) ในการย่อยแป้ง แต่วิธีที่ได้รับความนิยม คือ วิธีการที่ใช้

เอนไซน์เพื่อย่อยแป้ง เนื่องจากมีความสะดวกและประหยัดต้นทุนมากกว่า ซึ่งการย่อยแป้งนั้นจะทำการย่อย 2 ครั้งด้วยกัน ได้แก่

ครั้งที่ 1 ย่อยแป้งเพื่อทำให้แป้งมีโมเลกุลเล็กหรือทำให้เหลว (Liquefaction) เป็นการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้วิธีการต้มเคี่ยวน้ำแป้งสำปะหลังด้วยเอนไซน์ แอลฟา-อะไมเลส (Alfa-amylase) หรือ เอนไซม์ตัวที่ 1 โดยรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง

ครั้งที่ 2 ย่อยแป้งทำให้ได้กลูโคสหรือย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล (Saccharification) โดยทำให้น้ำแป้งสุก ก่อนผสมเอนไซม์กลูโค-อะไมเลส (Glucoamylase หรือ เบต้า-อะไมเลส (Beta-amylase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ตัวที่ 2 เพื่อย่อยแป้งสุกให้กลายเป็นน้ำตาลก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการหมัก (สการต์ เหลืองเกียงไกร, 2556)

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนเตรียมหัวเชื้อและการหมัก (Fermentation)

กระบวนเตรียมหัวเชื้อและการหมัก (Fermentation) เป็นการเตรียมหัวเชื้อ (Inoculum) เพื่อให้ได้จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความแข็งแรงและมีจำนวนมากเพียงพอที่จะใช้สำหรับกระบวนการหมัก เมื่อดำเนินการเตรียมหัวเชื้อพร้อมแล้ว ให้ดำเนินการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์ Saccaromyces cerevisiae หลังจากทำการหมักให้ทำการปรับและควบคุมสภาวะของการหมักต่าง ๆ ให้เหมาะสม เช่น อัตราการให้อากาศ อัตราการกวน ค่าพีเอชและอุณหภูมิ ในกระบวนการนี้จะใช้เวลาประมาณ 2 วัน หรือ ประมาณ 48 ชั่วโมง ที่ความเป็นกรด pH 4-5 โดยกระบวนการหมักนี้จะทำในถังหมักที่ได้เตรียมไว้และใช้เครื่องควบคุมการหมัก (Biostat B) ซึ่งยีสต์สายพันธุ์นี้จะสามารถผลิตเอทานอลได้สูง และสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่มีเอทานอลได้ดีกว่ายีสต์สายพันธุ์อื่น (สการต์ เหลืองเกียงไกร, 2556)

ขั้นตอนที่ 4 การกลั่นเอทานอล (Ethanol)

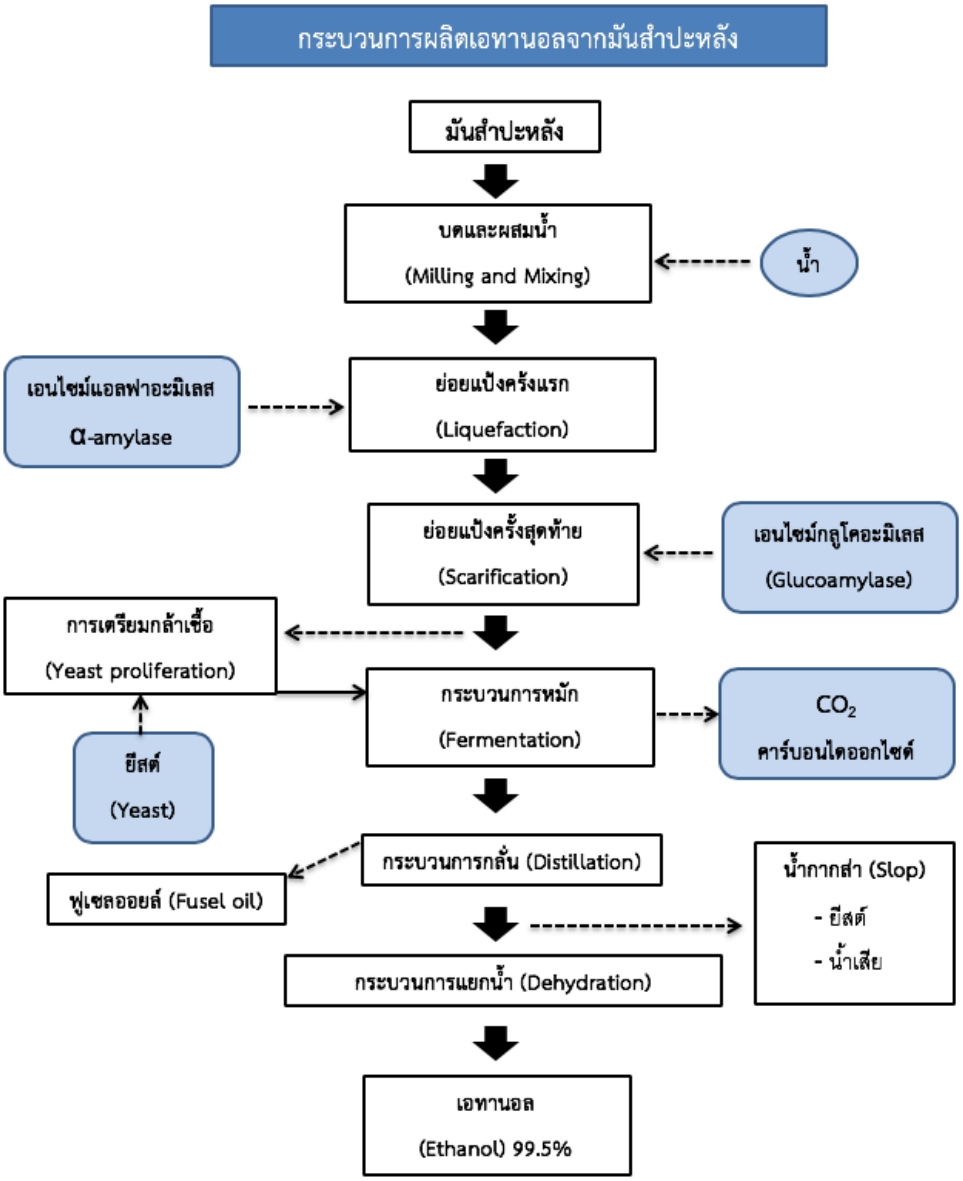
ขั้นตอนนี้เป็นการกลั่นเพื่อผลิตเอทานอลและทำให้บริสุทธิ์ เป็นการแยกเอทานอลที่เอทานอลมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร ออกจากน้ำหมักและน้ำส่า โดยการกลั่นลำดับส่วนนี้จะสามารถแยกเอทานอลที่ให้ความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร ซึ่งแตกต่างจากการกลั่นเพื่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง (แก๊สโซฮอล์) ที่จะต้องทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร ซึ่งการกลั่นดังกล่าวต้องใช้เทคโนโลยีและเทคนิคในการกลั่น เพื่อที่จะแยกน้ำออกมาและให้ได้ เอทานอลที่บริสุทธิ์ โดยวิธีที่นิยมใช้กันนั้นมีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน คือ

1) การดูดซับด้วย (Molecular sieve)

2) การกลั่นอะซีโอโทรป (Azeotropic distillation)

3) เทคโนโลยีแผ่นเยื่อบาง (Membrane technology)

จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังน้ำกากส่าหรือน้ำเสียจากกระบวนการผลิตจะเกิดขึ้นและปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการกลั่นและกระบวนการแยกน้ำ (สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย, 2556) ดังแสดงในแผนภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง

ที่มา: ดัดแปลงจาก สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย (2556)

2.2 ไคโตซาน

ไคโตซานเป็นสารโพลิเมอร์ธรรมชาติชนิดหนึ่ง โดยถูกจัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสมที่ประกอบด้วยอนุภาคมวลของน้ำตาลกลูโคส และมีธาตุไนโตรเจนเกาะอยู่ภายในโมเลกุลทำให้สมบัติเฉพาะตัวในการเกิดปฏิกิริยากับสารหลายชนิด สารไคตินละลายยากจึงมักจะใช้ในรูปของแข็ง แต่ในส่วนของไคโตซานที่เกิดจากปฏิกิริยาการจัดหมู่ของสารไคตินด้วยด่างสารไคโตซานนั้นจะละลายได้ดีในกรดอินทรีย์ โดยเฉพาะในกระบวนการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ กระบวนการสร้างตะกอนและดักตะกอน ไคโตซาน คือ ไคตินในรูปที่มีปริมาณอะซิติลต่ำ ที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิติลของไคตินด้วยด่างเข้มข้น จึงทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนแปลงไปโดยหมู่อะซิตามิโดโดยเปลี่ยนไปเป็นหมู่อะมิโน (บวรพล จันทร์แสง, 2545; สิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย, 2549)

2.2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีไคโตซาน

คุณสมบัติการละลายของไคโตซานนั้น โดยปกติไคโตซานจะไม่ละลายในน้ำกรดเจือจาง ด่างเจือจาง และตลอดจนด่างเข้มข้น แอลกอฮอล์ และรวมถึงตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ แต่ไคตินสามารถละลายได้ดีในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดซัลฟิวริกเข้มข้น กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิก เป็นต้น การที่ไคตินมีความยากในการละลายในตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นผลมาจากสายโซ่โมเลกุลที่อยู่อย่างหนาแน่นและมีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล ด้วยหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกันนั้นทำให้ไคโตซานไม่ละลายในน้ำด่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ดีในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 ด้วยเหตุนี้ กรดฟอร์มิกจึงเป็นกรดที่นิยมใช้ในการทำละลายไคโตซาน รวมถึงกรดอนินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลาย ไคโตซานได้เช่นกัน ภายใต้การคนที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจจะทำให้เกิดตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น สารละลายไคโตซานมีความเหนียวใสมีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียน ในสารละลายหมู่อะมิโนในไคโตซาน จะแตกตัวโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์โดยไคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง 6.2 - 6.8 ความหนืดของไคโตซานจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลน้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้นความแรงของอิออน ค่าpH และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงpHของสารละลายโพลิเมอร์จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืด

ของไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าpH ลดลง ความหมายของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น การเสื่อมสลายของไคติน หรือ ไคโตซานก็เหมือนกับพอลิเมอร์หรือโพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ ทั่วไป คือ เมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลง เป็นโอลิโกเมอร์ หรือโอลิโกแซ็กคาไรด์ หรือโอลิโกแซ็กคาไรด์ โดย โอลิโกแซ็กคาไรด์ของไคตินและไคโตซานคือ N-acetyl-Chitooligosaccharide และ Chitooligosamine (บวรพล จันทร์แสง, 2545; สิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย, 2549)

2.2.2 กระบวนการผลิตไคติน

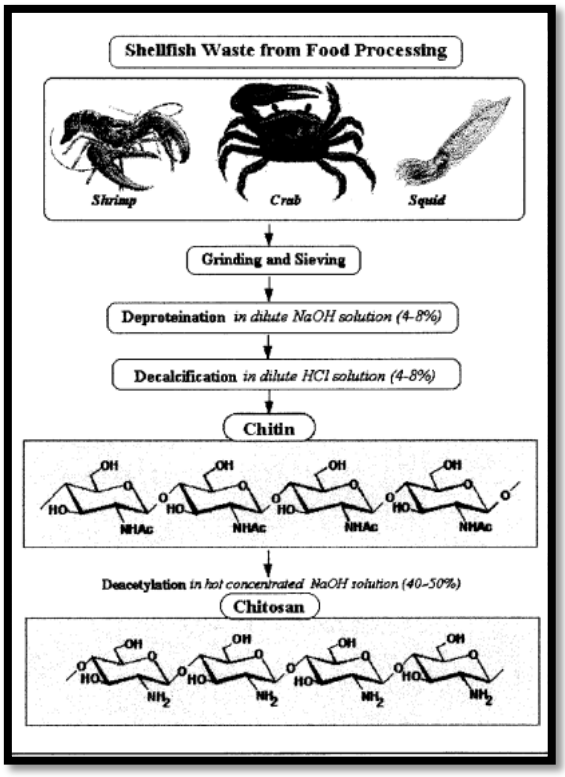
1) การกำจัดโปรตีน (Deproteinization) เป็นขั้นตอนกำจัดโปรตีนออกจากเปลือกกุ้ง ปู ด้วยการทำปฏิกิริยากับด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้นระหว่าง 3 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิในช่วง 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาประมาณ 2 ถึง 3 ชั่วโมง ซึ่งสารโปรตีนจะถูกกำจัดออกพร้อมกับไขมัน และสีบางส่วน หลังการกำจัดจะเข้าสู่การล้างน้ำให้สะอาดก่อนจะนำส่งเข้าไปยังขั้นตอนต่อไป

2) การกำจัดเกลือแร่ (Demineralization) เป็นขั้นตอนการกำจัดอนินทรีย์สารจำพวกแร่ธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในเปลือกกุ้ง ปู ด้วยการทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ (HCl) ความเข้มข้นระหว่าง 3 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิห้อง ใช้เวลาประมาณ 1 วัน หรือ 24 ชั่วโมง แร่ธาตุจะถูกกำจัดออกในรูปของอนินทรีย์สารที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl2) โดยจะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) และระเหยออกไป นอกจากนี้โปรตีน และสีบางส่วนที่ลงเหลือจากขั้นตอนการกำจัดโปรตีน จะถูกนำไปล้างน้ำให้สะอาดและส่งเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

3) การกำจัดสี (Decoloration) ในขั้นตอนการกำจัดสีนี้ เป็นขั้นตอนที่ทำการกำจัดรงควัตถุหรือสีออกให้หมด ซึ่งขั้นตอนนี้อาจทำก่อนกระบวนการผลิตไคโตซานเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไคตินที่จะนำมาผลิตไคโตซาน หรือจะทำทีหลังในขั้นตอนการผลิตไคโตซานเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไคโตซาน โดยการฟอกสีจะใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H2O2) หรือโซเดียมเปอร์คลอเรต (NaOCl4) เหมือน ๆ กับกระบวนการฟอกสีในสิ่งทอ แต่สารเหล่านี้มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลของไคโตซานแตกสั้นลง ดังนั้นขั้นตอนนี้จะนิยมทำในขั้นตอนต้นของกระบวนการผลิต หลังการกำจัดจะเข้าสู่การล้างน้ำให้สะอาดก่อนนำส่งเข้าไปยังขั้นตอนต่อไป (บวรพล จันทร์แสง, 2545; สิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย, 2549)

2.2.3 กระบวนการผลิตไคโตซาน

ขั้นตอนในการผลิตไคโตซานนั้น จะมีขั้นตอนเหมือนกับการผลิตไคติน โดยเริ่มจากการผลิตไคตินจนได้สารไคตินบริสุทธิ์ และหลังจากนั้นจะใช้สารไคตินเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไคโตซาน การกำจัดหมู่อะซิติลของไคติน (Demineralization) สามารถทำด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด แต่วิธีดังกล่าวไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดนั้นยังด้อยกว่าด้วยวิธีการกำจัดด้วยด่าง ซึ่งนิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยา หลังจากการกำจัดหมู่อะซิติลของไคตินแล้วจะทำการล้างด้วยน้ำให้สะอาด และอบให้แห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ต่อไป ในกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพจะดูที่ความมากและความน้อยของหมู่อะซิติลที่เหลืออยู่ ดังนั้นโดยสรุปแล้วการผลิตไคติน-ไคโตซานโดยทั่วไปนั้นจะใช้กระบวนการทางเคมี ซึ่งจะสกัดโปรตีนออกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จากนั้นสกัดเอาแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ออกโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่าไคติน ส่วนไคโตซานได้จากการดึงหมู่อะซิติล (Dcacetylation) ออกจากโมเลกุลของไคติน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นที่อุณหภูมิสูง (บวรพล จันทร์แสง, 2545; สิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย, 2549) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงกระบวนการการผลิตไคติน-ไคโตซาน

ที่มา: บวรพล จันทร์แสง (2545)

ปัจจุบันยังไม่มีรายงานผลความเป็นพิษเกี่ยวกับไคตินและไคโตซาน ดังนั้นจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมอาหารยาเครื่องสำอาง เส้นใย และกระดาษ นอกจากนี้ยังมีการนำไคโตซานมาประยุกต์ใช้เคลือบกับเส้นใยของสิ่งต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของสิ่งทอให้ดีขึ้น เช่น การย้อมติดสีการนำไฟฟ้า การเพิ่มผลิตยาทางชีวภาพ และการป้องกันเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา โดยจะเห็นได้ว่าไคโตซานที่นำมาเพิ่มความเหนียวของเส้นใยนั้น มักจะมีลักษณะเป็นผลึก ซึ่งการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีสกัดทางเคมีนั้น จะได้ผลผลิตไคโตซานที่มีโครงสร้างที่ต่างออกไป (บวรพล จันทร์แสง, 2545)

2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

2.3.1 ความหมายระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เป็นขบวนการกำจัดน้ำเสียที่อาศัยแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งการบำบัดน้ำเสียวิธีนี้นั้นจะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายน้ำเสียเป็นเวลานาน โดยหลังจากกระบวนการย่อยสลายเสร็จสิ้นแล้วยังทำให้แหล่งน้ำมีกลิ่นเหม็น (บริษัท ไฮโดรเท็ค จำกัด มหาชน, 2561)

2.3.2 ความสำคัญของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ไม่เติมออกซิเจน ดังนั้นจึงนิยมเรียกว่า ระบบไร้อากาศ ระบบบำบัดนี้ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถประหยัดพลังงานในการเติมอากาศให้กับระบบ นอกจากนี้กระบวนการบำบัดนี้ยังให้พลังงาน ซึ่งได้แก่ ก๊าซมีเทน (Methane gas) เป็นต้น ซึ่งก๊าซมีเทนนั้นสามารถนำมาใช้เป็นก๊าซในการหุงต้ม ทำอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมได้ โดยในอดีตเข้าใจว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศนั้นจำเป็นต้องเป็นน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีสูง ๆ แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกิริยาดีขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นจึงสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำ ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน ซึ่งน้ำเสียดังกล่าว ได้แก่ น้ำเสียจากชุมชน เป็นต้น เนื่องจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศนั้น อาศัยหลักการให้มีจำนวนจุลชีพมากขึ้นในระบบและทำให้จุลชีพสัมผัสกับน้ำเสียมากที่สุด (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543; ฤทธิชัย รัตนมุกดา, 2552)

2.3.3 ลักษณะกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

กระบวนการไร้อากาศมีหน้าที่ 2 ประการ คือ การสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนอินทรีย์ในระบบบำบัด หรือการบำบัดสลัดจ์และบำบัดน้ำเสีย ในด้านของการกำจัดสลัดจ์นั้นถือว่าเป็นส่วนที่จำเป็นของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทำลายสารอินทรีย์ในตะกอนสลัดจ์ ซึ่งส่วนทางของการบำบัดน้ำเสียพบว่ากระบวนการไร้อากาศเป็นกระบวนการที่ลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียเบื้องต้นให้เหลือน้อยลงก่อนที่จะส่งต่อไปยังกระบวนการใช้อากาศเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ โดยวิธีดังกล่าวจะช่วยทำให้ประหยัดสารเคมี และพลังงานที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้มาก กระบวนการไร้อากาศมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างจากกระบวนการบำบัดแบบใช้อากาศอย่างเด่นชัด เช่น กระบวนการไร้อากาศมีเสถียรภาพต่ำ ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้และมีอัตราการสร้างตะกอนสลัดจ์ที่ต่ำมาก แต่ไม่สามารถลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ให้เหลือต่ำมากได้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542; ฤทธิชัย รัตนมุกดา, 2552)

2.3.4 ลักษณะทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ภายในถังปฏิกิริยาระบบไร้อากาศนั้น สารประกอบอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่เกินไปจะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กด้วยเอนไซม์จนสามารถถูกขนส่งผ่านเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียได้ เมื่อสารอินทรีย์อยู่ในเซลล์แล้วจะถูกออกซิไดซ์หลายครั้งจนกลายเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ผลสุดท้าย โดยผ่านกระบวนการเฟอร์เมนเตชั่นซึ่งผลสุดท้ายจะมีทั้งสารที่อยู่ในรูปรีดิวส์ และรูปออกซิไดส์ ส่วนใหญ่ผลิตผลในรูปออกซิไดซ์ ได้แก่ กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม ปฏิกิริยาในการสร้างกรดอินทรีย์เรียกว่า เอซิดโดเจนีซิส อาศัยการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด ผลิตผลที่เป็นรูปรีดิวส์เป็นสารอินทรีย์หลายประเภทที่มีปริมาณแตกต่างกัน ขึ้นกับสภาวะแวดล้อมของถังปฏิกิริยา และชนิดของแบคทีเรีย แต่แบคทีเรียบางตัวที่สร้างกรดได้อาจจะไม่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้ จึงถือว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นชนิดหนึ่งของแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดอาจรวมเรียกว่า แบคทีเรียไม่สร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่ง คือ แบคทีเรียที่ย่อยสลายไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิค และกรดอะเซติคเพื่อสร้างก๊าซมีเทนเรียกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542; ฤทธิชัย รัตนมุกดา, 2552)

2.4 สารอาหารเสริมที่มีผลต่อระบบไร้อากาศ

ระบบไร้อากาศเป็นระบบที่อาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียที่สร้างกรด และ แบคทีเรียที่ สร้างก๊าซมีเทน ขณะที่กลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทนมีความต้องการสารอาหารบางตัว ซึ่งอาจต้องการปริมาณน้อยมากแต่ก็ไม่สามารถขาดได้ เช่น นิกเกิล เหล็ก โคบอลต์และซัลเฟอร์ (ในรูปซัลไฟด์) ดังนั้นหากน้ำเสียขาดแคลนสารอาหารต่าง ๆ เหล่านี้ จะทำให้ไม่เกิดการผลิตก๊าซมีเทนจากระบบไร้อากาศ ซึ่งสารอาหารเหล่านี้มีความสำคัญ คือ

1) ไนโตรเจน เป็นสารอาหารเสริมหลักที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ของแบคทีเรีย

2) ฟอสฟอรัส เป็นสารอาหารเสริมหลักที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์กรดนิวคลิอิกของแบคทีเรีย

3) เหล็ก เป็นสารอาหารเสริมรองที่พบในเนื้อเยื่อของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) มากกว่าโลหะชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะช่วยในการขับของเสียออกนอกเซลล์ของแบคทีเรีย และยังพบมากในกระบวนการบำบัดไร้อากาศ แต่การเติมเหล็กในระบบบำบัดแบบไร้อากาศอาจทำให้ซัลไฟด์ ตกตะกอน

4) นิกเกิล เป็นสารอาหารเสริมรองที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของโคเอนไซม์ F 430 ซึ่งเป็นหนึ่งในโคเอนไซม์ที่สำคัญของแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนซึ่งโคเอนไซม์เหล่านี้ ได้แก่ โคเอนไซม์ F 420, F430 และ 2 - mercaptoetane sulfonic acid โดยส่วนมากนิกเกิลจะเป็นมลทินที่ติดอยู่ใน Yeast extract และเกลือแร่อื่น ๆ ซึ่งทำให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนนั้นได้รับนิกเกิล นอกจากนี้แล้วนิกเกิลยังสามารถรวมกับซัลไฟด์ และทำให้เกิดการตกผลึกได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นผลึกเหล็กจึงมีความจำเป็นที่ต้องเติมนิกเกิลบ้างในกรณีที่มีปริมาณนิกเกิลไม่เพียงพอเกิดขึ้น

5) โคบอลล์ เป็นสารอาหารเสริมรองที่มักจะอยู่ในรูปของเอนไซม์จำเพาะ และโคลินอยด์ ซึ่งสามารถพบได้ในเอนไซม์คาร์บอนมอนอกไซด์ดีไฮโดรจีเนส โดยเอนไซม์นี้เป็นเอนไซม์ที่มีความจำเป็นในขั้นตอนการทำงานของการสร้างอะซิเตด (Acetogenesis) และมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่าเหล็กอยู่มาก แต่ก็อาจสามารถทำให้เกิดปัญหาทำให้ซัลไฟด์ตกตะกอนได้เช่นเดียวกับเหล็ก

6) ซัลไฟด์ เป็นสารอาหารเสริมรองที่มีบทบาทต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศทั้งด้านบวกและด้านลบ เนื่องจากซัลไฟด์สามารถรวมกับเหล็ก นิกเกิล และโลหะหนักที่จำเป็นต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แยกตัวออกจากน้ำตกตะกอนเป็นผลึก และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่า 100 – 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน และซัลไฟด์ปริมาณเล็กน้อยก็เป็นสาร

ที่มีความจำเป็นต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน ความต้องการซัลไฟด์ของแบคทีเรียสร้างมีเทนอยู่ในช่วง 1 – 25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าพีเอชและความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบรรยากาศเหนือระดับน้ำในถังปฏิกิริยานั้นจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของซัลไฟด์ในน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้

7) ทองแดง เป็นสารอาหารเสริมรองพบมากในแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน ซึ่งมีทองแดงเป็นองค์ประกอบอยู่ในเอนไซม์ซูเปอร์ดิสมูเทส (Super dismutase) แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มีผลการผลการศึกษาและรายงานที่แน่ชัดว่าการเติมทองแดงนั้นจะสามารถกระตุ้นการทำงานของระบบไร้อากาศได้

8) เซลิเนียม เป็นสารอาหารเสริมรองที่เป็นองค์ประกอบโดยทั่วไปของเอนไซม์ในแบคทีเรียระบบไร้อากาศซึ่งอยู่ในกรดนิวคลีอิกของแบคทีเรีย เอนไซม์ที่มีซีลิเนียมเป็นองค์ประกอบ คือ ฟอร์เมตดี ไฮโดรจีเนส (Formate dehydrogenase) เอนไซม์ที่มีเซลิเนียมจะทำงานได้ดีที่พีเอชเป็นกลางค่ารีดอกซ์ต่ำ หากมีซิลิเนียมปริมาณเหมาะสมอาจช่วยในการย่อยสลายกรดไขมัน และช่วยเร่งปฏิกิริยาในระบบไร้อากาศได้

9) สังกะสี เป็นสารอาหารเสริมรองที่มีความคล้ายคลึงกับโคบอลล์ พบในแคทีเรียที่สร้างมีเทนสังกะสีเป็นส่วนหนึ่งของเอนไซม์ฟอร์เมตดีไฮโดรจีเนส SODM และไฮโดรจีเนส แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มีผลการผลการศึกษาและรายงานที่แน่ชัดว่าการเติมสังกะสีนั้นจะสามารถกระตุ้นการทำงานของระบบไร้อากาศได้

10) โมลิบดินัม เป็นสารอาหารเสริมรองที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในรูปของเอนไซม์ฟอร์เมตดีไฮโดรจีเนส (Formate dehydrogenase) แต่โมลิบดินัมอาจยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ลดปริมาณซัลเฟตได้

11) ทังสเตน เป็นอีกหนึ่งสารอาหารเสริมรองที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ฟอร์เมตดีไฮโดรจีเนส และช่วยในการย่อยสลายคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเช่นเดียวกับนิกเกิล (สินิจนันท์ เสียงเสนาะ, 2553)

2.5 สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ระบบบำบัดน้ำเสียหรือการย่อยสลายแบบไร้อากาศนี้เป็นการทำงานร่วมกันของกลุ่มจุลินทรีย์หลายกลุ่มด้วยกัน ซึ่งลักษณะการทำงานนั้นจะเป็นการทำงานแบบสายโซ่ต่อเนื่อง คือ จุลินทรีย์กลุ่มที่หนึ่งจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารให้เป็นสารที่จุลินทรีย์กลุ่มที่สองสามารถย่อยได้ก่อน จุลินทรีย์กลุ่มที่สองจึงจะสามารถทำงานหรือย่อยสลายในระบบต่อได้ ดังนั้นจึงเป็นกระบวนการที่ต้องพึ่งพากันอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้สภาวะแวดล้อมในถังปฏิกรณ์จึงต้องมีการปรับให้เหมาะสมกับการดำรงอยู่ของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังทั้งสองกลุ่มอย่างสมดุล มิฉะนั้นแล้วระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศจะไม่สามารถดำเนินไปได้ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อระบบการย่อยสลายเป็นไร้อากาศมีดังนี้ คือ

2.5.1 อุณหภูมิ (temperature)

โดยปกติแล้วอุณหภูมิจะมีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการทำงานของเอนไซม์เพิ่มขึ้น แบคทีเรียจึงมีความสามารถเติบโตได้เร็วขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเกินกว่าที่แบคทีเรียทนได้ มีผลทำให้การทำงานของเซลล์แบคทีเรียเกิดความผิดปกติจากการที่โปรตีน กรดนิดคลีอิก และส่วนประกอบของเซลล์แบคทีเรียถูกทำลายจนไม่สามารถคืนสภาพได้ ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนนั้นจะมีอยู่ 2 ช่วง คือ

1) ช่วงเทอร์โมฟิลิค (Thermophillic) อุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส

2) ช่วงมีโซฟิลิค (Mesophillic) อุณหภูมิประมาณ 20-45 องศาเซลเซียส

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงทำให้ในช่วงเทอร์โมฟิลิค มีอัตราการย่อยสลายอย่างรวดเร็วมากกว่าช่วงมีโซฟิลิค แต่โดยทั่วไปในการบำบัดน้ำเสียจะควบคุมให้แบคทีเรียในระบบอยู่ในช่วงมีโซฟิลิค เนื่องจากในช่วงนี้ไม่ต้องใช้พลังงานสูง และช่วงเทอร์โมฟิลิคจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่ามีโซฟิลิค ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอจึงมีความสำคัญมากกว่าจะทำให้มีอุณหภูมิที่มีอัตราการย่อยสลายสูง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นและ

ลดลงของอุณหภูมิเพียง 2-3 องศาเซลเซียสนั้น จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซมีเทนเป็นอย่างมาก (ชาญศักดิ์ ไชยสิทธิ์, 2555).

2.5.2 พีเอช (pH)

พีเอช คือค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรือไฮโดรเนียมไอออน ($H3O^+$) ค่าพีเอชมีความสำคัญต่อการทำงานของแบคทีเรียในแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน โดยทั่วไปแบคทีเรียเจริญเติบโตดีที่ช่วงพีเอช 6.5 -7.8 ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาศัยการทำงานรวมกันของแบคทีเรียสองกลุ่มหลัก โดยแบคทีเรียสร้างมีเทนจะมีความไวต่อพีเอชมากที่สุด แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ที่ช่วงค่าพีเอชหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียโดยทั่วไปช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมกับแบคทีเรียคือ 5 ถึง 10 แต่ก็มีแบคทีเรียที่มีความสามารถเจริญได้ในค่าพีเอชที่ต่ำกว่า 5 หรือค่าพีเอชที่สูงในช่วง 10 ถึง 11 โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

1) Acidophiles คือ กลุ่มของแบคทีเรียที่มีความสามารถเจริญได้ดีในค่าพีเอชต่ำกว่า 5 เช่น รา และแบคทีเรียบางชนิด

2) Alkaliphiles คือ กลุ่มของแบคทีเรียที่เจริญได้ในช่วงพีเอช 10 ถึง 11 (กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์, 2552; กัญญารัตน์ สฤษฎ์พงศ์ทีรฆ, 2550; ไกรเวศ กาพย์ตุ้ม, 2555)

ในน้ำเสียอุตสาหกรรมบางชนิดมีค่าพีเอชในน้ำเสียสูงกว่าช่วงค่าที่แบคทีเรียจะสามารถทำงานได้ ซึ่งส่งผลให้สภาพความเป็นด่างสูงตาม โดยส่วนใหญ่พีเอชที่สูงขึ้นและสภาพด่างเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากไอออน ไบคาร์บอเนต ($HCO3^-$), คาร์บอเนต ($CO32^-$) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) โดยส่วนใหญ่น้ำที่มีพีเอชสูงถึง 11 หรือมากกว่าจะมี OH^- และ $CO32^-$ มากที่สุด พีเอชยิ่งสูงก็ยิ่งมี OH^- มาก เมื่อพีเอชเพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อการเคลื่อนย้ายหรือการลำเลียงสารอินทรีย์เข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรียในทางตรง และไอออนเหล่านี้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ ยังผลให้เกิดความเสียหายต่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนสภาพโปรตีนของเยื่อหุ้มเซลล์ หรือการสร้างพันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond) กับโปรตีนหรือเอนไซม์บางชนิดจนทำให้การทำงานของโปรตีนหรือเอนไซม์นั้น ๆ ผิดปกติไป เป็นต้น ในทางอ้อมยังมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไอออไนเซชั่น (Ionization State) ในองค์ประกอบของสารอินทรีย์ การลำเลียงของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์จะเกิดได้ดีกับไอออนที่ไม่แตกตัว พีเอชที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความสามารถในการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์

เกิดความเป็นพิษและยับยั้งกิจกรรมของแบคทีเรีย ระดับพีเฮชต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (สรัญญา คำภีระ, 2556) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลของระดับพีเอชต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

พีเอช	การทำงานของแบคทีเรีย
ต่ำกว่า 5.0	แบคทีเรียถูกทำลายอาจตายได้
5.0 - 6.0	แบคทีเรียเริ่มไม่ปลอดภัย
6.0 - 6.5	แบคทีเรียมีกิจกรรมลดลง
6.5 - 8.0	อยู่ในสภาวะปกติ มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงในการบำบัด
8.0 - 8.5	แบคทีเรียมีกิจกรรมลดลง
8.5 - 9.0	แบคทีเรียเริ่มไม่ปลอดภัย
สูงกว่า 9.0	แบคทีเรียถูกทำลายอาจตายได้

ที่มา : สรัญญา คำภีระ (2556)

2.5.3 ระยะเวลากักเก็บชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT)

เป็นระยะเวลาเฉลี่ยที่น้ำอยู่ในถังปฏิกรณ์หรือคือเวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับจุลินทรีย์ ระบบที่มี HRT ต่ำจะมีขนาดถังเล็กลงแต่ถ้า HRT ต่ำเกินไปจะทำให้ระบบรับภาระการบำบัดสูงเกินไปและอาจทำให้สูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ จนนำไปสู่ความล้มเหลวในการเดินระบบ ฉะนั้นระบบที่ดีควรมี HRT ต่ำพอและสามารถคงระบบให้เดินได้โดยสมดุล (จีรวัฒน์ มุกดา, 2557)

2.5.4 ระยะเวลากักพักตะกอน (SRT) หรืออายุสลัดจ์

เป็นระยะเวลาเฉลี่ยที่อนุภาคของตะกอนอยู่ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งวัดจากปริมาณตะกอนที่มีอยู่ในถังปฏิกรณ์ทั้งหมดต่อการสูญเสียตะกอนออกนอกถังใน 1 วัน การที่ระบบมีปริมาณสลัดจ์หรือตะกอนจุลินทรีย์อยู่สูงมิได้แสดงว่าระบบนั้นจะมีความเสถียร เพราะหากปริมาณตะกอนที่หลุดออกมากับน้ำทิ้งมีสูงจะทำให้ระบบเกิดการสูญเสียตะกอนโดยรวม และเนื่องจากตะกอนในระบบไร้อากาศมีอัตราการเจริญต่ำเมื่อมีการสูญเสียตะกอนเกินกว่าที่เกิดขึ้นใหม่ในระบบจะทำให้ระบบล้มเหลวได้ในที่สุด ระยะเวลาเก็บกัก

(Hydraulic Retention Time, HRT) คือ ระยะเวลาเก็บกักน้ำของระบบเป็นระยะเวลาที่แบคทีเรียสัมผัสกับน้ำเสีย การลดระยะเวลาเก็บกักน้ำจะทำให้ขนาดของถังปฏิกรณ์ลดลง แต่หากระยะเวลาเก็บกักน้ำต่ำเกินไป ตะกอนแบคทีเรียจะหลุดออกจากระบบได้มาก (Wash out) ซึ่งมีผลให้ค่าอายุสลัดจ์ (Sludge Retention Time, SRT) ลดลงและทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง อายุสลัดจ์ที่มีค่ามากจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงและหากค่าระยะเวลากักพักน้ำสั้น ๆ ก็จะเพิ่มความสามารถในการผลิตกรดได้ด้วย อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการที่จะลดระยะเวลาเก็บกักน้ำ คืออุณหภูมิ โดยช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมคือช่วง Mesophillic เวลาที่ใช้ในการเก็บกักน้ำเสียโดยทั่วไปใช้เวลาเก็บกักในช่วง 4-24 ชั่วโมง ถ้าเป็นน้ำเสียที่ความสกปรกอยู่ในช่วงซีโอดี 1,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่ค่าความสกปรกสูงคือ ช่วง ซีโอดี 10,000-15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาเก็บกักอาจมากกว่า 1 วัน (จีรวัฒน์ มุกดา, 2557)

2.5.5 สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

เป็นความสามารถที่ระบบจะต่อต้านหรือเป็นบัฟเฟอร์กับการลดลงของ pH ซึ่งโดยมากจะเกิดจากการสะสมของกรดไขมันที่ถูกผลิตขึ้นในขั้นตอนการสร้างกรดในระหว่างการย่อยสลายแบบไร้อากาศ การสะสมของกรดไขมันในระบบบ่งถึงสภาวะที่จุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนไม่สามารถทำการเปลี่ยนกรดไขมันให้เป็นก๊าซมีเทนได้ทันอันเนื่องมาจากความไม่สมดุลของระบบ หรือการเกิดภาระบรรทุกเกินความสามารถของระบบ (Shock load) (กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์, 2552)

2.5.6 ความเป็นพิษ (Toxicity)

เกิดจากสารทั้งที่เกิดขึ้นเองในระบบและสารที่เติมเข้าไปในระบบ กรดไขมันดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วเมื่อเกิดการสะสมจะทำให้เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทน โดยทั่วไปควรอยู่ในช่วง 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียที่มาจากการย่อยสลายของโปรตีนและสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในรูป NH_3 จะมีความเป็นพิษมากกว่ารูป NH_4^+ ฉะนั้นถ้า pH มีค่าต่ำกว่า 7.2 ระบบจะเผชิญกับความเป็นพิษของแอมโมเนียค่อนข้างต่ำเพราะแอมโมเนียจะอยู่ในรูป NH_4^+ ซัลไฟด์เป็นสารอีกตัวหนึ่งที่มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบทั้งพวกสร้างกรดและสร้างมีเทน การเกิดซัลไฟด์เป็นผลมาจากการที่มีซัลเฟตอยู่ในน้ำเสียสูงทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชั่นของซัลเฟตโดยจุลินทรีย์กลุ่ม Sulfate

Reducing Bacteria ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้มีกลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่าซึ่งเป็นพิษหากสูดดม และยังเป็นพิษต่อจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ ในระบบอีกด้วย อีกกลุ่มหนึ่งของสารที่เป็นพิษคือโลหะหนัก เช่น เหล็ก โคบอลท์ นิกเกิล และแคดเมียม แม้จะเป็นที่ต้องการของจุลินทรีย์แต่ในปริมาณที่น้อยมาก (Trace Elements) ความเป็นพิษจะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณสูงเกินไป (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

ความเป็นพิษเมื่อมีความเข้มข้นถึงระดับหนึ่งจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบและทำให้ระบบล้มเหลวได้ คือแบคทีเรียจะสะสมไว้ภายในเซลล์จนก่อให้เกิดความเป็นพิษและตายในที่สุด สารพิษบางชนิดหากมีปริมาณความเข้มข้นที่พอเหมาะจะช่วยกระตุ้นให้แบคทีเรียทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ สารพิษเหล่านี้ ได้แก่ กรดไขมันระเหยง่าย เกลืออนินทรีย์ โลหะหนัก แอมโมเนีย ซัลไฟด์ เป็นต้น ระดับความเป็นพิษของสารที่กล่าวแล้วข้างต้นจะมากหรือน้อยจะแตกต่างกันออกไป (จงกล พูลทวี, 2537)

1) กรดไขมันระเหยง่าย

กรดไขมันระเหยง่ายเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน เพราะการที่เกิดกรดไขมันระเหยเพิ่มมากขึ้นจะทำให้พีเอชลดลง ซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย กรดระเหยง่ายที่ปริมาณความเข้มข้นสูง ๆ จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียในถังหมักแบบไร้ออกซิเจน ทำให้แบคทีเรียเกิดเสียสมดุล พีเอชในระบบลดลงและทำให้ระบบล้มเหลวได้ แต่หากกำลังบัฟเฟอร์ (Buffer Capacity) ภายในถังหมักสูงพอที่จะรักษาพีเอชให้ใกล้เคียง 7 หรือเท่ากับ 7 ได้ กรดระเหยง่ายที่มีปริมาณความเข้มข้นสูงถึง 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของกรดอะซิติกจะไม่เป็นพิษโดยตรงต่อแบคทีเรีย (กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์, 2552)

2) เกลืออนินทรีย์

เกลืออนินทรีย์ที่เกิดจากเกลือของโลหะอัลคาไลน์ และอัลคาไลน์เอิร์ธ (ซึ่งเป็นโลหะที่ให้ไอออนบวก ได้แก่ โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) จะมีความเป็นพิษมากกว่าไอออนลบ และระดับเป็นพิษของไอออนบวกนั้นก็จะขึ้นอยู่กับจำนวนวาเลนซ์และน้ำหนักอะตอมของโลหะ โดยโลหะที่มีวาเลนซ์ต่ำ เช่น แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งมีวาเลนซ์เท่ากับ 2 จะเป็นพิษมากกว่า ไอออนบวกอย่างเช่น โซเดียมและโพแทสเซียม ที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 ถึง 10 เท่า (วิภาวรรณ โพธิ์กลาง, 2553); วสวัตติ์ พิจอมบุตร, 2556; ศิรินารถ บุญอาษา, 2554) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของเกลืออนินทรีย์ที่ส่งผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

ไอออน	ความเข้มข้น (มก./ล.)		
	กระตุ้น (stimulatory)	ยับยั้งปานกลาง (moderately inhibitory)	ยับยั้งอย่างรุนแรง (strongly inhibitory)
Na^+	100 - 200	3,500 - 5,500	8,000
K^+	200 - 400	2,500 - 4,500	12,000
Ca^{2+}	100 - 200	1,500 - 4,500	8,000
Mg^{2+}	75 - 150	1,000 - 1,500	3,000

ที่มา : ดัดแปลงจาก วสวัตติ์ พิจอมบุตร (2556)

3) โลหะหนัก

โลหะหนักที่แตกตัวเป็นไอออนและอยู่ในรูปของสารละลายที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) ปรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) เป็นต้น โดยความเป็นพิษของโลหะหนัก ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายน้ำของโลหะหนักนั้น โลหะหนักที่ละลายน้ำได้น้อย ก็จะไม่เป็นพิษหรือมีความเป็นพิษน้อยต่อระบบ ความสามารถในการละลายน้ำของโลหะหนักขึ้นอยู่กับปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำปฏิกิริยากับโลหะหนักให้เกลือซัลไฟด์ซึ่งไม่ละลายน้ำและไม่เป็นพิษ ดังนั้น หากมีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียงพอก็จะทำให้โลหะหนักตกตะกอนได้มาก นอกจากนั้นยังพบว่าโลหะหนักที่มีวาเลนซ์สูงจะเป็นพิษมากกว่าโลหะหนักที่มีวาเลนซ์ต่ำ โดยความเข้มข้นของไอออนโลหะที่มีผลต่อการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ฤทธิชัย รัตนมุกดา, 2552) แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของไอออนโลหะหนักที่มีผลยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย

ไอออน	ความเข้มข้น (มก./ล.)
Zn^{2+}	163
Cu^{2+}	170
Cd^{2+}	180
Cr^{6+}	450
Cr^{3+}	530
Hg^{2+}	1,365
Fe^{2+}	1,750

ที่มา : ดัดแปลงจาก ฤทธิชัย รัตนมุกดา (2552)

4) แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย เช่น โปรตีน หรือยูเรีย เป็นต้น การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้นมีอยู่ 2 รูปคือแอมโมเนียมไอออน และก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งจะอยู่ในรูปใดนั้น ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชภายในถังปฏิกิริยา ในกรณีที่พีเอชสูงกว่า 7.2 จะอยู่ในรูปของก๊าซแอมโมเนีย แต่ถ้าหาก พีเอชต่ากว่า 7.2 ก็จะอยู่ในรูปแอมโมเนียไอออน ซึ่งพบว่าก๊าซแอมโมเนียจะเป็นพิษมากกว่าแอมโมเนียไอออน (McCarty, 1964c) ถ้าก๊าซแอมโมเนียมีความเข้มข้นสูงถึง 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีความเป็นพิษอย่างรุนแรง ในขณะที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียไอออนจะต้องสูงถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่จะเป็นพิษเท่ากับก๊าซแอมโมเนีย ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนที่ส่งผลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (วสวัตติ์ พิจอมบุตร, 2556) แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ความเข้มข้น (มก./ล.)	ผลต่อระบบ
50-200	ปริมาณที่เหมาะสม
200-1,000	ไม่เกิดผล
1,500-3,000	เริ่มยับยั้งการทำงานเมื่อพีเอชสูงขึ้น
มากกว่า 3,000	เป็นพิษอย่างรุนแรง

ที่มา : ดัดแปลงจาก วสวัตติ์ พิจอมบุตร (2556)

5) ซัลไฟด์

พิษของซัลไฟด์ (Sulfide toxicity) ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะเกิดความเป็นพิษของซัลไฟด์ต่อแบคทีเรีย เมื่อน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณของซัลไฟด์มาก หรือเกิดการย่อยสลายพวกซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำเสีย หรือเกิดการย่อยสลายโปรตีน ซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนอาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรือไม่ละลายน้ำ ส่วนที่เหลือจะละลายน้ำในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสามารถเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริคได้ แบคทีเรียสร้างกรดจะมีความไวต่อไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระสามารถทนต่อซัลไฟด์ที่ละลายน้ำซึ่งมีความเข้มข้น 50–100 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าความเข้มข้นมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย การลดพิษของซัลไฟด์ ทำได้โดยการทำให้ตกตะกอนของซัลไฟด์ การทำให้น้ำเสียเจือจาง หรือโดยการแยกซัลไฟด์ออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (จงกล พูลทวี, 2537)

2.6 ก๊าซชีวภาพ

พลังงานถือเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาประเทศ และยังมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ ของทุกประเทศ ทั้งนี้ประเทศไทยยังมีความจำเป็นที่จะต้องซื้อน้ำมันจากต่างประเทศ เนื่องจากปัจจุบันถึงแม้จะสามารถขุดเจาะน้ำมันได้บ้างแต่ก็ไม่เพียงพอสำหรับการใช้ โดยสาเหตุที่นำมาซึ่งการขาดแคลนพลังงานเนื่องมาจาก ประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจที่ค่อนข้างรวดเร็ว โดยจากวิกฤตทางด้านราคาน้ำมันทำให้ประเทศไทยหันมาให้ความสนใจการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลม ก๊าซชีวภาพและอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้น ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพดังกล่าวหากต้องการจะให้มีการขยายตัวมากขึ้น จะต้องมีการส่งเสริมของหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องได้แก่กรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุขกรม

ประชาสงเคราะห์กระทรวงมหาดไทย กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์สำนักงานพลังงานแห่งชาติกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ ได้แก่ สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยหน่วยงานภาคอุดมศึกษาได้แก่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมหาวิทยาลัยมหิดล เป็นต้น ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์ในสภาวะที่ไร้อากาศ ทำให้เกิดผลผลิตในรูปของก๊าซผสมประกอบด้วย มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่

2.6.1 หลักการผลิตก๊าซชีวภาพ

หลักการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพคือ สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศโดยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่เช่นคาร์โบไฮเดรตโปรตีนและไขมันจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่เปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดอินทรีย์ขนาดเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวกรดอะมิโนกรดไขมัน เป็นต้น กลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกจะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ขนาดเล็กให้กรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนและขั้นตอนสุดท้ายกลุ่มแบคทีเรียจะสร้างมีเทนโดยเปลี่ยนกรดอะซิติกและไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งการดังกล่าวที่เกิดขึ้นจะลอยตัวขึ้นเหนือผิวน้ำและจะรวบรวมนำไปใช้ผลิตพลังงานทดแทนต่อไป

1) การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนจะให้องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพดังนี้มีเทนประมาณ 50 - 70 เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 30 - 50 เปอร์เซ็นต์และก๊าซไฮโดรเจนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซไนโตรเจนและไอน้ำอีกเล็กน้อยซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้โดยปกติการกำจัดค่าCOD 1 กิโลกรัมจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.3 - 0.5 ลูกบาศก์เมตรทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำเสียแต่ละประเภทโดย ก๊าซมีเทนจะมีค่าความร้อนประมาณ 39.4 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้ 0.67 ลิตรซึ่งเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 9.7 กิโลวัตต์

2) รูปแบบการนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นพลังงาน

(1) การนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อนเป็นรูปแบบการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์โดยการเผาไหม้ให้ ร้อนโดยตรงซึ่งจะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งใช้กับหัวกกลูกสุกรใช้ในครัวเรือน

(2) การใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิตพลังงานกลหรือไฟฟ้าเป็นรูปแบบการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์โดยการนำไปผลิตเป็นพลังงานกลหรือไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อผลิตเป็นไฟฟ้าแล้วสามารถนำไปใช้งานได้สะดวก

(3) การผลิตพลังงานร่วมเป็นการผลิตพลังงานกลหรือไฟฟ้าและความร้อนร่วมกันซึ่งเป็นระบบที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อนเพียงอย่างเดียว

3) ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

(1) วัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายมีความเข้มข้น สารอินทรีย์ในปริมาณสูงมีปริมาณความชื้นสูงมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

(2) แหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพขยะชุมชน ได้แก่ ขยะชุมชนในส่วนของขยะอินทรีย์ของเสียจากอุตสาหกรรมได้แก่น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโรงงานเบียร์โรงงานผลไม้กระป๋องโรงงานผลิตน้ำมันปลา โรงงานเบียร์โรงงานน้ำตาล เป็นต้น และของเสียที่ เป็นกากตะกอนที่เป็นส่วนของสารอินทรีย์ของเสียจากการเกษตรได้แก่น้ำเสียฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เช่น หมูวัวไก่ (นรารัชต์พรนวลสวรรค์, 2561)

2.7 ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity: SMA)

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบและความสามารถในการทำงานของระบบซึ่งความสามารถของระบบจะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ค่า SMA เป็นค่าที่บอกถึงคุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งค่า SMA ยิ่งมีค่ามากเพียงใดจะแสดงว่าตะกอนแบคทีเรียยิ่งมีคุณภาพดี ค่า SMA มักรายงานในหน่วยของกรัมมีเทนเทียบเท่าซีโอดีต่อกรัมวีเอสเอส ต่อวัน หรือกรัมมีเทนเทียบเท่าซีโอดีต่อกรัมเอสเอสต่อวัน เช่น ตะกอนชนิดหนึ่งมีค่า SMA เท่ากับ 0.1 กรัมมีเทนเทียบเท่าซีโอดีต่อกรัมเอสเอสต่อวัน แสดงว่า 1 กรัมของตะกอนนั้น สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทนได้สูงสุดวันละ 0.1 กรัมต่อวัน โดยทั่วไปค่า SMA มักอยู่ในช่วง 0.05- 2 กรัมซีโอดีเทียบเท่ามีเทนต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน การหาค่า SMS เพื่อเป็นการตรวจสอบความเร็วในการย่อยสลายสารอินทรีย์และผลิตก๊าซมีเทน การทดลอง SMA สารอินทรีย์มักจะมาจากกรดอะซิติกเนื่องจากกรดอะซิติก

เป็นกรดระเหยง่ายเป็นแหล่งของซีโอดี และความเร็วในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศและเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนมักจะถูกจำกัดในขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอะซิติกไปเป็นก๊าซมีเทน ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดร่วมกัน ซึ่งแบคทีเรียที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing bacteria) (สินิจนันท์ เสียงเสนาะ, 2553)

2.7.1 แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria)

แบคทีเรียในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ คือ Facultative anaerobic bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมทั้งที่มีอากาศและไม่มีอากาศ โดยพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มนี้ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมัน กรดอินทรีย์ระเหยง่าย แอลกอฮอล์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยมีสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตได้ดีที่ในช่วงค่าความเป็นกรด – ด่าง ระหว่าง 4.0 - 6.5 และสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดีตลอดจนมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

1) อะซิโดเจนนิคแบคทีเรีย

อะซิโดเจนนิคแบคทีเรีย เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ใหญ่ที่สุดในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ แบคทีเรียกลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตสูงเนื่องจากสามารถใช้อาหารได้หลายชนิด โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ให้เป็นสารโมเลกุลเดี่ยวที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายนั้นจะเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งประกอบไปด้วยกรดอะซิติกกรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริก กรดฟอร์มิก เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้สารประกอบพวกแอลกอฮอล์ คีโตน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน แบคทีเรียในกลุ่มนี้ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ชอบอากาศ และแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ทั้งที่มีและไม่มีอากาศ (Facultative anaerobic bacteria)

2) อะซิโตเจนนิคแบคทีเรีย

อะซิโตเจนนิคแบคทีเรีย เป็นแบคทีเรียกลุ่มกลุ่มที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายในกระบวนการไฮโดรไลซีสและอะซิโดเจนีซีส แล้วทำการเปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติก โดยแบคทีเรียนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

(1) Hydrogen producing acetogenic bacteria แบคทีเรียในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนไฮโดรไลซีส ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ที่มีอะตอมของคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลายตัวแล้วได้เป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจน หรือกรดอะซิติกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนหรือกรดอะซิติกและก๊าซไฮดดรเจนเป็นผลผลิต ดังสมการที่ (1) สมการที่ (2) และสมการที่ (3)

$$C_2H_5OH + H_2O \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2 \quad (1)$$

$$C_2H_5COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2 \quad (2)$$

$$C_3H_7COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2 \quad (3)$$

(2) Homoacetogenic bacteriaแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

ก. Autotroph ได้แก่แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอน 1 อะตอม เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ในการเจริญเติบโตและได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นอะซิเตต (หรือกรดอะซิติก) ดังสมการ

$$4H_2 + 2CO_2 \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2O$$

ข. Heterotroph ได้แก่แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอมในการเจริญเติบโตผลผลิตที่ได้มีทั้งอะซิเตตและโพรพิออเนตซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน ดังสมการ

$$3C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 4C_2H_5COOH + 2CH_3COOH + 2CO_2 + 2H_2O$$

*หมายเหตุ: การที่กรดอินทรีย์ซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อละลายน้ำแล้วจะอยู่ในรูปเกลือของกรด เรียกเป็น-เอต เช่น กรดอะซิติก เมื่อแตกตัวได้เป็นอะซิเตต และไฮโดรเจนไอออน

2.7.2 แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนสามารถใช้สารอาหารได้ไม่กี่ชนิด แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถแบ่งตามชนิดการใช้สารอาหารตั้งต้นได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizing hemolithotrophs ซึ่งเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นก๊าซมีเทนดังสมการ

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

โดยแบคทีเรียจำพวกนี้มีบทบาทสำคัญ คือ จะใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศในขั้นตอนที่ 2 โดยมีหน้าที่ช่วยคงสภาวะให้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ต่ำลง ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดอะซิเตตอย่างต่อเนื่องได้

2) Acetotrophic methanogens หรือ Acetoclastic bacteria ซึ่งจะเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$$

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ประมาณ 2 ใน 3 เกิดจากการเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Acetotrophic methanogens และที่เหลือเป็นผลของปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens (สินิจนันท์ เสียงเสนาะ, 2553)

2.8 ถังปฏิกรณ์แบบ UASB reactors

2.8.1 แนวความคิดเบื้องต้นของถังปฏิกิริยายูเอเอสบี

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเท่าที่ผ่านมาประสพปัญหาบางประการในการออกแบบและควบคุมการทำงานได้แก่ การแยกชีวมวล (Biomass) ไม่ให้หลุดออกไปกับน้ำออก (Effluent) ระยะเวลากักน้ำ (Hydraulic retention time, HRT) นานกว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และเสถียรภาพในการทำงานของระบบต่ำ เป็นต้น จากปัญหาที่กล่าวมาแล้ว (Stander, 1966) ซึ่งเป็นผู้ค้นพบความสำคัญของการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้มีอยู่ในถังหมักเป็นจำนวนมาก โดยทำถังตกตะกอนติดตั้งอยู่ที่ส่วนบนของถังหมักเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำมาเก็บไว้ในถังหมักอีก ซึ่งการทำเช่นนี้สามารถที่จะลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียให้สั้นลงและยังสามารถรับปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบได้มากขึ้นด้วย (Lettinga *et al*, 1980) ได้พัฒนาแนวความคิดของ Stander โดยการเปลี่ยนแปลงวิธีการแยกก๊าซและการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำออก จึงได้เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการยูเอเอสบี (Upflow anaerobic sludge blanket process, UASB process)

2.8.2 ระบบ UASB ในประเทศไทย

ระบบ UASB ได้ริเริ่มที่สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นหน่วยงานแรก ๆ โดยได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี UASB ในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเสี้ยงสุกร ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวจะมีลักษณะมีสารแขวนลอยในน้ำเสียอยู่ในเกณฑ์สูง ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี UASB บำบัดน้ำเสียควบคู่ไปกับบ่อหมักช้าแบบราง (Plug Flow) เพื่อให้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง แล้วจึงไหลผ่านน้ำที่ได้ทำการย่อยสารอินทรีขนาดใหญ่ไปยังบ่อหมักยูเอเอสบี (UASB) ทำการบำบัดแบบไร้อากาศต่อไป

ต่อมาทางสถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพก็ได้ทำการศึกษา และพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ H-UASB (High-Suspension Solid Upflow Anaerobic Sludge Blanket) สำหรับน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยการนำน้ำเสียที่เกิดจากการล้างคอกสุกรเข้าสู่บ่อหมักยูเอเอสบีแบบ H-UASB โดยตรงซึ่งเป็น

การปรับระบบก๊าซชีวภาพแบบ H-UASB ให้ไม่มีบ่อหมักช้าแบบราง การประยุกต์นี้จึงทำให้ประหยัดพื้นที่ในการติดตั้งระบบลงไปอีก

สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน หรือ two-stage UASB เป็นระบบที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้ออกแบบระบบก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยี UASB ในประเทศไทย ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอนนี้ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การผลิตกรด(จะเกิดขึ้นในบ่อหมักกรด; Acidification Unit) และ การผลิตมีเทน(เกิดขึ้นในถังการทดลองยูเอเอสบี) การทำงานของระบบอาศัยหลักการพื้นฐานที่ว่ากลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือ แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดและแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน ซึ่งมีความต้องการที่แตกต่างกันทั้งในเรื่องของสารอาหาร สภาพทางกายภาพ อัตราการเจริญเติบโตและความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เป็นต้น ดังนั้นการแยกระบบทั้งสองออกจากกันจะช่วยให้ระบบแต่ละขั้นมีประสิทธิภาพดีขึ้น นอกจากนี้ในกรณีที่น้ำเสียมีองค์ประกอบไม่เหมาะสมที่จะเข้าสู่ระบบยูเอเอสบีโดยตรง เช่น น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในน้ำเป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่หรือย่อยสลายช้า การแยกเป็น 2 ระบบเช่นนี้ทำให้ระบบยูเอเอสบี สามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้เพิ่มมากขึ้นและมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นอีกด้วย

ดังนั้นระบบยูเอเอสบีเป็นระบบที่ไม่ต้องอาศัย ตัวกลางสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุ ตัวกลาง นอกจากนี้ไม่ต้องมีอุปกรณ์ในการกวนผสมถังตกตะกอนทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้ อย่างไรก็ตามจุดด้อยของระบบยูเอเอสบีที่สำคัญคือความยุ่งยากและความซับซ้อนของการเริ่มต้นดำเนินระบบและการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งหากไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบได้ ซึ่งจะนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบในที่สุด โดยปัจจัยส่งเสริมกระบวนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เช่น คุณภาพตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น อุณหภูมิ องค์ประกอบของ น้ำเสีย สารอาหารและธาตุอาหาร สารมลพิษ การกวนผสม อัตรารับภาระสารอินทรีย์ (สิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย, 2549; วิภารัตน์ ชัยเพชร, 2551)

2.8.3 องค์ประกอบของระบบยูเอเอสบี

1) ส่วนของตะกอนชั้นล่าง (Sludge Bed) เป็นชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการตกตะกอนสูงและมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง

2) ส่วนชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) เป็นชั้นที่ตะกอนจุลินทรีย์ลอยฟุ้งกระจายเนื่องจากน้ำเสียและก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์

3) ส่วนของอุปกรณ์แยกเม็ดตะกอนและก๊าซชีวภาพออกจากของเหลว ที่มีชื่อเรียกเฉพาะว่า Gas-Liquid-Solid Separator (GLSS) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกก๊าซชีวภาพออกจากของผสมระหว่างก๊าซชีวภาพ น้ำและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ที่ถูกแยกจะตกกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ น้ำเสียจะไหลออกสู่ส่วนระบายน้ำเสียด้านบน ส่วนก๊าซชีวภาพจะถูกรวบรวมเพื่อนำไปใช้ต่อไป

4) ส่วนของอุปกรณ์ในการตกตะกอน (Settlement Compartment) ในอุปกรณ์นี้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งแยกออกจากน้ำเสียจะตกลงสู่ด้านล่างของถังการทดลอง โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงที่เกิดจากน้ำหนักของเม็ดตะกอนเอง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเม็ดตะกอนคายก๊าซที่เป็นตัวพาให้เคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนของถังการทดลองออกไปแล้ว ทำให้สูญเสียแรงดันที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของก๊าซไป ทำให้แรงโน้มถ่วงที่เกิดจากเม็ดตะกอนเองมากกว่าแรงลอยตัวเม็ดตะกอนจึงตกกลับเข้าสู่ส่วนล่างของถังการทดลองตามเดิมนั่นเอง (กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์, 2552; ทิพาวรรณ รักสงบ, 2552)

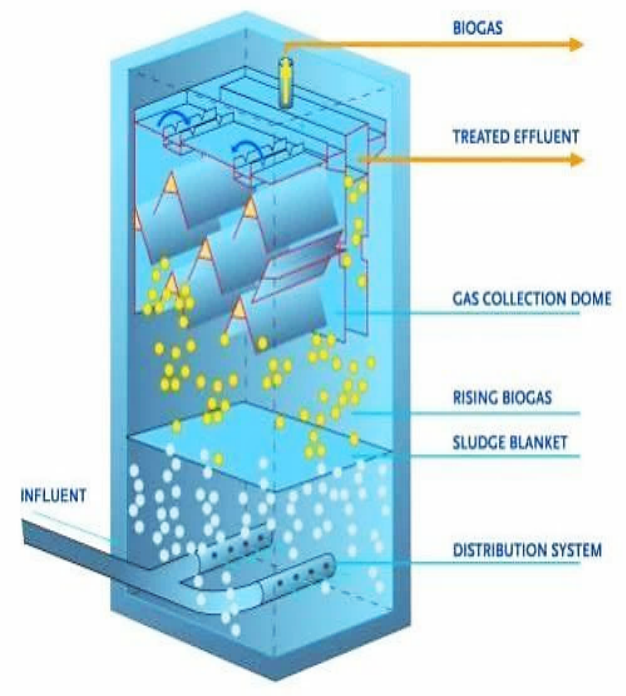
2.8.4 ลักษณะและการทำงานของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบจากด้านล่างของถังบำบัดขึ้นสู่ด้านบน (Up-flow Feeding) โดยหัวใจสำคัญของระบบยูเอเอสบีอย่างหนึ่ง คือ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบที่เจริญเติบโตอยู่ในลักษณะแขวนลอย ซึ่งอาศัยการยึดเกาะกันเองของจุลินทรีย์ (Self-Immobilization) หรือเรียกได้ว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Granule) จากคุณสมบัติและลักษณะการทำงานของถังยูเอเอสบี ทำให้สามารถแบ่งส่วนประกอบภายในถังยูเอเอสบีได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นถังปฏิกิริยาพร้อมด้วยระบบกระจายน้ำเสียซึ่งจะอยู่ทางด้านล่างของถังและส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซบริเวณด้านบน โดยมีกลไกและลักษณะการทำงานของส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1) ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาจะอยู่ทางด้านล่างของถังซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ การไหลของน้ำเสียในถังจะเป็นการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน มีการป้อนน้ำเสียจะป้อนเข้าทางด้านล่าง

ของถังยูเอเอสบีผ่านทางระบบการกระจายน้ำเสีย ซึ่งการกระจายน้ำเข้าถังจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดของถัง การเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในถังยูเอเอสบีจะควบคุมให้ตะกอนสะสมเป็นชั้นตะกอนที่มีความหนาแน่น น้ำเสียที่ต้องการบำบัดจะไหลผ่านชั้นตะกอน แบคทีเรียในชั้นตะกอนซึ่งอยู่กันอย่างหนาแน่นจะเกิดการรวมกันเป็นเม็ด (Granule) โดยเม็ดตะกอนที่มีความหนาแน่นสูงจะจมตัวอยู่ด้านล่าง มีการจัดเรียงตัวจากขนาดใหญ่ขึ้นไปหาเล็กเหมือนชั้นทรายกรอง ส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่าฟุ้งกระจายขึ้นมาเป็นชั้นตะกอนแขวนลอย โดยฟองก๊าซที่เกิดขึ้นและการไหลของน้ำที่เข้ามาจากด้านล่างของถังจะช่วยทำให้เกิดการผสมขึ้น

2) ส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมและลดปริมาณเซลล์แบคทีเรียที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้งและทำหน้าที่รวบรวมก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จึงมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกก๊าซ (GSS) น้ำเสียและแบคทีเรียในรูปตะกอนแขวนลอยไว้ด้านบนของถังซึ่งจะเรียกว่าเป็นอุปกรณ์ Gas-Solid Separator หรือ GSS โดยการออกแบบหลายลักษณะตามขนาดและรูปร่างของถังปฏิกิริยา แต่ใช้หลักการออกแบบเดียวกันคือแยกน้ำกับก๊าซโดยอาศัยหลักการที่ว่าน้ำสามารถไหลเลี้ยวไปมาได้ ในขณะที่ก๊าซมีการลอยตัวจากด้านล่างขึ้นสูงด้านบนเป็นเส้นตรงเท่านั้น ยกเว้นมีสิ่งกีดขวางหรือแผ่นปะทะใด ๆ มาเปลี่ยนทิศทางการลอยตัวขึ้น หลังจากผ่านพ้นสิ่งกีดขวางนั้นแล้วก็จะลอยตัวเป็นเส้นตรงดังเดิม จึงออกแบบและติดตั้งแผ่นปะทะเพื่อขวางทิศทางการไหล ทำให้น้ำและก๊าซมาปะทะแล้วเบี่ยงเบนการไหลของน้ำและก๊าซออกจากกัน แยกตะกอนออกจากน้ำโดยทำให้เกิดการตกตะกอนของตะกอนแบคทีเรียที่ไหลขึ้นมา การแยกตะกอนจะเกิดในส่วนบนสุดของถัง โดยในส่วนนี้จะไม่มีก๊าซมีความปั่นป่วนต่ำ สามารถแยกน้ำและตะกอนได้โดยง่าย ดังนั้น GSS จึงต้องมีพื้นที่ส่วนที่เป็นน้ำนิ่งเพียงพอที่ตะกอนจะตกกลับมายังถังปฏิกิริยาได้ (กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์, 2552)



ภาพที่ 2.3 ลักษณะทั่วไปของระบบ UASB

ที่มา : กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์ (2552)

2.8.5 จุดเด่นของถังปฏิกรณ์แบบ UASB

1) จัดเป็นระบบที่สามารถรับอัตรารองรับภาระสารอินทรีย์สูง (High rate anaerobic digestion) โดยสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มากถึง 20kg COD/m^3/d

2) เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวกลางจึงไม่มีการสูญเสียพื้นที่ในถัง และเม็ดตะกอนจะมีอัตราส่วนของจุลินทรีย์ต่อปริมาตรสูง ดังนั้นถังปฏิกรณ์จึงมีขนาดเล็ก รวมทั้งมีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียสั้นกว่าระบบอื่น

3) ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุตัวกลางสำหรับให้แบคทีเรียเกาะ อุปกรณ์ในการกวนผสม และถังตกตะกอน ทำให้ค่าก่อสร้างถังปฏิกรณ์ถูกลง

4) เหมาะกับน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยต่ำ น้ำเสียที่สารอินทรีย์ย่อยสลายง่าย เช่น น้ำเสียจากโรงงานเบียร์ น้ำหวาน เป็นต้น

5) มีความต้องการพลังงานต่ำ เนื่องจากไม่มีการเติมอากาศ

6) เกิดตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินน้อยเนื่องจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ

7) ผลผลิตที่ได้ คือ ก๊าซชีวภาพซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก

8) น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีของแข็งแขวนลอยต่ำ

9) ใช้สารเคมีในการปรับพีเอชน้อย ขึ้นอยู่กับความเป็นด่างและพีเอชของน้ำเข้า

10) ไม่มีปัญหาเรื่องการอุดตันของถังปฏิกิริยา เนื่องจากแบคทีเรียจะรวมกันเป็นเม็ดที่แน่นและตกตะกอนได้ดี

11) สามารถหยุดระบบได้ (สุนันท์ พูลธรกิจ, 2547; อมรรัตน์ บุญมี, 2549)

2.8.6 ข้อจำกัดและอุปสรรคของถังปฏิกรณ์แบบ UASB

1) ใช้ระยะเวลานานในการเริ่มต้นระบบ (Startup) เนื่องจากต้องสร้างเม็ดตะกอน และชั้นสลัดจ์ก่อน โดยจะต้องทำการเติมเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่ถัง UASB ให้มีความเข้มข้นประมาณ 40-100 kg VSS/m^3 และรักษาสภาวะที่เอื้อให้เกิดการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จึงเป็นเรื่องยากและมีความซับซ้อน

2) การควบคุมดูแลระบบยุ่งยาก เนื่องจากต้องพยายามรักษาตะกอนจุลินทรีย์ในระบบให้เหมาะสม และไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบ (Wash Out) รวมทั้งปัญหา Mass transfer resistance และหากเกิดสภาวะ Shock load อาจจะมีปัญหาในการลอยตัวของเม็ดตะกอน และถ้าดำเนินการไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบ

3) ต้องการบุคลากรที่มีทักษะการควบคุมดูแลระบบสูง

4) ต้องการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการกวน

5) ต้องเลี้ยงแบคทีเรียให้จับตัวเป็นเม็ด มิฉะนั้นจะด้อยประสิทธิภาพ

6) ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ (Start-Up) ค่อนข้างนาน

7) แบคทีเรียโดยเฉพาะพวกผลิตมีเทน มีความสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงสภาวะเหมาะสมที่แคบ เช่น พีเอช 6.5-7.2

8) น้ำที่ผ่านการบำบัดยังไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง ต้องการระบบบำบัดขั้นสุดท้ายก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ (สุนันท์ พูลธรกิจ, 2547; อมรรัตน์ บุญมี, 2549)

2.8.7 ข้อแนะนำ

1) อาจจะต้องมีขั้นตอนปรับสภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (Pretreatment) ถ้าน้ำเสียของแข็งแขวนลอยสูง (High suspended solid content) โดยทั่วไปค่าของแข็งแขวนลอยที่เข้าระบบ UASB ควรน้อยกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) โดยทั่วไปอาจจะมีการทำเป็นระบบแบบสองขั้นตอน โดยมีการแยกให้มีบ่อหรือถังหมักกรด (Acid tank) ก่อนแล้วจึงป้อนเข้าสู่ถัง UASB เพื่อผลิตก๊าซมีเทน (สุนันท์ พูลธรกิจ, 2547; อมรรัตน์ บุญมี, 2549)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาญศักดิ์ จิตติพันธ์พรณี (2546) ทำการศึกษาไฮโดรไลซิสใช้อัตราภาระสารอินทรีย์ 1 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ด้วยปริมาตรถังปฏิกรณ์ใช้งาน 2 ลิตรระยะเวลากักเก็บน้ำ 20 วัน โดยใส่สารอาหารเสริมของ speece (S) และเพิ่มสารอาหารเสริมกลุ่มรองเป็น 10 เท่า speece (SM) โดยถังปฏิกรณ์ใบที่ 1 ใส่เป็นเลือด และได้รับสารอาหารเสริมสูตร S (BS) ผลทดลองพบว่า ร้อยละการไฮโดรไลซิสของเลือดเท่ากับร้อยละ 90.0 มีซีโอดีละลายเฉลี่ย 14,469 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตรการเกิดมีเทน 72.5 มิลลิลิตรต่อวัน และถังปฏิกรณ์ที่ 2 ใส่เลือด และได้รับสารอาหารเสริมสูตร SM (BSM) ผลทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิสของเลือดเท่ากับร้อยละ 90.7 ซีโอดีละลายเกิดขึ้น 5,912 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราการเกิดมีเทนเท่ากับ 241.5 มิลลิลิตรต่อวัน แม้ว่าการเพิ่มสารอาหารเสริมที่ต่างกันจะให้ผลในรูปของร้อยละไฮโดรไลซิสที่ใกล้เคียงกันแต่สำหรับการเพิ่มอาหารเสริมรองเป็น 10 เท่าและ จะให้ผลที่ดีกว่ามากเพราะว่าระบบสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ให้เป็นก๊าซมีเทนซึ่งเป็นพลังงานที่คาดหวังจากระบบบำบัดแบบไม่ใช่อากาศ และแสดงให้เห็นว่าสารอาหารเสริมรองที่เติมลงไปช่วยกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ส่วน ถังปฏิกรณ์ 3 ใส่เป็นมูลไก่ และได้รับสารอาหารเสริมสูตร S (FS) ผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นไฮโดรไลซิสในถัง FS เท่ากับร้อยละ 10.0 ซีโอดีละลายเฉลี่ย 1,932 มิลลิกรัมต่อลิตรอัตราการเกิดมีเทน 36.5 มิลลิลิตรต่อวัน และถังปฏิกรณ์ที่ 4 ใส่มูลไก่และได้รับสารอาหารเสริมสูตร SM (FSM) ผลการทะลองพบว่า เปอร์เซ็นไฮโดรไลซิสในถัง FSM เท่ากับร้อยละ 29.8 มีซีโอดีละลายเกิดขึ้น 1,031 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการเกิดมีเทนเท่ากับ 123.5 มิลลิลิตรต่อลิตรต่อวัน เนื่องจากในถังปฏิกรณ์ที่เติมสารอาหารเสริมรองเพิ่ม 10 เท่า มีร้อยละการไฮโดรไลซิสที่สูงกว่าการเติมสารอาหารเสริมสูตร Speece แสดงให้เห็นว่าการไฮโดรไลซิสถูกกระตุ้นจากปริมาณสารอาหารเสริมรองที่เพิ่มเข้าไป

สินิจนันท์ เสียงเสนาะ (2553) ศึกษาผลของการเติมสารอาหารเสริมที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิเทอร์โมฟิลิก (55 องศาเซลเซียส) ใช้ถังปฏิกรณ์แบบแอนแอโรบิกเอสบีอาร์ จำนวน 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ถังปฏิกรณ์ที่ (R1) อุณหภูมิเทอร์โมฟิลิก และไม่มีการเติมสารอาหารเสริม, ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (R2) อุณหภูมิเทอร์โมฟิลิก และมีการเติมสารอาหารเสริมเฉพาะเหล็ก นิเกิล และโคบอลต์, ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (R3) อุณหภูมิเทอร์โมฟิลิกและมีการเติมสารอาหารเสริมตามสูตร Speece และถังปฏิกรณ์ที่ 4 (R4) อุณหภูมิมีโซฟิลิกและไม่มีการเติมสารอาหารเสริม เดินระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ที่ 0.5 – 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วันและระยะเวลาการทดลอง 190 วัน โดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดซีโอดี อัตราการ

ผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน ผลการทดลองพบว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ R1 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพร้อยละ 0.69 ลิตรต่อลิตรต่อวัน และมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 54.40 R2 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพร้อยละ 0.68 ลิตรต่อลิตรต่อวัน และมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 57.77 R3 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพร้อยละ 0.79 ลิตรต่อลิตรต่อวัน และมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 60.22 R4 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพร้อยละ 0.61 ลิตรต่อลิตรต่อวัน และมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 50.69 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไปเป็นก๊าซมีเทน R1 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไปเป็นก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 31.1 R2 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไปเป็นก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 34.8 R3 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไปเป็นก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 40.1 R4 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไปเป็นก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 26.6 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมากกว่าร้อยละ 90 ทุกถังปฏิกรณ์ ถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถัง พบว่า ถังที่ R3 ที่มีการเติมสารอาหารเสริมสูตร Speece มีคุณภาพในการผลิตมีเทนดีขึ้นซึ่งแสดงได้จากค่าความสามารถในการผลิตมีเทน

สุเมธ ชวเดช (2539) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำกากส่าโดยการควบคุมที่อุณหภูมิ (เทอร์โมฟิลิก) คอลัมน์ยูเอเอสบีมีช่องน้ำชั้นนอกเพื่อใช้ ในการควบคุมอุณหภูมิคงที่ 55 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า อัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมคือ 5.2 และ 7.1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน การกำจัดซีโอดีสูงสุด และอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุดตามลำดับ ภายใต้สภาวะอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงสุด 10.1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 44 และประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ 0.099 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับระบบยูเอเอสบีขนาดใหญ่ซึ่งควบคุมการทำงานที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าระบบมีอัตราป้อมสารอินทรีย์สูงสุด 4.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เนื่องจากระบบยูเอเอสบีแบบอุณหภูมิสูงให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าในการบำบัด เมื่อเทียบกับระบบยูเอเอสบีในอุณหภูมิบรรยากาศ

สิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย (2549) ศึกษาผลของไคโตซานต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบ UASB ขนาด 30 ลิตรที่มีการเติมไคโตซาน ซึ่งมีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลร้อยละ 85โดยน้ำเสียที่ใช้ มีช่วง COD อยู่ที่ 4,840 – 5,820 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า สามารถลดการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบได้สูงขึ้นร้อยละ 21 - 67 และสามารถกำจัดซีดีสูงกว่าถังที่ไม่มีการเติมไคโตซานร้อยละ 5-10 รวมถึงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงกว่า

Borja และคณะ (1996) ทำการศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ในห้องปฏิบัติการ ด้วยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี ขนาด 16 ลิตร โดยทำการป้อนน้ำเสียที่ค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 5.1 ถึง 42.5 กรัมต่อลิตร มีเวลาพักน้ำ 4 วันแล้วทำการวิเคราะห์ การผลิตก๊าซมีเทน, การเจริญเติบโตของตะกอนแบคทีเรีย และค่าซีโอดี ผลการทดลองพบว่า ที่ภาระอินทรีย์ 10.6 กรัมซีโอดีต่อลิตร ต่อวัน สามารถกำจัดซีโอดีได้ 96 เปอร์เซ็นต์ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าระบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Nuntakumjorn B. และคณะ (2007) ศึกษาไคโตซาน ในรูปแบบต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน คือน้ำหนักโมเลกุลและระดับ deacetylation ที่มีผลต่อระบบบำบัด UASB พบว่าระบบบำบัดที่มีการเติมไคโตซาน ในรูปของโซ่พอลิเมอร์ มีน้ำทิ้งลดลงร้อยละ 9-5 – 9 กำจัดสีได้สูงขึ้นร้อยละ 5-7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นร้อยละ 25 ในขณะที่ไคโตซานในรูป แบบผงไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด

Kaseamchochoung C. และคณะ (2006) ได้สรุปผลการศึกษาอิทธิพลของไคโตซานที่มีผลต่อสภาวะแวดล้อมของถังบำบัด โดยใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้เมืองร้อน ผลการศึกษาพบว่า ไคโตซานช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนโดยไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะช่วยเพิ่มการตกตะกอนได้ดีกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งไคโตซานที่มีระดับ deacetylation ร้อยละ 85 ซึ่งให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนสูงถึงร้อยละ 85 – 100 ของการตกตะกอน

Phalakornkule C. และ Khamkhoa M. (2012) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบ UASB โดยการเพิ่มไคโตซาน จากการศึกษาพบว่า ชุดการทดลองที่มีการควบคุมปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมและเวลาที่เหมาะสมในการเติมไคโตซาน มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและการกำจัดซีโอดีของถังบำบัด UASB เฉลี่ยร้อละ 16 และ ร้อยละ 5 ตามลำดับซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม จากผลการวิเคราะห์ DGGE บ่งชี้ว่าไคโตซานช่วยในการคงสภาพของก๊าซมีเทน

Kayhanian Rich และคณะ (1995) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสัดส่วนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อ Municiple solid waste โดยอาศัยกระบวนการไร้อากาศ ซึ่งจากค่าสัดส่วนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อ Municiple solid waste ของผลการนี้ชี้ให้เห็นว่า ปริมาณสารอาหารเสริมหลักและสารอาหารเสริมรองไม่เพียงพอ ต่อเสถียรภาพ และประสิทธิภาพที่ดีของถังปฏิกรณ์ ดังนั้นจึงมีการเติมสารอาหารเสริมพวกสารเคมีบางตัว ซึ่งจะทำให้อัตราการผลิตก๊าซสูงขึ้นและทำให้ระบบเกิดความคงตัวขึ้นอีกด้วย ผลการทดลองพบว่า การเติม BOF/MSM:manure:sludge ในอัตราส่วน 7:1:0.5 ทำให้เกิดการผลิตก๊าซสูงขึ้นร้อยละ 30 และระบบมีการเสถียรภาพมากขึ้น แต่ถ้าเติมสารเคมีมากเกินไปอาจทำให้เกิดเป็นพิษต่อระบบ

Kida และ คณะ (2001) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความต้องการ Ni^{2+} และ Co^{2+} ที่มีผลต่อตะกอนแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน และโคเอนไซต์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างมีเทน โดยระบบไร้อากาศจะใช้น้ำเสียที่มีอะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่า Ni^{2+} และ Co^{2+} ที่เติมลงในน้ำเสียสังเคราะห์จะช่วยให้มีโคเอนไซม์ F430 และโคลินอยด์ในมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น 0.62 ไมโครโมลของนิกเกิลต่อกรัมวิเอสเอสและ 0.67 ไมโครโมลของโคบอลต์ต่อกรัมวีเอสเอส ตามลำดับ และการที่ไม่เติมสารอาหารเสริมจะไม่พบว่ามีโคเอนไซม์ F430 และโคลินอยต์ในมวลชีวภาพ และทำให้แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในระบบมีความต้องการของ Ni^{2+} และ Co^{2+} สำหรับกระบวนการสร้างมีเทน

Sharma และ Singh. (2001) ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นสุราด้วยระบบยูเอเอสบี โดยทำการเติมสารอาหารเสริมหลัก (Ca,P) และสารอาหารเสริมรอง (Ni,Fe,Co) ให้กับน้ำเสีย โดยทำการทดลองภายใต้สภาวะ Mesophilic ผลพบว่า Ca และ P จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดและเร่งการสร้างเม็ดตะกอน ส่วนเกลือของ Ni,Fe และ Co เมื่อรวมกันแล้วก็ช่วยพัฒนาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนด้วย

Lertsittichai S. และคณะ (2007) ได้ศึกษาประสิทธิภาพ การตกตะกอนของสารแขวนลอยจากการเติมไคโตซานในระบบบำบัด UASB ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้เมืองร้อน โดยมีค่าการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นร้อยละ 4-10 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นร้อยละ 35 และการชะล้างชีวมวลลดลงร้อยละ 16 – 68 และหากเทียบขนาดอนุภาค ถังบำบัดที่มีการเติมไคโตซาน และมีการเติมไคโตซาน เมื่อเทียบกันแล้วถังที่มีการเติมไคโตซานมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าร้อยละ 24 – 37

Tiwari MK. และคณะ (2004) ศึกษา สารสกัดจากเมล็ด Reetha และไคโตซาน ในระบบบำบัด UASB ที่บำบัดน้ำเสียเพื่อปรับปรุงแกรนูล โดยถังบำบัดใช้เวลาบำบัด 250 วัน น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีซีโอดีในช่วง 600-800 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลคือถังบำบัดสามารถกำจัด COD ได้อย่างมีประสิทธิภาพถึงร้อยละ 95 – 98 กากตะกอนในระบบลดลงโดยไคโตซานช่วยเพิ่ม แกรนูล อย่างมีนัยสำคัญ

Torres K. และคณะ (2018) ศึกษาผลของไคโตซาน ต่อการพัฒนาตะกอนเม็ดละเอียดในถัง UASB พบว่า การเติมไคโตซานมีประสิทธิภาพการกำจัด COD ร้อยละ 92 ในเวลาเพียง 11 วัน ทั้งนี้ไคโตซานยังช่วยปรับปรุงการเริ่มต้นระบบและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ UASB ผลการเรียงลำดับ DGEE แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ โดยหลังจากทำการทดลองเป็นเวลา 169 วันถังบำบัดที่ทำการทดลองมีความคล้ายคลึงกัน

Vidya Singh และคณะ (2017) ศึกษากระบวน การแกรนูล ในระบบ UASB ว่า มีผลกระทบต่อ สภาพแวดล้อม และสภาพการทำงานในถังบำบัด หรือไม่ ปัจจัยที่พิจารณาคือความแข็งแรงของสารอาหารไอออนบวก หลายชนิด และโลหะหนัก โพลิเมอร์ประจุบวกธรรมชาติไคโตซาน พบว่าพอลิเมอร์ธรรมชาติ ไคโตซานสามารถใช้ปรับปรุงแกรนูลในระยะแรกของการก่อตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

Zandvoort และคณะ (2003) ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารอาหารเสริมที่มีผลต่อระบบยูเอเอสบี โดยทำการลดความเข้มข้นของสารอาหารเสริมที่ป้อมเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชเท่ากับ 7 มีเวลาในการกักเก็บน้ำเสีย 12 ชั่วโมง ค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 2.6 – 7.8 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ทำการทดลอง 261 วัน จากการทดลองพบว่าเมทานอลจะย่อยสลายเป็นมีเทนโดยแบคทีเรียภายในระบบในช่วง 92 วันของการทดลองหลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลงซึ่งเกิดจากการสะสมของเมทานอล และค่าวีเอฟเอของน้ำทิ้ง ทำให้ค่าเอสเอ็มเอลดลง เนื่องจากสารอาหารเสริมที่ป้อนน้อยเกินไป จึงทดลองเติมสารอาหารเสริม Fe,Ni และCo เพิ่มขึ้น ผลที่ได้พบว่า Fe มีผลมากที่สุดในการช่วยเพิ่มค่าเอสเอ็มเอให้สูงขึ้นและระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น