กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

คู่มือ

BIOGAS
SAFETY

การปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัย สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน

ISBN 978-974-9822-50-0

หนังสือในโครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ

สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

หลักสูตรเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมและมูลสัตว์

ISBN 978-974-9822-50-0

ลิขสิทธิ์ของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

สงวนลิขสิทธิ์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1 : เดือนมิถุนายน 2553

จำนวน : 500 เล่ม

จัดพิมพ์โดย : สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
17 ถนนพระราม1 สะพานกษัตริย์ศึก แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 0-2223-0021-9 ต่อ 1251, 1302, 1223
E-mail : biogas@dede.go.th

คำนำ

สืบเนื่องมาจากราคาของเชื้อเพลิงพลังงานที่สูงขึ้น ในช่วงระยะเวลา 4-5 ปีที่ผ่านมา โรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากหันมาให้ความสนใจ สร้างระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำพลังงานมาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งระบบผลิตก๊าซชีวภาพจำนวนมากถูกสร้างโดยไม่มีมาตรฐานขาดความปลอดภัยในการใช้งาน ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุเสียชีวิตและทรัพย์สินไปหลายโรงงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ส่งเสริมและผลักดันให้มีการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพให้เป็นไปตามแผนพลังงานทดแทน 15 ปี มีความตระหนักและห่วงใยในปัญหาด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ จึงได้จัดทำคู่มือการปฏิบัติงานด้านการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัย เพื่อเป็นแหล่งความรู้ให้กับ กลุ่มวิศวกรผู้ออกแบบ ผู้ประกอบการ ผู้ปฏิบัติงานที่มีหน้าที่ควบคุมดูแลรักษาระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ ได้รับความรู้และเข้าใจถึงอันตราย ที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบผลิตและใช้ก๊าซ ซึ่งอาจจะเกิดการออกแบบที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ การที่รู้เท่าไม่ถึงการณ์ การเลือกใช้อุปกรณ์ที่ไม่ได้มาตรฐานถูกต้องกับประเภทชนิดและสถานที่จะใช้หรือติดตั้งอุปกรณ์ชนิดนั้น คู่มือความปลอดภัยการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ จัดทำขึ้นจำนวน 2 เล่ม **เล่มที่ 1 คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน เล่มที่ 2 คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์** เพื่อแยกประเภทและระดับความเข้มงวดในการดูแลระบบรวมไปถึงอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยของแต่ละประเภท

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือทั้ง 2 เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเจ้าหน้าที่หรือบุคลากรในแวดวงก๊าซชีวภาพ จะได้มีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน ใช้ก๊าซชีวภาพให้คุ้มค่ากับจุดประสงค์ที่ตั้งเป้าหมายไว้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อชาติทางตรงในการลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และในทางอ้อมยังช่วยปกป้องสิ่งแวดล้อม ลดภาวะโลกร้อนให้แก่โลกเพื่อคืนโลกสวยๆให้อนุชนในรุ่นต่อไปได้อยู่อาศัยอย่างมีความสุข

กลุ่มงานก๊าซชีวภาพ
มิถุนายน 2553

สารบัญ

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

		หน้า
	บทนำ	
	คำย่อและสัญลักษณ์	ก
	นิยามและคำจำกัดความที่เกี่ยวข้อง	ค
บทที่ 1	**เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ**	
	1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ	1-1
	1.2 สภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่ผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ	1-4
	1.3 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรและการแปรรูป	1-17
	1.4 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์	1-34
บทที่ 2	**การเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับของเสียจาก โรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน**	
	2.1 การออกแบบเพื่อความเหมาะสม	2-1
	2.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชน	2-2
บทที่ 3	**การออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อความปลอดภัย**	
	3.1 ขั้นตอนในการพิจารณาออกแบบ	3-1
	3.2 ส่วนผลิตก๊าซชีวภาพ	3-2
	3.3 ส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ	3-12
	3.4 ส่วนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	3-19
	3.5 ส่วนของระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพและกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	3-25
บทที่ 4	**การกำหนดบริเวณอันตราย (Hazardous Zone)**	
	4.1 การจำแนกบริเวณอันตราย	4-1
	4.2 ระยะห่างของบริเวณอันตรายของระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ	4-1
	4.3 ระบบไฟฟ้า เครื่องไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้ในบริเวณอันตรายในระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ	4-2
	4.4 บริเวณเขตอันตรายสำหรับระบบก๊าซชีวภาพในหลุมฝังกลบขยะ	4-2
บทที่ 5	**การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรม และขยะชุมชน**	
	5.1 ระบบประกอบระบบผลิตก๊าซชีวภาพพร้อมอุปกรณ์	5-2
	5.2 ถังปฏิกรณ์ / บ่อผลิตก๊าซชีวภาพ	5-16
	5.3 การบำรุงรักษาในส่วนก๊าซชีวภาพไปใช้งาน	5-25
	5.4 การเริ่มต้นเดินระบบ	5-32

สารบัญ(ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

บทที่6 รายละเอียดระยะเวลาและความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษา

6.1 การตรวจสอบรายวัน 6-1

6.2 การตรวจสอบรายเดือน 6-5

6.3 การตรวจสอบรายปี 6-5

6.4 การตรวจสอบอุปกรณ์ 6-6

ภาคผนวก ก. การปฐมพยาบาลเบื้องต้น

ภาคผนวก ข. กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ

ภาคผนวก ค. รายชื่อหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับก๊าซชีวภาพ ทีปรึกษาที่ออกแบบระบบก๊าซชีวภาพและตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์

สารบัญรูป

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

		หน้า
รูปที่ 1-1	ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ	1-3
รูปที่ 1-2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการหมัก	1-6
รูปที่ 1-3	กระบวนการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ	1-16
รูปที่ 1-4	องค์ประกอบของระบบ MCL	1-20
รูปที่ 1-5	ระบบ Modified Covered Lagoon ในโรงงาน	1-20
รูปที่ 1-6	องค์ประกอบในระบบยูเอเอสบี	1-22
รูปที่ 1-7	ภาพเม็ดตะกอนและการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการตกตะกอน	1-23
รูปที่ 1-8	อุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำเสีย ตะกอนแบคทีเรีย และก๊าซชีวภาพ (Gas-Solid Separator, GSS)	1-23
รูปที่ 1-9	ลักษณะรูปร่างถังยูเอเอสบีแบบต่างๆ	1-24
รูปที่ 1-10	ระบบยูเอเอสบีในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง	1-25
รูปที่ 1-11	ลักษณะการเกาะของฟิล์มชีวภาพ	1-26
รูปที่ 1-12	ตัวกลางที่มีใช้กันในถังกรองไม่ใช้อากาศ	1-27
รูปที่ 1-13	ถังกรองไม่ใช้อากาศแบบ (ก) ไหลขึ้น (ข) ไหลลง	1-28
รูปที่ 1-14	ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศในโรงงานผลิตแป้งข้าวเจ้า	1-28
รูปที่ 1-15	ลักษณะการทำงานของระบบ Baffled Reactor	1-29
รูปที่ 1-16	ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ Completely Stirred Tank Reactor (CSTR) ที่มีการกวนผสม (Mixing system) รูปแบบต่างๆ	1-32
รูปที่ 3-1	การติดสายล่อฟ้าในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	3-5
รูปที่ 3-2	การต่อสายดินในโครงสร้าง	3-5
รูปที่ 3-3	การต่อฝากเพื่อทำให้ศักย์ไฟฟ้าของพื้นผิวต่างๆ มีค่าเท่ากัน	3-6
รูปที่ 3-4	การต่อฝากระหว่างภาชนะบรรจุสารไวไฟ	3-6
รูปที่ 3-5	ลักษณะของมอเตอร์ป้องกันการระเบิด	3-6
รูปที่ 3-6	อุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ (Flame Arresters)	3-7
รูปที่ 3-7	การเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตรายอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องเป็นชนิดทนระเบิด	3-8
รูปที่ 3-8	โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นบ่อก่ออิฐฉาบปูน	3-9
รูปที่ 3-9	โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นถังเหล็ก	3-9
รูปที่ 3-10	โครงสร้างบ่อเก็บก๊าซชีวภาพที่เป็นวัสดุ PVC และ Membrane	3-10
รูปที่ 3-11	อุปกรณ์ชุดควบคุมแรงดัน	3-10
รูปที่ 3-12	ถังป้องกันความดันสูงหรือต่ำของบ่อก๊าซ	3-10

สารบัญรูป (ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

		หน้า
รูปที่ 3-13	สวิตซ์ป้องกันความดันสูงหรือต่ำเกินกำหนด	3-11
รูปที่ 3-14	ตัวส่งสัญญาณแรงดันก๊าซ	3-11
รูปที่ 3-15	ตัวควบคุมแรงดันก๊าซ	3-11
รูปที่ 3-16	ท่อ PVC	3-12
รูปที่ 3-17	ท่อ Stainless	3-12
รูปที่ 3-18	ท่อ HDPE	3-12
รูปที่ 3-19	Manual Condensate Drain แบบ Tee และ แบบ U-Pipe	3-15
รูปที่ 3-20	การดักน้ำออกแบบไซฟอน Siphon Condensate Drain	3-15
รูปที่ 3-21	ระบบระบายน้ำแบบ Active condensate	3-15
รูปที่ 3-22	วาล์วชนิดต่างๆ	3-16
รูปที่ 3-23	วาล์วป้องกันความดันย้อนกลับ	3-17
รูปที่ 3-24	วาล์วป้องกันความดันสูงเกินกำหนด	3-17
รูปที่ 3-25	Blower แบบต่างๆ	3-18
รูปที่ 3-26	กับดักระบายคอนเดนเสทและสิ่งปนเปื้อน	3-18
รูปที่ 3-27	อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap-Manual	3-19
รูปที่ 3-28	อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap-Automatic	3-19
รูปที่ 3-29	ชุดดักน้ำและสิ่งสกปรก	3-19
รูปที่ 3-30	การนำก๊าซชีวภาพไปใช้รูปของความร้อนโดยตรง	3-20
รูปที่ 3-31	เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพแทนได้ทั้งหมดต่อร่วมกับ Synchronous/Induction Generator เพื่อผลิตไฟฟ้า	3-21
รูปที่ 3-32	เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโดยเฉพาะ (เครื่องยนต์นำเข้า) โดยต่อร่วมกับ Synchronous Generator ในการผลิตไฟฟ้า	3-21
รูปที่ 3-33	กราฟแสดงผลการทดสอบความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพของเครื่องขนาด 128 kW.	3-21
รูปที่ 3-34	ปล่องเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง	3-23
รูปที่ 3-35	การติดตั้งถังดับเพลิงใกล้กับถังเก็บก๊าซชีวภาพ	3-34
รูปที่ 3-36	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ (Biogas analyzer)	3-25
รูปที่ 3-37	เครื่องวัดการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ	3-26
รูปที่ 3-38	การกำจัด H_2S โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีในการกำจัดและปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) ด้วยวัสดุเหล็ก	3-27

สารบัญรูป (ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

		หน้า
รูปที่ 3-39	กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารละลายเหล็ก	3-27
รูปที่ 3-40	กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธี Pressure swing adsorption	3-28
รูปที่ 3-41	ผังกระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยน้ำภายใต้ความดันสูง (High pressure water scrubbing)	3-28
รูปที่ 3-42	กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยสาร “Selexol” ภายใต้ความดันสูง	3-29
รูปที่ 3-43	กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบต่อเนื่องด้วยปฏิกรณ์ชนิด Bio-Filter	3-29
รูปที่ 3-44	ชุดฟอกก๊าซชีวภาพ	3-30
รูปที่ 5-1	ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ	5-1
รูปที่ 5-2	บ่อสูบน้ำเสียและเครื่องสูบน้ำ	5-2
รูปที่ 5-3	รายละเอียดของส่วนประกอบในระบบบ่อรวบรวมน้ำเสีย	5-2
รูปที่ 5-4	วิธีการหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อกวนผสมในบ่อสูบ	5-3
รูปที่ 5-5	ระบบรวบรวมน้ำเสีย	5-4
รูปที่ 5-6	ตะกอนแป้งในบ่อสูบที่สามารถตักรวบรวมได้	5-4
รูปที่ 5-7	บ่อดักกรวดทราย	5-5
รูปที่ 5-8	ตะแกรงหยาบแบบซี่ทำงานโดยใช้ระบบอัตโนมัติ	5-5
รูปที่ 5-9	ตะแกรงละเอียดแบบ Static Screen	5-6
รูปที่ 5-10	ตะแกรงละเอียดแบบ Rotary Drum Screen	5-6
รูปที่ 5-11	การรวบรวมขยะจากตะแกรงดักขยะแบบ Rotary Drum Screen	5-7
รูปที่ 5-12	ระบบดักไขมัน	5-8
รูปที่ 5-13	ระบบ Dissolved-Air Floatation	5-8
รูปที่ 5-14	แบบเครื่องกวนน้ำผสม	5-9
รูปที่ 5-15	การกวนผสมน้ำเสียภายในบ่อปรับสภาพ	5-10
รูปที่ 5-16	ถังตกตะกอนขั้นต้น	5-11
รูปที่ 5-17	ระบบบ่อเติมอากาศและบ่อผึ่ง	5-12
รูปที่ 5-18	ระบบบำบัดขั้นหลังแบบตะกอนเร่ง	5-13
รูปที่ 5-19	ถังทำข้นแบบต่างๆ (Sludge Thickener)	5-14

สารบัญรูป (ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

		หน้า
รูปที่ 5-20	ระบบย่อยตะกอน (Sludge Digester)	5-14
รูปที่ 5-21	ระบบบรีดตะกอน	5-15
รูปที่ 5-22	ลานตากตะกอน	5-15
รูปที่ 5-23	หน่วยบำบัดที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ	5-16
รูปที่ 5-24	ลักษณะการติดตั้งเครื่องสูบน้ำด้านข้างบ่อพักน้ำ	5-17
รูปที่ 5-25	ถังเก็บสารละลายโซดาไฟและเครื่องสูบละลายโซดาไฟ (NaOH)	5-18
รูปที่ 5-26	ท่อจ่ายสารละลายโซดาไฟ	5-18
รูปที่ 5-27	ไซโลเก็บปูนขาว	5-18
รูปที่ 5-28	ลักษณะของระบบการจ่ายน้ำเสีย	5-18
รูปที่ 5-29	ลักษณะของระบบยูเอเอสบี	5-19
รูปที่ 5-30	ลักษณะการวางท่อกระจายน้ำระบบยูเอเอสบี	5-20
รูปที่ 5-31	ถังยูเอเอสบีและท่อเก็บตัวอย่างตะกอนข้างถัง	5-21
รูปที่ 5-32	การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอนสำหรับระบบยูเอเอสบี	5-21
รูปที่ 5-33	ถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน	5-22
รูปที่ 5-34	การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน	5-22
รูปที่ 5-35	การหมุนเวียนน้ำ	5-23
รูปที่ 5-36	การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน	5-23
รูปที่ 5-37	การหมุนเวียนตะกอนและการเติมตะกอนเข้าถัง	5-23
รูปที่ 5-38	ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศ	5-24
รูปที่ 5-39	น้ำออกไม่สม่ำเสมอเกิดการอุดตันของตัวกลาง/การทรุดของเวียร์	5-24
รูปที่ 5-40	เตาน้ำมันร้อนและหัวเผา	5-25
รูปที่ 5-41	หม้อไอน้ำ	5-25
รูปที่ 5-42	ชุดเครื่องปั่นไฟใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซชีวภาพ	5-25
รูปที่ 5-43	ขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน	5-26
รูปที่ 5-44	ท่อส่งก๊าซชีวภาพ	5-26
รูปที่ 5-45	ชุดไซโคลนดักน้ำก่อนเข้าไปในอุปกรณ์ใช้งาน	5-27
รูปที่ 5-46	จุดระบายน้ำที่ควบแน่นในเส้นออกจากท่อส่งก๊าซ	5-27
รูปที่ 5-47	แผนผังการทำงานของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	5-28

สารบัญรูป (ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

		หน้า
รูปที่ 5-48	ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	5-28
รูปที่ 5-49	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Burner	5-29
รูปที่ 5-50	การติดตั้ง Pressure Release Valve	5-29
รูปที่ 5-51	Gas Flare และระบบวัดความดันในท่อก๊าซ	5-30
รูปที่ 5-52	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Biogas Flare แบบเปิด	5-30
รูปที่ 5-53	Pressure Switch และรูปแบบการติดตั้ง	5-31
รูปที่ 5-54	ลักษณะของ Pressure Regulator	5-32
รูปที่ 5-55	เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซแบบ Thermal Mass Flow Meter และแบบวัดปริมาตรของก๊าซที่ไหลผ่าน	5-32

สารบัญตาราง

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

		หน้า
ตารางที่ 1-1	Optimum temperature ranges for the growth of methane-forming bacteria	1-5
ตารางที่ 1-2	Temperature range for methane production for municipal anaerobic digesters	1-5
ตารางที่ 1-3	Comparison of mesophillic and thermophillic digesters	1-5
ตารางที่ 1-4	Approximate generation times of important groups of wastewater bacteria	1-7
ตารางที่ 1-5	Elementary composition of bacterial cells	1-9
ตารางที่ 1-6	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	1-10
ตารางที่ 1-7	ค่าความร้อนของก๊าซชนิดต่างๆ (กิโลแคลอรี/ม^3)	1-11
ตารางที่ 1-8	ความหนาแน่นของก๊าซชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 0 $^{\circ}$ซ. ความดัน 1 บรรยากาศ	1-12
ตารางที่ 1-9	ค่า Wobbe Index (กิโลแคลอรี/ม.^{3}) ของก๊าซ	1-13
ตารางที่ 1-10	จุดติดไฟอัตโนมัติของก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง	1-13
ตารางที่ 1-11	ประเภทน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีความเหมาะสมบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัด	1-17
ตารางที่ 1-12	การเปรียบเทียบจุดเด่น-จุดด้อยของระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ	1-30
ตารางที่ 3-1	ช่วงห่างตัวรองรับท่อที่เหมาะสม	3-13
ตารางที่ 3-2	ตารางเปรียบเทียบวาล์วชนิดต่างๆ	3-16
ตารางที่ 4-1	ระยะห่างของบริเวณอันตราย	4-1
ตารางที่ 6-1	รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพ	6-1
ตารางที่ 6-2	การตรวจสอบอุปกรณ์การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	6-5

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
ก.	กรัม
กก.	กิโลกรัม
กก.-ซีโอดี/ม 3. -วัน	กิโลกรัมในรูปของซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
กก./ม 3	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
กก./ม 3. - วัน	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
กก.-VSS/ม 3. -วัน	กิโลกรัมในรูปของของแข็งแขวนลอยระเหยต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ชม.	ชั่วโมง
ซม.	เซนติเมตร
°ซ	องศาเซลเซียส
°ฟ	องศาฟาเรนไฮน์
ม.	เมตร
มก.	มิลลิกรัม
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
มม.	มิลลิเมตร
มล.	มิลลิลิตร
ม 2	ตารางเมตร
ม 3.	ลูกบาศก์เมตร
ล.	ลิตร
ว.ส.ท.	วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ในพระบรมราชูปถัมภ์)
ALK	Alkalinity (ความเป็นด่าง)
$CaCO_3$	Calcium Carbonate (หินปูน)
CH_4	Methane Gas (ก๊าซมีเทน)
COD	Chemical Oxygen Demand (ซีโอดี)
CO_2	Carbondioxide Gas (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์)
FCOD	Flitted Chemical Oxygen Demand (ซีโอดีผ่านการกรอง)
F/M	อัตราส่วนระหว่างอาหารต่อชีวมวล
CH_3COOH	กรดอะซิติก
HDPE	High Density Poly Ethylene
HRT	Hydraulic Retention Time (เวลากักน้ำ)
H_2	Hydrogen Gas (ก๊าซไฮโดรเจน)
OLR	Organic Loading Rate (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์)
PVC	Poly Vinyl Chloride

คำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ	ความหมาย
SRT	Solid Retention Time (เวลาเก็บกักตะกอน)
SS	Suspended Solid (ของแข็งแขวนลอย)
TCOD	Total Chemical Oxygen Demand (ซีโอดีทั้งหมด)
TKN	เจดาห์ลไนโตรเจน
TS	Total Solid (ของแข็งทั้งหมด)
VFA	Volatile Fatty Acid (กรดระเหยง่าย)
VSS	Volatile Suspended Solid (ของแข็งแขวนลอยระเหย)

นิยามและคำจำกัดความด้านสิ่งแวดล้อม

กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty acids: VFAs)

เป็นผลผลิตจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยไม่ใช้อากาศโดยเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการสร้างกรดกรดไขมันระเหยง่ายจะอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์มวลโมเลกุลต่ำ โดยจะแสดงผลในรูป มก./ล. หินปูน (mg./l as $CaCO_3$) หรือ มก./ล. กรดอะซิติก (mg./l as HAc) โดยที่ 1 มก./ล. ในรูปหินปูน จะเท่ากับ 0.83 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก

กลิ่น (Odor)

กลิ่นของน้ำเสียส่วนมาก เกิดจากก๊าซที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่ ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ โดยเชื้อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในการหายใจภายใต้สภาพไร้อากาศ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นก๊าซผสม โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยก๊าซมีเทนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซ ไนโตรเจน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้งนี้องค์ประกอบส่วนใหญ่ได้แก่ ก๊าซมีเทนประมาณ 60-80 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20-40 % จึงทำให้ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติที่สามารถจะนำไปเป็นเชื้อเพลิง

ของแข็ง (Solids)

สารทุกอย่างที่อยู่ในของเหลวยกเว้นน้ำ

ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS)

ส่วนของของแข็งที่เหลือค้างอยู่บนกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐานหลังจากกรองน้ำตัวอย่างและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ

ของแข็งคงตัว (Fixed Solids: FS)

ของแข็งหรือเถ้า ส่วนที่เหลือค้างบนกระดาษกรองหลังจากการหาของแข็งระเหยง่าย

ของแข็งจมได้ (Settable Solids)

ของแข็งที่จมตัวอยู่ก้นภาชนะเมื่อตั้งทิ้งไว้ ภายในระยะเวลา 1 ชม. มีหน่วยเป็น มล. /ล.

ของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS)

สิ่งที่เหลือในภาชนะอยู่ภายหลังจากทำการระเหยน้ำออกจนหมด และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 -105 °ซ

ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids: VS)

ของแข็งส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ วัดโดยการนำกระดาษกรองที่ทำการวิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอยเสร็จแล้วนำไปเผาที่ 550 °ซ น้ำหนักของของแข็งที่หายไปคือปริมาณของแข็งระเหยง่าย

ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS)

ของแข็งที่สามารถลอดผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน 0.45 ไมครอนและเหลืออยู่หลังจากทำการระเหยไอน้ำจนแห้งและอบที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ

ความเป็นด่าง (Alkalinity: Alk)

หมายถึงความสามารถของน้ำนั้นในการรับโปรตอนหรือความสามารถในการสะเทินกรด เกิดจากองค์ประกอบของ ไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ ที่ละลายอยู่ในน้ำดังนั้นค่าความเป็นด่างจึงมีความสัมพันธ์ต่อพีเอช (pH) ของน้ำเสีย โดยสามารถวัดได้ทั้งในรูปของ มก./ล. หินปูน(mg./l as $CaCO_3$) หรือในรูปของมวลสมมูลย์(milli-equivalence : meq)

ความเร็วน้ำไหลขึ้น (Upflow Liquid Velocity: ULV)

เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมการทำงานถังปฏิกิริยาแบบไหลขึ้นโดยจะหมายถึงปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านหน้าตัดของถังปฏิกิริยา

$$ULV = \frac{Q}{A}$$

เมื่อ ULV = ความเร็วน้ำไหลขึ้น (ม./ชม.)
Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย ($ม^3$/วัน)
A = พื้นที่หน้าตัดของถังปฏิกิริยา ($ม^2$)

เจลดาห์ลไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN)

เป็นปริมาณของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนและไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำทั้งในรูปของของแข็งและสารละลาย

ซี โอ ดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิเดชั่นสารอินทรีย์ในน้ำ ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยใช้หลักการที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทุกชนิด สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยสารเคมีที่เป็น Strong Oxidizing Agent ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด สารออกซิไดซ์ซึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีได้แก่ โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ซึ่งค่าซีโอดีจะมีค่ามากกว่าบีโอดีเสมอ

ดัชนีวัดปริมาณตะกอน (Sludge Volume Index: SVI)

ปริมาตรตะกอนต่อน้ำหนักของตะกอนซึ่งตกตะกอนได้ในเวลา 30 นาที ซึ่งคำนวณได้ตามสมการ

$$SVI\ (มล./ก-ล) = 1{,}000 \times SV_{30}\ (มล.) / SS\ (มก/ล.)$$

เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยีในการหมักย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เช่นการหมักมูลสัตว์ เศษพืชผัก อุจจาระ สิ่งปฏิกูลที่ย่อยสลายได้และน้ำเสีย โดยการหมักจะเป็นการหมักในถังปิดภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศโดยใช้แบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศในการย่อยสลาย และก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานต่อไป

น้ำเสีย

น้ำที่มีสิ่งเจือปนในปริมาณสูง จนกระทั่งเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการก่อให้เกิดปัญหาต่อพื้นที่รองรับ สิ่งเจือปนในน้ำ ที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสียได้แก่ สารอินทรีย์ กรด ด่าง ของแข็ง สารแขวนลอย น้ำมัน ไขมันแร่ธาตุที่เป็นพิษ ความร้อน สารพิษ ยาฆ่าแมลง สี กลิ่น เป็นต้น

บี โอ ดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

ปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยทั่วไปจะวัดในรูปของ BOD_5 ซึ่งหมายถึงปริมาณ ของออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 °ซ

ประเภทของน้ำเสีย

น้ำเสียแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากภาคการเกษตร และน้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรม

ปริมาณตะกอน (Sludge Volume: SV t)

ตะกอนที่จมตัวอยู่ก้นภาชนะเมื่อตั้งทิ้งไว้ภายในระยะเวลา t นาที ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เวลาในการตกตะกอน 30 นาที มีหน่วยเป็น มล./ล. ภาชนะที่ใช้ในการหาปริมาณของของแข็งจมได้คือกรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff Cone) ขนาด 1 ล.

พีเอช (pH) ไม่มีหน่วย

เป็นค่าแสดงความเข้มข้นของอิออนไฮโดรเจน (H+) ในน้ำแสดงถึงความเป็นกรด หรือด่างของน้ำ โดยจะวัดในรูป -log [H+] ซึ่งค่าพีเอชจะมีค่าอยู่ในช่วง 0-14 โดยน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะมีพีเอชต่ำกว่า 7 ส่วนน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นด่างจะมีพีเอชมากกว่า 7

เวลาเก็บกักตะกอน (Solid Retention Time, SRT)

ระยะเวลาที่ตะกอนอยู่ภายในระบบ โดยในกรณีของถังปฏิกิริยาแบบการกวนสมบูรณ์เวลาเก็บกักตะกอนจะเท่ากับเวลาเก็บกักน้ำ ส่วนในระบบอื่นๆ สามารถหาเวลาเก็บกักตะกอนได้จาก

$$\text{เวลาเก็บกักตะกอน, SRT (วัน)} = \frac{\text{ปริมาณตะกอนในถัง (กก.)}}{\text{ปริมาณตะกอนที่สูญเสียไป (กก./วัน)}}$$

โดยปริมาณตะกอนภายในถังหาได้จากผลคูณระหว่างปริมาตรถังและความเข้มข้นของตะกอนในถัง ในขณะที่ตะกอนที่สูญเสียจากระบบจะเกิดขึ้นจากปริมาณตะกอนหลุดไปพร้อมกับน้ำออกและการดูดตะกอนส่วนเกินทิ้งจากถังปฏิกิริยา

เวลาเก็บกักน้ำ (Hydraulic Retention Time, HRT)

ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ภายในถังปฏิกิริยาหรืออยู่ในระบบ มีค่าเท่ากับ

$$HRT = \frac{V}{Q}$$

เมื่อ HRT = เวลากักน้ำ (วัน)
V = ปริมาตรถัง ($ม^3$)
Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย ($ม^3$/วัน)

ส่วนนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

บริเวณที่มีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานความร้อนโดยตรง เช่น หม้อต้มไอน้ำ ใช้ในรูปพลังงานกล/ไฟฟ้า เช่น เครื่องต้นกำลังขับพัดลมโรงเรือนสุกร หรือผลิตกระแสไฟฟ้า

ส่วนผลิตก๊าซชีวภาพ

บริเวณถังหมักน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงระบบเก็บก๊าซชีวภาพ เพื่อรอการนำไปใช้ประโยชน์

ส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

บริเวณท่อส่งก๊าซจากบ่อเก็บก๊าซชีวภาพไปยังส่วนนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ บ่อฟอกก๊าซชีวภาพ อาคารส่งจ่าย Gas Blower ส่งจ่ายก๊าซเพื่อเพิ่มแรงดันก๊าซและอัตราการไหลให้เหมาะสมกับการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Generation Rate)

ปริมาตรของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้รวมจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยคิดจากการประมาณการของผู้ออกแบบระบบเป็นผู้รายงานตัวเลขอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ เป็น ลบ.ม. /วัน

อัตราการไหลของน้ำ (Flow Rate, Q)

ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีหน่วยเป็น ม.^{3}/วัน หรือ ม.^{3} /ชม.

อัตราน้ำล้นเวียร์ (Weir Loading Rate)

เป็นอีกค่าหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมการทำงานสำหรับถังตกตะกอน ซึ่งหมายถึงปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านต่อความยาวของเวียร์

$$WLR = \frac{Q}{L}$$

เมื่อ WLR = อัตราน้ำไหลล้นเวียร์ (ม.^{3}/ม.-วัน)
Q = อัตราการไหลของน้ำสีย (ม.^{3} /วัน)
L = ความยาวสันเวียร์ (ม.)

อัตราน้ำไหลล้นผิว (Surface Overflow Rate: SOR)

เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมการทำงานสำหรับถังตกตะกอน หมายถึงปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านหน้าตัดของถังปฏิกิริยา

$$SOR = \frac{Q}{A}$$

เมื่อ SOR = อัตราน้ำไหลล้นผิว (ม.^{3}/ม.^{2}.-วัน)
Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย (ม.^{3} /วัน)
A = พื้นที่หน้าตัดของถังปฏิกิริยา (ม.^{2})

ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าความเร็วน้ำไหลขึ้นและอัตราน้ำไหลล้นผิวจะมีสูตรที่เหมือนกัน แต่ทั้งสองค่าจะใช้ในจุดที่ต่างกัน โดยความเร็วน้ำไหลขึ้นจะใช้สำหรับการไหลภายในถังปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศที่มีระบบการจ่ายน้ำเสียแบบไหลขึ้น ในขณะที่อัตราน้ำไหลล้นผิวมักใช้ในถังตกตะกอนเพื่อตรวจสอบความเร็วในการไหลของน้ำ ณ ผิวหน้าของถังตกตะกอน

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR)

ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบต่อปริมาตรถังในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งโดยทั่วไปนิยมวัดในรูปของอัตราภาระบรรทุกซีโอดี (COD Loading Rate) หรืออัตราภาระบรรทุกบีโอดี (BOD Loading Rate) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$OLR = \frac{Q \times COD}{V \times 1{,}000}$$

เมื่อ OLR = อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.สารอินทรีย์/ม^3.-วัน)

Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย (ม.^{3}/วัน)

COD = ซีโอดีของน้ำเสีย (มก./ล.)

V = ปริมาตรถัง (ม.^{3})

อัตราส่วนของอาหารกับแบคทีเรีย (Food to Microorganism Ratio, F/M Ratio)

เป็นอัตราส่วนระหว่างสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบกับปริมาณของแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังปฏิกิริยาซึ่งหาได้จาก

$$F/M = \frac{Q \times COD}{V \times MLSS}$$

เมื่อ F/M = อัตราส่วนของอาหารกับแบคทีเรีย

Q = อัตราการไหลของน้ำสีย (ม.^{3}/วัน)

COD = ซีโอดีของน้ำเสีย (มก./ล.)

V = ปริมาตรถัง (ม.^{3})

MLSS = ความเข้มข้นเฉลี่ยของแบคทีเรียในถัง(มก./ล.)

บทที่ 1

เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นโดยแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ (Anaerobic) โดยมีแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methanogens) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ (ก๊าซมีเทน) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญ โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านกระบวนการบำบัด หรือการทำให้ก๊าซที่ได้มีความสะอาดและปลอดภัยมากขึ้น โดยการกำจัดความชื้นรวมถึงก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยส่วนใหญ่ก๊าซที่ได้หลังผ่านการบำบัดแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการผลิตพลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ในส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถที่จะเชื่อมต่อกับระบบสายส่งสาธารณะเพื่อขายให้แก่รัฐ หรือนำไปใช้โดยตรงตามที่เจ้าของโครงการต้องการ และสำหรับพลังงานความร้อนก็สามารถนำไปใช้โดยตรงได้ เช่น การนำไปเผาไหม้ในเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) และยังสามารถดัดแปลงเพื่อใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อความเหมาะสม

กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

กระบวนการผลิตและปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในการย่อยสลายแบบสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition) จะค่อนข้างซับซ้อนและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหลายขั้นตอนใช้แบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ

- ขั้นตอนการเกิดกรด (Acid former)
- ขั้นตอนการหมักเพื่อให้ได้ก๊าซมีเทน (Methane fermentation)

ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายจนกลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile acids) โดยสารอินทรีย์เชิงซ้อน เช่น พวกเซลลูโลส (เศษพืช กระดาษ) ไขมัน (fats) โปรตีนและคาร์โบไฮเดรท จะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างง่ายๆ ซึ่งเป็นพวกสารอินทรีย์ประเภทกรดไขมัน (Organic Fatty Acid) โดยแบคทีเรียประเภท Acid-forming ซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด (Acidproducing Bacteria) จากนั้นเมื่อสภาพแวดล้อมมีค่า pH ต่ำลงหรือมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น และอุณหภูมิภายในระบบสูงขึ้น จะทำให้ Acid-forming Bacteria ค่อยๆ ตายลง ซึ่งสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดและที่อุณหภูมิสูงก็จะทำให้แบคทีเรียกลุ่มใหม่คือ Methane Forming Bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (methane-producing bacteria) จะเจริญเติบโตและเปลี่ยนกรดอินทรีย์ที่เกิดในขั้นตอนแรกให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นได้โดยขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ จนเกิดเป็นก๊าซชีวภาพนั้น สารอินทรีย์ที่ใช้ในการสร้างก๊าซชีวภาพ ได้แก่ น้ำเสียขยะมูลฝอยหรือสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเน่าเปื่อยได้ รวมทั้งมูลสัตว์ที่ประกอบด้วยเศษอาหารที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้ และถูกขับออกจากร่างกายสัตว์ ซึ่งประกอบด้วย

สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างก๊าซชีวภาพ คือ เซลลูโลส (Cellulose) โปรตีน (Protein) ลิกนิน (Lignin) แป้งและน้ำตาล (Tannin) ไขมัน (Fat) กรดนิวคลีอิค (Nucleic acid) แอลกอฮอล์ (Alcohol) ตัวการสร้างก๊าซชีวภาพ ได้แก่ จุลินทรีย์บางกลุ่มจะย่อยสลายมูลสัตว์ หรือของเสียจนมีอณูเล็กลง และได้สารที่จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic Bacteria) และนำไปสร้างก๊าซมีเทนในที่สุด โดยมีการแบ่งออกได้ 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 Liquefaction stage

เป็นขั้นตอนซึ่งผลผลิตสุดท้ายได้ของเหลวซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนที่สอง สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ๆ จะถูกย่อยสลายแล้วอยู่ในรูปของสารละลายที่แตกตัวเป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็กๆ โดยแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า Acid Formers โดยขั้นตอนที่หนึ่งยังแบ่งออกได้เป็น

1.1.1) ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis stage)

ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน โดยกลุ่มของแบคทีเรียให้เป็นโมเลกุลเล็กละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กลีเซอรอล เป็นต้น โดยแบคทีเรียจะดูดซึมน้ำจากสารละลายผ่าน Membrane ของเซลล์ ส่วนอนุภาคของสารอาหารจะถูกย่อยด้วย Extra cellular-enzyme ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนแรกนี้จะเป็นพวก Simple soluble compound แล้วถูกดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อในเซลล์ต่อไป ในขณะเดียวกันผลจากปฏิกิริยาการย่อยสลายนี้ก็จะเป็นก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งแอลกอฮอล์ จากนั้นปฏิกิริยานี้จึงทำให้สภาพในบ่อหมักมีความเป็นกรด (ค่า pH ต่ำ) และแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพความเป็นกรดจะทำหน้าที่ต่อไป

Carbohydrates ⟶ Simple sugar + Alcohol

Proteins ⟶ Peptide + Amino acid

Fats ⟶ Glycerol + Fatty acid

แบคทีเรียที่ช่วยย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ๆ มีหลายชนิด ได้แก่ Fat-decomposing microorganism, Cellulose-decomposing microorganism และ Protein-decomposing organism

1.1.2) ขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic stage)

การสร้างกรดอะซิติกจากกรดอินทรีย์ต่างๆ โดยแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก โดยนำเอา Simple soluble compound จากขั้นตอน Hydrolysis หรือจากวัตถุดิบโดยตรงมาสลายต่อไปได้ ในขณะเดียวกันผลจากปฏิกิริยานี้ก็จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปนอยู่ในก๊าซชีวภาพ

Complex organics ⟶ Organic acid + CO_2

ขั้นตอนที่ 2 Gasification stage หรือ การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic stage)

ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียชนิดที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing หรือ Methanogenic micro organism) ซึ่งมีหลายชนิดและเป็นแบคทีเรียที่ต้องอยู่ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ถ้ามีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย

ก็จะทำให้แบคทีเรียพวกนี้หยุดการเจริญเติบโต ก๊าซมีเทนอาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอินทรีย์ (ส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก) กับน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจน

$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$

Acetic acid → Methane + Carbon Dioxide

$2CH_3CH_2OH + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2CH_3COOH$

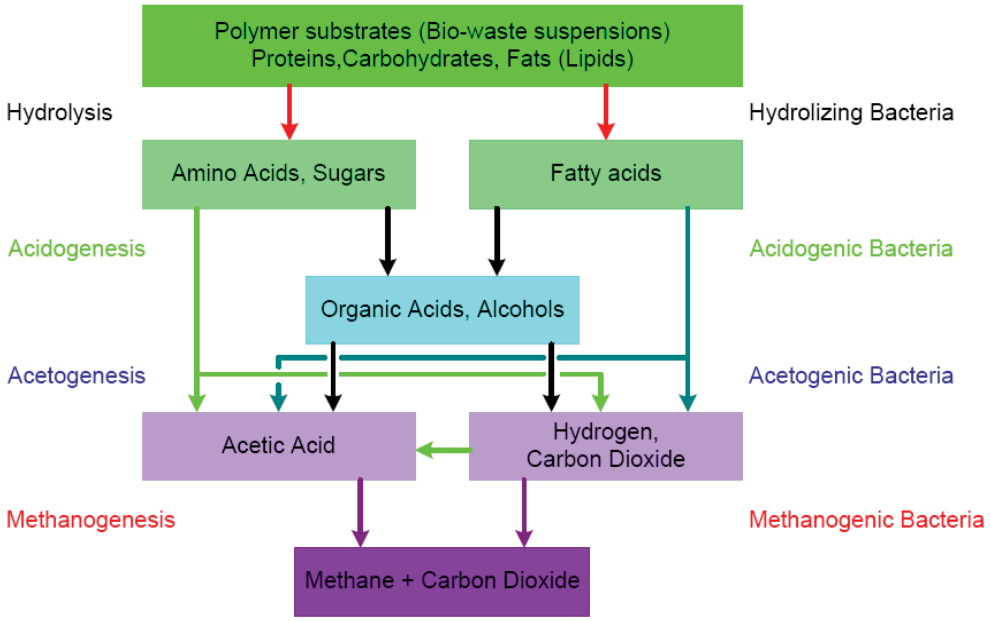
Ethanol + Carbon Dioxide → Methane + Acetic acid

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

Carbon Dioxide + Hydrogen → Methane + Water

แหล่งที่เกิดก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ขยะมูลฝอยหรือสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเน่าเปื่อยได้ น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปสินค้าทางเกษตรและจากการเลี้ยงสัตว์ เช่น โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผลิตแอลกอฮอล์และฟาร์มเลี้ยงหมู เป็นต้น โดยขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศสามารถแสดงได้ดัง **รูปที่ 1-1**

น้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดแบบแอนแอโอบิกเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพควรจะมีค่า COD มากกว่า 1,500 mg/L และอุณหภูมิสูง (25-35 °C) ถ้าน้ำเสียมีค่า COD ต่ำกว่า 1,500 mg/L การเลือกใช้ระบบที่ใช้ออกซิเจนจะมีความเหมาะสมมากกว่า (Metcalf & Eddy, 2003) โดยทั่วไปน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีค่า COD สูง ซึ่งสามารถที่จะนำระบบแอนแอโรบิกมาใช้ได้เป็นอย่างดี น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมีค่า COD ประมาณ 12,000-35,000 mg/L (Annachhatre, A. P. and Amatya, P. L.,2000; Plevin, R. and Donnelly, D., 2004)



รูปที่ 1-1 ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ

ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

1.2 สภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การที่จะทำให้แบคทีเรียผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีนั้น จะต้องสร้างสภาพแวดล้อมภายในระบบให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เนื่องจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นผลจากการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกัน อีกทั้งแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนมีการเจริญเติบโตช้าและมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีภายในระบบเป็นอย่างมาก เพราะถ้าหากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมจะทำให้แบคทีเรียผลิตก๊าซลดลง นอกจากนั้นชนิดของระบบไร้อากาศที่ใช้ก็มีผลอย่างมากต่อคุณภาพของก๊าซชีวภาพ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพนั้นประกอบด้วยหลายปัจจัย ได้แก่

1.2.1 สารอาหาร

สารอาหารในน้ำเสียเกี่ยวพันโดยตรงกับชนิดของกลุ่มแบคทีเรียในระบบ และประสิทธิภาพในการย่อยสลาย สารอาหารที่ต่างชนิดมีอัตราในการย่อยสลายที่ต่างกัน สารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต จะย่อยสลายได้เร็วกว่าโปรตีนและไขมัน

ในเซลล์แบคทีเรียจะประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ออกซิเจน และซัลเฟอร์ แบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ ต้องการไนโตรเจนเทียบกับน้ำหนักเซลล์เท่า 9.4 ในขณะแบคทีเรียชนิดไม่ใช้อากาศ จะสร้างเซลล์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากได้ จะต้องมีธาตุไนโตรเจนต่อคาร์บอน (N/C) ในสารอาหารประมาณ 0.0620 และธาตุฟอสฟอร์สเท่า 1 ใน 7 ของปริมาณธาตุไนโตรเจนที่ประกอบในเซลล์

ดังนั้นน้ำเสียควรมีอาหารเสริมเพียงพอแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยทั่วไปต้องการธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตราส่วน 11 ต่อ 2 ดังนั้น หากแบคทีเรียที่เกิดประมาณ 0.1 กก. ต่อ BOD ที่ย่อยสลาย อัตราส่วน BOD:N:P เท่ากับ 100:1.1:0.2 ซึ่งจะต่ำกว่าอัตราการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100:5:1

1.2.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เดินระบบแอนแอโรบิกมี 2 ช่วง ได้แก่ ช่วง Mesophillic คือที่อุณหภูมิระหว่าง 30-35 ^{o}C และช่วง Thermophillic คือที่อุณหภูมิระหว่าง 50-65 ^{o}C โดยอุณหภูมิช่วง 40-50 ^{o}C และอุณหภูมิต่ำกว่า 10 กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะถูกยับยั้ง ส่วนใหญ่จะเดินระบบที่อุณหภูมิ 30-35 ^{o}C มากกว่า 50-65 ^{o}C เนื่องจาก Thermophillic bacteria มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม มักจะประสบปัญหาในการควบคุมระบบได้ง่ายกว่า Mesophillic bacteria รายละเอียดกลุ่มแบคทีเรียแสดงใน**ตารางที่ 1-1 ถึง 1-2** และเปรียบเทียบการเดินระบบระหว่าง Mesophillic digesters และ Thermophillic digesters แสดงใน**ตารางที่ 1-3**

ตารางที่ 1-1 Optimum temperature ranges for the growth of methane-forming bacteria

Bacteria Group	Temperature Range, °C
Psychrophiles	5-25
Mesophiles	30-35
Thermophiles	50-65
HyperThermophiles	>65

ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

ตารางที่ 1-2 Temperature range for methane production for municipal anaerobic digesters

Temperature, °C	Methane Production
35	Optimum
32-34	Minimum
21-31	Little, digester going “sour”
<21	Nil, digester is “sour”

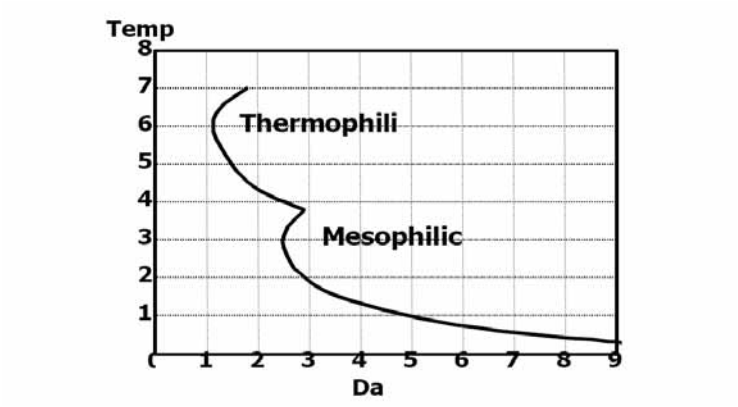
ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

ตารางที่ 1-3 Comparison of mesophillic and thermophillic digesters

Feature	Mesophillic digester	Thermophillic digester
Loading rates	Lower	Higher
Destruction of pathogens	Lower	Higher
Sensitivity to toxicants	Lower	Higher
Operational costs	Lower	Higher
Temperature control	Less difficult	More difficult

ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

อุณหภูมิทั้ง 2 ช่วงจะสัมพันธ์กับระยะเวลาการหมัก ดังแสดงได้ดัง**รูปที่ 1-2** โดยอุณหภูมิช่วง Thermophillic คือที่อุณหภูมิระหว่าง 50–65 °C อุณหภูมิในช่วงนี้จะเกิดขึ้นเมื่อทำการหมักสารอินทรีย์ในช่วง 3 วันแรก และอุณหภูมิช่วง Mesophillic คือที่อุณหภูมิระหว่าง 30–35°C จะเกิดขึ้นเมื่อทำการหมักสารอินทรีย์ในช่วง 3–9 วัน



รูปที่ 1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการหมัก

ที่มา : Institute of Science and Technology Research and Development, 1998

1.2.3 ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) และความเข้มข้นของกรดระเหย (Volatile acid)

ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) ของสารละลาย ถ้าค่า pH เท่ากับ7 แสดงว่าสารละลายนั้นเป็นกลาง ถ้าค่า pH ต่ำกว่า 7 แสดงว่าสารละลายนั้นมีค่าเป็นกรด และถ้า pH มากกว่า 7 แสดงว่าสารละลายนั้นมีความเป็นด่าง เมื่อขบวนการหมักเข้าสู่สภาพคงที่แล้ว ก็จะทำให้เกิดความสมดุลของความเป็นกรด–ด่าง เนื่องจากเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ไบคาร์บอเนต ($CO_2 – HCO_3$) และเกิดแอมโมเนีย ($NH_3 – NH_4$) ทำให้สารละลายในบ่อหมักมีค่า pH ระหว่าง 7.0 – 8.5 ซึ่งเป็นค่า pH ที่วัดได้ในสารละลายในบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ทำงานเป็นปกติ ถ้าค่า pH ของสารละลายในบ่อหมักลดลงต่ำกว่า 6.2 จะหยุดยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน เป็นผลทำให้การผลิตก๊าซมีเทนลดลง หรือไม่มีการผลิตเลย สำหรับขบวนการหมักปกติ ความเข้มข้นของกรดระเหยได้ ซึ่งวัดในรูปของกรดอะซิติก (Acetic acid) ควรต่ำว่า 2,000 ppm. (ส่วนในล้านส่วน) ถ้ากรดระเหยมีค่าสูงกว่านี้ ก็จะไปหยุดยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนเช่นกัน

ค่าความเป็นกรด–ด่างของวัสดุที่จะนำมาหมักควรมีค่าระหว่าง 6–7 โดยในช่วงแรกของการหมักนั้น ค่าความเป็นกรด–ด่างจะลดลงจนต่ำกว่า 5 และเมื่อการหมักดำเนินไปจะเกิดแอมโมเนียขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด–ด่างเพิ่มขึ้นจนเกิน 8 ซึ่งในช่วงนี้แบคทีเรียก็จะสร้างมีก๊าซมีเทนขึ้นมา ทำให้ค่าความเป็นกรด–ด่างลดลงจนอยู่ในช่วง 7.2 – 8.2 ถ้าค่าความเป็นกรด–ด่างต่ำมากๆ อาจจะใส่ปูนขาวเพื่อช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรด–ด่างขึ้นได้

1.2.4 การผสม (Mixing)

การผสมเป็นการทำให้แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับอาหาร (น้ำเสีย) มากขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ในกรณีน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังจะลดการจับตัวกันเป็นก้อนแป้งซึ่งจะทำให้เกิดการย่อยแป้งได้รวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังทำให้อุณหภูมิภายในระบบทั่วถึง การผสมสามารถลดเวลาเก็บกักของถังปฏิกิริยาได้ วิธีการผสมโดยใช้ใบพัดกวนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการผสมโดยหมุนเวียนก๊าซที่เกิดขึ้นภายในระบบ การผสมสามารถเลือกรูปแบบได้ทั้งการผสมแบบต่อเนื่องและเป็นช่วงเวลา กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนมีความไวต่อการผสมเร็ว

(Rapid Mixed, Velocity gradient, G >500 s-1) มาก ควรหลีกเลี่ยงการผสมที่อาจทำให้แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนหลุดออกจากระบบ เพราะจะทำให้ระบบล้มเหลวได้

1.2.5 ระยะเวลาการเก็บกัก (Retention time)

ระยะเวลาการเก็บกัก เป็นระยะเวลาที่ให้สารอินทรีย์ถูกผสมอยู่ในบ่อหมักก๊าซ เพื่อให้แบคทีเรียได้ย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้เป็นอาหารในการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ให้มากขึ้น ก่อนที่จะถูกถ่ายเทออกจากบ่อหมัก ปกติจะใช้เวลา 20-50 วัน ระยะเวลาของการพักตัวของการเกิดก๊าซสำหรับบ่อหมักก๊าซที่มีการเติมสารอินทรีย์ตลอดเวลา หรือเป็นระยะๆ สามารถคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยได้โดยปริมาตรบ่อก๊าซ คือ

$$\text{ระยะเวลาการพักตัว (วัน)} = \frac{\text{ปริมาตรบ่อหมัก } (\text{ม}^3)}{\text{ปริมาตรของเสียที่เติมเข้าบ่อหมักในแต่ละวัน } (\text{ม}^3/\text{วัน})}$$

ถ้าระยะเวลาการพักตัวสั้นมากเกินไป การชะล้างของแบคทีเรียในบ่อหมักจะมีอัตราเร็วกว่าการสร้างแบคทีเรียใหม่ ปฏิกิริยาการย่อยสลายก็จะหยุดชะงัก เนื่องจากปริมาณแบคทีเรียในบ่อหมักลดลงหรือหมดไป แต่ถ้าให้ระยะเวลาการพักตัวนานเกินไปก็หมายความว่า บ่อหมักจะต้องมีปริมาตรใหญ่ขึ้น ทำให้ราคาค่าก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพแพงตามไปด้วย มี 2 ตัวแปรที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับเวลาในถังปฏิกิริยา ได้แก่ Solid Retention Time (SRT) และ Hydraulic Retention Time (HRT) โดยที่ SRT เป็นเวลาเฉลี่ยที่แบคทีเรียอยู่ในถังปฏิกิริยา ส่วน HRT เป็นเวลาเฉลี่ยที่น้ำเสียหรือสลัดจ์อยู่ในถังปฏิกิริยา ตัวแปรทั้งสองอาจจะสัมพันธ์กันหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะการเดินระบบ Methane-Forming Bacteria ต้องการเวลาสำหรับการฟักตัวและเพิ่มจำนวนมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน รายละเอียด**ตารางที่ 1-4**

ตารางที่ 1-4 Approximate generation times of important groups of wastewater bacteria

ชนิดของแบคทีเรีย	การทำงาน	ระยะเวลาการเจริญเติบโต
Aerobic organotrophs	Floc formation and degradation of soluble organics in the activated sludge and trickling filter processes	15-30 min
Facultative Anaerobic organotrophs	Floc formation and degradation of soluble organics in the activated sludge and trickling filter processes, hydrolysis and degradation of organics in the anaerobic digester	15-30 min
Nitrifying bacteria	Oxidation of NH_4^+ and NO_2^- in the activated sludge and trickling filter processes	2-3 days
Methane-forming bacteria	Production of methane in the anaerobic digester	3-30 days

ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

ในการเดินระบบไม่ควรให้ SRT น้อยกว่า 10 วัน เนื่องจากอาจจะเกิดการชะล้าง (Washout) Methane-Forming Bacteria ออกจากระบบ SRT ถือได้ว่ามีความสำคัญกว่า HRT เพราะไม่ขึ้นกับลักษณะน้ำเสียหรือลักษณะของสลัดจ์ การเพิ่มตัวกลางเข้าไปในระบบทำให้ SRT เพิ่มขึ้นได้ ข้อดีของการเดินระบบที่ค่า SRT มาก ได้แก่ เพิ่มความสามารถในการบำบัด ลดขนาดถังปฏิกิริยา ลดผลกระทบจากภาวะรับภาระ เกิน (Shock loading) หรือมีสารพิษที่เข้ามากับน้ำเสีย การเพิ่มค่า SRT อาจทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การเพิ่มขนาดถังปฏิกิริยาและการเพิ่มความเข้มข้นของแบคทีเรียในระบบ ทั้งนี้ HRT มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยง่ายไปเป็นก๊าซมีเทน

1.2.6 ความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมัก (Substrate solids content)

เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมักแบบมีการเติมสารอินทรีย์อย่างสม่ำเสมอ ควรมีค่าระหว่าง 5 -10% และมีค่าประมาณ 25% สำหรับบ่อหมักแบบเติมสารอินทรีย์เพียงครั้งเดียว ความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมักมีมากไปหรือน้อยไปก็จะเกิดผลเสียคือ ถ้าความเข้มข้นของของแข็งเพิ่มมากขึ้นเกินไป ก็จะทำให้เกิดการสะสมของกรดเพิ่มขึ้น (pH ต่ำลง) ทำให้กระบวนการหมักหยุดชะงัก เป็นผลทำให้ไม่มีการผลิตก๊าซ แต่ถ้าความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมักน้อยเกินไป ก็จะทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรของบ่อไม่มากเท่าที่ควรทำให้ได้ก๊าซน้อย

ระบบของการหมักก๊าซชีวภาพ แบ่งตามแบบการเติมสารหมัก (อินทรีย์ + น้ำ) คือแบบเติมครั้งเดียว (Batch operation) โดยการเติมอินทรีย์สารครั้งเดียว แล้วปล่อยให้อินทรีย์สารถูกย่อยสลายจนหมดแล้วจึงเอาออก และเติมสารอินทรีย์ลงใหม่ ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซต่ำ และปริมาณก๊าซไม่คงที่แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous operation) โดยการเติมอินทรีย์สารเป็นประจำ วันเว้นวันหรือเว้นสองวัน ขึ้นอยู่กับสภาพสารอินทรีย์ที่มีและขนาดของบ่อหมัก ผลที่ได้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแรก ปริมาณก๊าซที่ได้ค่อนข้างคงที่ แบบต่อเนื่อง (Continuous operation) เป็นการเติมสารอินทรีย์เข้าและเอาสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกอยู่ตลอดเวลาด้วยอัตราการไหลเข้าและออกคงที่ ประสิทธิภาพของระบบนี้จะสูงสุด เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่อยู่ตลอดเวลา

1.2.7 สารเคมี ยาปฏิชีวนะ และสารพิษ

สารเคมีและยาปฏิชีวนะที่ใช้ในการดูแลรักษาสุขภาพสัตว์ ล้างคอก และอื่นๆอาจมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้เป็นเพราะสารเคมีและยาปฏิชีวนะบางอย่างเป็นอันตรายกับแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพน้อยลงหรือไม่เกิดเลย ดังนั้น การใช้และบำรุงรักษาบ่อก๊าซชีวภาพจะต้องระวังไม่ให้สารเคมีและยาปฏิชีวนะเข้าไปในบ่อก๊าซชีวภาพได้ เช่น เมื่อใดที่มีการใช้ยาฆ่าเชื้อโรคล้างคอกสัตว์ก็ให้นำน้ำนั้นไปทิ้งที่อื่น หรือถ้ามีการนำยาปฏิชีวนะให้สัตว์กินหรือฉีด ก็ต้องไม่ปล่อยให้มูลสัตว์นั้นไหลลงไปในบ่อเติมก๊าซชีวภาพ

โลหะหนัก น้ำยาซักล้าง และแร่ธาตุบางชนิด เช่น โซเดียม โปตัสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แอมโมเนียม และซัลเฟอร์ เป็นสารที่ทำให้เกิดพิษต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียภายในระบบ แต่โลหะหนักบางชนิดเช่น ทองแดง นิกเกิล โครเมียม สังกะสี และตะกั่ว มีประโยชน์ต่อแบคทีเรียในปริมาณน้อยเท่านั้น เนื่องจาก

เป็นส่วนประกอบของเซลล์แบคทีเรีย ดัง**ตารางที่ 1-5** แต่ถ้ามีในปริมาณมากก็จะทำให้เกิดพิษได้โดยลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แบคทีเรียมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 80% ส่วนที่เหลือ 20% ประกอบด้วยอินทรีย์สาร 90% และอนินทรีย์สาร 10% สูตรโครงสร้างอย่างง่ายของเซลล์ ($C_5H_7O_2N$) จะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 50% แต่ถ้าพิจารณารวมฟอสฟอรัสด้วย สูตรโครงสร้างจะเปลี่ยนเป็น $C_60H_{87}O_{23}N_{12}P$ (องค์ประกอบจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและชนิดของแบคทีเรีย) (Metcalf & Eddy, 2003) ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเติบโตของแบคทีเรียสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ Macronutrient และ Micronutrient ซึ่ง Macronutrient ถือได้ว่าเป็นธาตุอาหารหลักสำหรับการสังเคราะห์เซลล์ ได้แก่ C, N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na และ Cl ส่วน Micronutrient ได้แก่ Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni และ Vitamin ซึ่งมีบทบาทในกระบวนการสันดาปและการทำงานของเอนไซม์ของเซลล์ สำหรับ Micronutrient สามารถคำนวณความต้องการอย่างน้อยประมาณ 0.02-0.03 mg/g COD สำหรับ Fe, Zn และ0.003-0.004 mg/g COD สำหรับ Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni (McCarty, P. L. and Rittmann, B. E., 2001)

ตารางที่ 1-5 Elementary composition of bacterial cells

Element	Approximate Percent Composition
Carbon	50
Oxygen	22
Nitrogen	12
Hydrogen	9
Phosphorus	2
Sulfur	1
Potassium	1
Sodium	1
Calcium	0.5
Magnesium	0.5
Chloride	0.5
Iron	0.2
Other trace element	0.3

ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) 50-70 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30-50 % ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) และไอน้ำเป็นต้น ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อนประมาณ 21 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรที่สัดส่วนของก๊าซมีเทน 60 %

สารอินทรีย์ + จุลินทรีย์ ------> เซลล์ + Carbondioxide + Methane+ Ammonia + Hydrogen Sulfide

ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์มีคุณสมบัติเบากว่าอากาศประมาณครึ่งหนึ่ง (น้ำหนักโมเลกุล 16.04) ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ไม่มีรส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ส่วนก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซผสมอากาศเป็นก๊าซที่มีกลิ่นเล็กน้อย เกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้ผู้ใช้บางคนไม่ชอบเอาไปหุงต้ม แต่จริงๆ แล้วกลิ่นของก๊าซนี้ไม่ได้ทำให้รสชาติของอาหารมีกลิ่นเลย พอเผาไหม้แล้วก็ระเหยไป องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพแสดงได้ดัง**ตารางที่ 1-6**

ตารางที่ 1-6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยปริมาตรแห้ง
มีเทน	60-65
คาร์บอนไดออกไซด์	30-38
ไนโตรเจน	2-5
ออกซิเจน	2-5
ซัลไฟด์,ไดซัลไฟด์,เมอร์แคปเทน,อื่นๆ	0-1.0
แอมโมเนีย	0.1-1.0
ไฮโดรเจน	0-0.2
คาร์บอนมอนออกไซค์	0-0.2
ก๊าซอื่นๆ	0.01-0.6
อุณหภูมิ,°F	100-120
ความถ่วงจำเพาะ	1.02-1.06
ความชื้น	Saturated
ค่าความร้อนสูง,บีทียู/ลบ.ม.	400-555

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2544

คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพมีส่วนประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน จึงทำให้มีคุณสมบัติในการลุกติดไฟได้ โดยก๊าซมีเทนจะมีน้ำหนักเบากว่าอากาศ เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ยาก คุณสมบัติพื้นฐานประกอบด้วย

<u>ค่าความร้อน</u>

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะกำหนดโดยปริมาณความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงปริมาตร 1 $ม^3$ อย่างสมบูรณ์ ค่าความร้อนที่นิยมทำการวัดมี 2 รูปแบบ คือ Low Heating Value หรือ Net Heating Value และ Higher Heating Value หรือ Gross Heating Value ความแตกต่างระหว่างค่าความร้อนทั้งสองแบบขึ้นอยู่กับรูปแบบการคำนวณพลังงานความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ เพราะในกระบวนการเผาไหม้จะมีน้ำเกิดขึ้นโดยอยู่ในสถานะเป็นไอน้ำ ในการวัดค่าความร้อน ถ้ารวมพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาเนื่องจากการควบแน่นของไปน้ำเป็นของเหลวจะเรียกค่าความร้อนนี้ ว่า Gross Heating Value ในทางกลับกัน ถ้าไม่รวมพลังงานความร้อนในส่วนนี้จะเรียกว่า Net Heating Value โดยค่าความร้อนของก๊าซชนิดต่างๆ ดัง**ตารางที่ 1-7**

ตารางที่ 1-7 ค่าความร้อนของก๊าซชนิดต่างๆ (กิโลแคลอรี/ม^3)

ก๊าซ	Gross Heating Value	Net Heating Value
บิวเทน	28,700	26,500
ก๊าซชีวภาพ*	6,140	5,520
ไฮโดรเจน	2,890	2,450
มีเทน	9,000	8,100
ก๊าซธรรมชาติ	8,450-10,230	7,560-9,200
โพรเพน	22,900	21,050

ที่มา : คู่มือกำหนดความปลอดภัยของการออกแบบระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ , กรมพัฒนาพลังงาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,น.1(* ก๊าซชีวภาพซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 60)

เมื่อนำค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 60 จำนวน 1 ลบ.ม. มาเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆจะมีค่าเทียบเท่ากับ

ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46	กก.
น้ำมันเบนซิน	0.67	ล.
น้ำมันดีเซล	0.60	ล.
น้ำมันเตา	0.55	ล.
ฟืนไม้	1.50	กก.
ไฟฟ้า	1.20	kW/hr.

ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ

ก๊าซชีวภาพมีความหนาแน่นประมาณ 1.2 ก./ล. หรือ 1.2 กก./ม^3.เมื่อมีปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 60 ที่สภาวะมาตรฐานโดยค่าความหนาแน่นของก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ โดยทั่วไปในการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวและของแข็ง จะเปรียบเทียบความหนาแน่นของสารนั้นๆ กับความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 4 ^{0}ซ. แต่ในกรณีของก๊าซการวัดค่าความถ่วงจำเพาะเป็นการเทียบความหนาแน่น ของก๊าซชนิดนั้นกับความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ 0 $^\circ$ซ. ความดัน 1 บรรยากาศ โดยก๊าซที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.0 เป็นก๊าซที่มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ เมื่อรั่วออกสู่บรรยากาศจะไหลลงสู่พื้นและกระจัดกระจายไปได้ยากกว่าก๊าซที่เบากว่าอากาศ

สำหรับความหนาแน่นของก๊าซชนิดต่างๆ ที่ สภาวะมาตรฐานดังตาราง**ที่ 1-8** ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซมีเทนมีความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศมาก ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักอีกชนิดในก๊าซชีวภาพจะหนักกว่าอากาศ ดังนั้นก๊าซชีวภาพจะมีความหนาแน่นต่ำลง หากมีสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงขึ้น

ตารางที่ 1-8 ความหนาแน่นของก๊าซชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 0 °ซ. ความดัน 1 บรรยากาศ

ก๊าซ	สูตรโมเลกุล	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนาแน่น (กก./ม $^{3.}$)
อากาศ	-	29	1.293
แอมโมเนีย	NH3	17.031	0.769
บิวเทน	C_4H_{10}	58.1	2.5
คาร์บอนไดออกไซด์	CO2	44.01	1.977
ก๊าซชีวภาพ	-	-	1.15
มีเทน	CH4	16	0.717
ก๊าซธรรมชาติ	-	19.5	0.7-0.9
โพรเพน	C_3H_8	44.09	1.882

Wobbe Number / Wobbe Index (WI)

Wobbe Number หรือ WI หมายถึง ค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเผาไหม้ของหัวเผา (Burner) กับคุณสมบัติของก๊าซ (ค่าความร้อนและความถ่วงจำเพาะของก๊าซ) ค่า WI จะใช้ในการปรับแต่งระบบการเผาไหม้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยมีส่วนสำคัญต่อปริมาณพลังงานที่จะจ่ายผ่านหัวฉีดเข้าระบบเผาไหม้ ซึ่งค่า WI ของก๊าซชนิดต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 3-4 ความสำคัญของค่า WI พิจารณาได้จากสมการการไหลของก๊าซผ่าน Gas Injector (บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2548)

$$Q = 0.0046 \times C \times A \times \sqrt{\frac{P}{RD}}$$

ซึ่งเมื่อแปลงเป็น Heat Flow ด้วยการคูณ HV

$$Q \times HV = 0.0046 \times C \times A \times \sqrt{\frac{P}{RD}} \times HV$$

$$H = 0.0046 \times C \times A \times \sqrt{P \times \frac{HV}{\sqrt{RD}}}$$

Q = อัตราการไหลของก๊าซ

C = สัมประสิทธิ์ของการไหล(Coefficient of Discharge)

HV = ค่าความร้อนของก๊าซ

RD = ความถ่วงจำเพาะของก๊าซ

P = ความดันก๊าซ

A = พื้นที่หัวฉีด (Injector Orifice Area)

H = Heat Flow

WI = Wobbe Number (Wobbe Index) = $\frac{HV}{\sqrt{RD}}$

จากสมการจะเห็นได้ว่าค่าพลังงานความร้อนที่ต้องการเกี่ยวข้องกับค่า WI ของก๊าซ โดยหากค่า WI ลดลง การที่จะควบคุมให้ได้ค่า Heat Flow คงเดิม ต้องเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซหรือปริมาณก๊าซในทางกลับกัน แต่ถ้า WI เพิ่มขึ้น การควบคุมให้ได้ค่า Heat Flow คงเดิมจะต้องลดอัตราการไหลหรือปริมาณก๊าซที่เข้าหัวหัวเผา โดยทั่วไป Burner สามารถใช้งานอย่างเป็นปกติหากก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเล็กน้อยโดยมีค่าไม่เกิน 5 % ของ WI แต่ใน Burner บางชนิดอาจสามารถใช้ได้กับก๊าซที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้ถึง 10-15 % ของ WI ดังนั้น หากมีการเปลี่ยนชนิดของก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงต้องพิจารณาค่า WI ของก๊าซแต่ละชนิดด้วย ดัง **ตารางที่ 1-9**

ตารางที่ 1-9 ค่า Wobbe Index (กิโลแคลอรี/ม.^{3}) ของก๊าซ

Fuel Gas	Upper Index	Lower Index
Hydrogen	11,528	9,714
Methane	12,735	11,452
Ethane	16,298	14,931
Natural Gas	12,837	11,597
Propane	19,376	17,814
Propylene	18,413	17,180
LPG	20,755	19,106
n-butane	22,066	20,336
Iso-butane	21,980	20,247
Butylene-1	21,142	19,728
Carbon monoxide	3,060	3,060

<u>การจุดติดไฟอัตโนมัติ</u>

การที่เชื้อเพลิงจะเกิดการติดไฟหรือเผาไหม้ได้ ต้องมีองค์ประกอบหลักสามประการคือ เชื้อเพลิง อากาศ (ซึ่งหมายถึงออกซิเจน) และพลังงาน (ในที่นี้อาจหมายถึงความร้อนหรือประกายไฟก็ได้) แต่ในบางกรณีถ้าเชื้อเพลิงและอากาศมีการผสมกันอย่างพอเหมาะ และมีอุณหภูมิสูงเพียงพอก็สามารถเกิดการติดไฟได้เอง โดยอุณหภูมินี้เรียกว่าจุดติดไฟอัตโนมัติ โดยก๊าซต่างๆมีการจุดติดไฟอัตโนมัติแตกต่างกันดัง **ตารางที่ 1-10**

ตารางที่ 1-10 จุดติดไฟอัตโนมัติของก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	จุดติดไฟอัตโนมัติ, °ซ
มีเทน	537
โพรเพน	470
บิวเทน	365

จาก**ตาราง 1-10** ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงจุดติดไฟอัตโนมัติของก๊าซ 3 ชนิด ได้แก่ก๊าซมีเทน ก๊าซโพรเพน และก๊าซบิวเทน โดยก๊าซโพรเพน และก๊าซบิวเทน จะเป็นก๊าซที่อยู่ในก๊าซหุงต้ม (LPG) ซึ่งก๊าซทั้ง 3 ชนิดมีค่าจุดติดไฟอัตโนมัติอยู่ระหว่าง 350-537 °ซ โดยก๊าซบิวเทนจะติดไฟง่ายที่สุดและก๊าซมีเทนจะติดไฟยากที่สุด ดังนั้นการติดไฟของก๊าซชีวภาพจำเป็นต้องอาศัยประกายไฟไม่เกิดการจุดติดไฟเอง

ช่วงในการลุกไหม้

โดยปกติการจุดติดไฟของก๊าซต้องมีสัดส่วนระหว่างก๊าซและออกซิเจนที่พอเหมาะ การที่มีออกซิเจนมากเกินไปไม่สามารถที่จะทำให้เกิดการลุกไหม้ขึ้นได้ ในทางตรงกันข้ามหาก ปริมาณของออกซิเจนน้อยเกินไปก็ไม่อาจทำให้เกิดการลุกไหม้ได้เช่นกัน การลุกไหม้ของก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทนจะมีช่วงในการลุกไหม้อยู่ที่ 5-15 % หมายความว่าหากในบรรยากาศมีก๊าซมีเทนน้อยกว่า 5% ก็จะไม่เกิดการลุกไหม้เรียกตำแหน่งที่ 5% นี้ว่า Lower Explosive Limit หรือ LEL แต่ถ้าหากในบรรยากาศมีก๊าซมีเทนมากกว่า15 % ก็จะไม่เกิดการลุกไหม้เช่นเดียวกันเรียกจุดนี้ว่าเป็น Upper Explosive Limit หรือ UEL ความเร็วของเปลว คือ สิ่งที่ต้องเอามาพิจารณาในการออกแบบหัวจ่ายก๊าซ และการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ โดยความเร็วของเปลวจะเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนที่ก๊าซมีเทนผสมอยู่

ความเร็วของเปลวไฟ

ความเร็วของเปลวไฟเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบระบบจ่ายก๊าซเข้าสู่หัวเผาและการออกแบบ การจุดเครื่องยนต์ ความเร็วของเปลวไฟจะเปลี่ยนแปลงได้ตามสัดส่วนของมีเทนที่อยู่ในก๊าซผสมระหว่างก๊าซชีวภาพกับอากาศ นอกจากนี้ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ก็มีผลต่อความเร็วของเปลวเช่นกัน

อุณหภูมิของเปลวไฟ

อุณหภูมิของเปลวไฟจะขึ้นอยู่กับความชื้นของก๊าซและสัดส่วนมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพ เมื่อก๊าซชีวภาพที่มีความชื้นมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของเปลวไฟลดลง โดยจะลดลงประมาณ 10-20 °ฟ เมื่อมีน้ำอยู่ 50 มก./ล. ดังนั้นการนำก๊าซไปใช้จึงต้องมีการออกแบบระบบดักน้ำและควบแน่นไอน้ำที่มากับก๊าซชีวภาพที่มีประสิทธิภาพ

ส่วนผสมในห้องเผาไหม้

การที่จะทำให้เกิดการลุกไหม้ของก๊าซมีเทน ต้องมีความเข้มข้นของมีเทนในอากาศอยู่ในช่วง 5-15% โดยสัดส่วนที่ดีที่สุดในการลุกไหม้ตามทฤษฎีของมีเทนอยู่ที่ 9.4% ซึ่งเมื่อนำค่านี้ไปคำนวณเพื่อหาสัดส่วนของสารผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงหรือที่เรียกว่า Air-Fuel Ratio (A/F) จะได้เท่ากับ 17.21 หากสัดส่วนในห้องเผาไหม้มีค่ามากกว่านี้แสดงว่ามีอากาศมากเกินไปซึ่งเรียกว่า Lean Mixture ในขณะที่หากค่า A/F ต่ำกว่า 17.21 จะเรียกว่า Rich Mixture สำหรับก๊าซชีวภาพที่มีมีเทนอยู่ร้อยละ 60 สามารถเขียนสมการในห้องเผาไหม้ตามทฤษฎีได้ว่า

$$CH_4+0.67CO_2+2O_2+7.52N_2 \rightarrow 2H_2O+1.67CO_2+7.52N_2$$

จากสมการจะพบว่าอากาศและเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 6.03 ทั้งนี้สัดส่วน A/F ตามทฤษฎีเมื่อความเข้มข้นของมีเทนมีค่าต่างๆ กัน

ดังนั้นสามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญของก๊าซชีวภาพที่ความดัน 1 บรรยากาศอุณหภูมิ 0 °ซ ได้ดังนี้

ปริมาณมีเทน	65-70	%
ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์	30-35	%
ค่าความร้อน	21.60	เมกะจูล/ม.^{3}
ความเร็วเปลวไฟ	25	ซม./วินาที
อัตราส่วนอากาศต่อก๊าซชีวภาพ	6.03	ม.^{3}/ม.^{3}
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650	°ซ
ค่าความจุความร้อน	1.6	กิโลจูล/ม.^{3}-°ซ
ความหนาแน่น	1.15	กก./ม.^{3}

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

จากคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซเหล่านี้ล้วนแต่มีผลต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในบริเวณระบบก๊าซชีวภาพดังนี้

(ที่มา : ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ กรมควบคุมมลพิษ : http://msds.pcd.go.th/Index.asp)

ก๊าซมีเทน (CH_4)

สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไป จะก่อให้เกิดอาการหายใจติดขัดอย่างรุนแรง ปวดศีรษะ วิงเวียน และอาจหมดสติได้

สัมผัสทางผิวหนัง : ไม่ปรากฏว่าเป็นอันตรายเมื่อสัมผัสถูกผิวหนัง

กินหรือกลืนเข้าไป : ไม่ปรากฏว่าเป็นอันตรายเมื่อกลืนกินเข้าไป และยากที่จะกลืนกินเข้าไปเนื่องจากเป็นก๊าซ

สัมผัสถูกตา : อาจเกิดการระคายเคืองได้ เมื่อสัมผัสถูกตา

การก่อมะเร็ง : -

ความผิดปกติ,อื่น ๆ : -

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไปทำให้คลื่นไส้ หัวใจเต้นผิดปกติ ปวดศีรษะ มึนงง รบกวนการมองเห็น หายใจไม่ออก มีอาการชัก อาการโคม่า

สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสถูกผิวหนังจะเป็นแผลพอง เหมือนน้ำแข็งกัดกินหรือกลืนเข้าไป

กินหรือกลืนเข้าไป : การกลืนหรือกินเข้าไป มีอาการเหมือนน้ำแข็งกัดบริเวณริมฝีปาก ปาก และเยื่อเมือกจะมีผลทำลายตับ

สัมผัสถูกตา : การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง การมองเห็นไม่ชัดเจน

การก่อมะเร็ง : สารนี้เป็นสารก่อมะเร็งตาม OSHA , NTP , IARC

ความผิดปกติ,อื่น ๆ : -

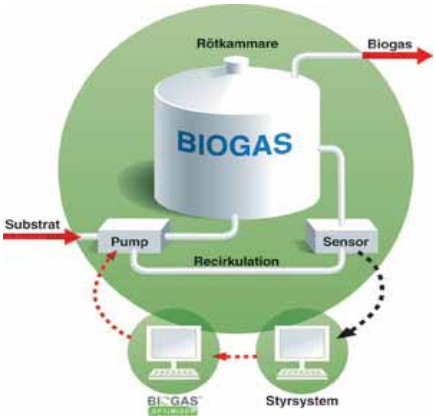
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

สัมผัสทางหายใจ :	การหายใจเข้าไปทำให้วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ ถ้าได้รับสารปริมาณ มากจะทำให้หมดสติ หรือมีอาการโคม่า อาจทำให้เสียชีวิตได้
สัมผัสทางผิวหนัง :	การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง
กินหรือกลืนเข้าไป :	-
สัมผัสถูกตา :	การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง โรคเยื่อบุตา อักเสบและเยื่อตาขาวได้รับบาดเจ็บ
การก่อมะเร็ง :	-
ความผิดปกติ,อื่น ๆ :	สารนี้ทำลายปอด ทรวงอก ระบบหายใจ ทางเดินอาหาร ไต ท่อไต กระเพาะปัสสาวะ และเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ

การผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas plants) ใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic digestion of the organic) เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพมีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่นำมาใช้ในการผลิต โรงผลิตก๊าซชีวภาพโดยทั่วไปจะใช้มูลสุกร น้ำเสียจากโรงงานแป้งมัน โรงงานปาล์ม โรงหมัก เบียร์ โรงกลั่นสุรา และโรงงานแปรรูปอาหาร รวมทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยพื้นฐานจะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของของเสียที่ใช้เป็นวัตถุดิบ หากใช้มูลสัตว์จะได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 20-22 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตัน (m3/tonne) ของน้ำหนักมูลสัตว์ และหากใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะได้ก๊าซชีวภาพ 2-200 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1ตันของปริมาณน้ำเสีย ปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้า นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเชื้อและแบคทีเรีย และศักยภาพของเจ้าหน้าที่เดินระบบ ปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีค่าสูงก็ต่อเมื่อค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีค่าสูง มีการบำบัดในถังที่มีการให้ความร้อน (Mesophilic process) และมีการปั่นหรือกวนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องดัง**รูปที่ 1-3**



รูปที่ 1-3 กระบวนการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นกลางต่อการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2-neutral fuel) แต่หากไม่มีการควบคุมการผลิตและการเก็บก๊าซชีวภาพที่ดีก็อาจทำให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกปริมาณมากออกสู่บรรยากาศได้ ต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวอย่างเช่นโรงผลิตก๊าซชีวภาพของประเทศเดนมาร์กมีค่าประมาณ 5 ยูโรต่อการปล่อยก๊าซเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 ตัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีกลิ่นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขยะสารอินทรีย์ดิบ

ในคู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน มีรายละเอียด ดังนี้

1.3 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรและการแปรรูป

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียประเภทอินทรีย์ และจำเป็นต้องมีการบำบัดโดยระบบชีวภาพแบ่งเป็นแบบใช้และไม่ใช้อากาศ (Aerobic and Anaerobic System) ในส่วนของการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศนั้นจะมีผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ ก๊าซมีเทนในปริมาณต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียนั้นๆ และประเภทกิจการของโรงงานด้วย

การผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆ ต้องพิจารณาว่าน้ำเสียมีคุณสมบัติและปริมาณที่เหมาะสมที่จะผลิตก๊าซชีวภาพหรือไม่ และต้องพิจารณาด้วยว่าก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ทดแทนพลังงานในกระบวนการผลิตได้มากน้อยเพียงไร โดยวิธีการนำ ก๊าซชีวภาพไปใช้มีหลายวิธี ได้แก่ การใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ การเผาไหม้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิต การผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น น้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงจะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูง และทำให้น้ำเสียนั้นมีความเหมาะสมนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ ดัง**ตารางที่ 1-11** แสดงประเภทอุตสาหกรรมที่มีน้ำเสียเหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าซีโอดีสูงมาก

น้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีความเข้มข้นซีโอดีสูงกว่า 1,000 มก./ล. ทำให้การบำบัดเบื้องต้นด้วยระบบไม่ใช้อากาศเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด นอกจากการพิจารณาว่าค่าซีโอดีของน้ำเสียที่สูงซึ่งเหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว จำเป็นต้องพิจารณาว่าโรงงานมีความต้องการพลังงานในกระบวนการผลิตมากน้อยอย่างไร ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถนำไปทดแทนเชื้อเพลิงได้หรือไม่

ตารางที่ 1-11 ประเภทน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีความเหมาะสมบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัด

ประเภทอุตสาหกรรม	ค่าซีโอดี (มก. / ลิตร)
โรงงานสุรา	30,000 -50,000
โรงงานน้ำมันปาล์ม	10,000 –47,000
โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ	8,000- 10,000

ตารางที่ 1-11 ประเภทน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีความเหมาะสมบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัด (ต่อ)

ประเภทอุตสาหกรรม	ค่าซีโอดี (มก. / ลิตร)
โรงงานผลิตวุ้นเส้น	20,000
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง	1,500-15,000
โรงงานผลิตซอสและซีอิ๊ว	3,000-8,000
โรงงานผลิต Lactrose	50,000
โรงงานผลิตกะทิกระป๋อง	4,000-8,000

ถ้าได้ก็จะทำให้การนำระบบหมักผลิตก๊าซชีวภาพมีความเหมาะสมมากขึ้น การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์โดยตรงและง่ายที่สุด คือ การนำไปเผาให้ความร้อนในการผลิตไอน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า และขับเคลื่อนเครื่องจักรกล แต่จะยุ่งยากและมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการนำไปเผาเพื่อผลิตความร้อน การนำกระบวนการหมักผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรม จำเป็นต้องคำนึงถึงการบำบัดขั้นสองด้วย เพื่อให้ได้น้ำเสียที่บำบัดแล้วได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

การพิจารณาประยุกต์ใช้ระบบหมักผลิตก๊าซชีวภาพกับน้ำเสียอุตสาหกรรม มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายการบำบัด และลดการใช้พลังงานของโรงงาน รูปแบบระบบหมักส่วนใหญ่เป็นบ่อหมัก โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศนอกจากสูญเสียก๊าซชีวภาพแล้ว ยังมีปัญหากลิ่นเหม็นรบกวนจากบ่อหมัก และต้องการพื้นที่มากในการสร้างบ่อหมัก

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนถูกนำมาใช้ในการกำจัดตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ทั้งนี้เพื่อลดปริมาตรและทำให้ตะกอนคงสภาพดีขึ้นในประเทศเมืองหนาวจะนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปเผา ความร้อนที่ได้จะนำไปใช้อุ่นน้ำเสียให้คงที่ประมาณ 37 ^{O}C ระบบผลิตก๊าซหรือบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีรูปหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้อยู่ในประเทศมี แบบหลัก 6 แบบ

- ระบบหมักแบบตัวกลางกรอง (Anaerobic Filter, AF)
- ระบบหมักแบบคอนแทค (Anaerobic Contact, AC)
- ระบบหมักแบบยูเอเอสบี (Anaerobic Upflow Sludge Blanket, UASB)
- ระบบหมักแบบซีเอสทีอาร์ (Completely Stirred Tank Reactor, CSTR)
- ระบบหมักแบบเอบีอาร์ (Anaerbic Baffled Reactor, ABR)
- ระบบหมักแบบเอ็มซีแอล (Modified Covered Lagoon, MCL)

AF

Anaerobic Filter

AC

Anaerobic Contact

UASB

Upflow Anaerobic Sludge Blanket

CSTR

Completely Stirred Tank Reactor

ABR

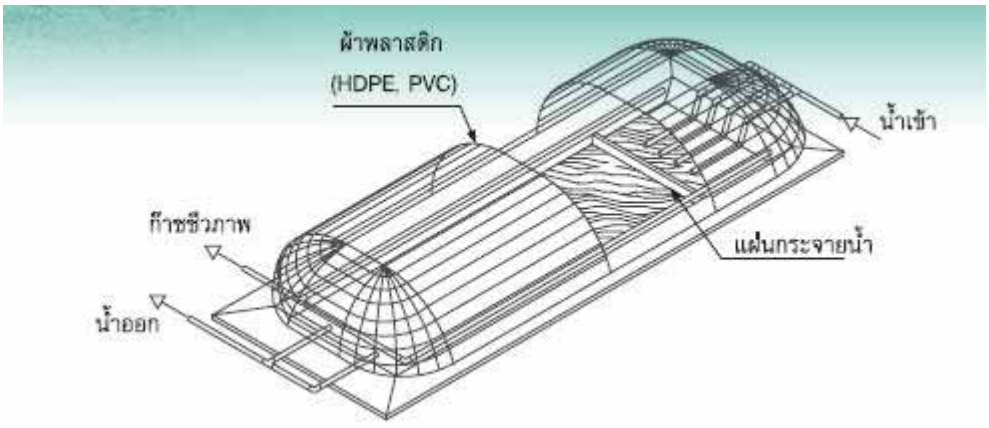
Anaerbic Baffled Reactor

MCL

Modified Covered Lagoon

1.3.1 Modified Covered Lagoon (MCL)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Modified Covered Lagoon มีลักษณะเป็นสระหรือบึงรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการคลุมด้วยแผ่นพลาสติกจำพวก High Density Polyethylene (HDPE) หรือแผ่นพีวีซี (PVC) เพื่อให้เกิดสภาพไม่ใช้อากาศ และใช้เป็นตัวเก็บรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยอาจคลุมทั้งบ่อหรือคลุมเฉพาะในส่วนที่มีการสร้างมีเทนก็ได้ ระบบ Modified Covered Lagoon เป็นระบบที่ก่อสร้างง่ายและสะดวกในการเดินระบบ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีการเติมอากาศ ไม่มีการให้ความร้อนและไม่มีการกวน ปกติความลึกของบ่อจะกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 6 ม. หรือมากที่สุดเท่าที่จะขุดได้ ระบบ Modified Covered Lagoon เป็นระบบที่ต้องอาศัยเวลากักเก็บน้ำที่ยาวนานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี รูปแบบการทำงานของระบบ Modified Covered Lagoon แสดงได้ดัง**รูปที่ 1-4** และมีรูปร่างขณะที่ใช้งานจริงในโรงงานแสดงดัง**รูปที่ 1-5**



รูปที่ 1-4 องค์ประกอบของระบบ MCL

รูปที่ 1-5 ระบบ Modified Covered Lagoon ในโรงงาน

ระบบบำบัดแบบ Modified Covered Lagoon สามารถใช้ได้กับทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรมหรือน้ำเสียชุมชน โดยน้ำเสียที่เหมาะกับระบบ Modified Covered Lagoon ควรมีปริมาณของของแข็งทั้งหมดร้อยละ 0.5-3.0 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบจะสูงกว่าร้อยละ 60 อย่างไร ก็ตาม ระบบ Modified Covered Lagoon มีความสามารถในการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ต่ำ เมื่อเทียบกับระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแบบอื่นๆ โดยสามารถรับอัตราภาระบรรทุกซีโอดีได้สูงสุดประมาณ 1-2 กก./ม $^{3.}$ -วัน เท่านั้น ในขณะที่ระบบอื่นสามารถรับอัตรา ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ถึง 4-10 กก./ม $^{3.}$ -วัน จึงส่งผลให้การก่อสร้างระบบ Modified Covered Lagoon ต้องการพื้นที่ในการสร้างมากกว่าในระบบอื่นๆ

ในการทำงานของระบบ จะถูกออกแบบให้น้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบทางด้านล่างของบ่อแล้วผสมเข้ากับตะกอน แบคทีเรียที่ตกตะกอนอยู่บริเวณก้นบ่อ จากนั้นให้ไหลไปตามแนวยาวของบ่อ โดยระบบรวบรวมน้ำออกจะอยู่ด้านบนของบ่อในอีกฝั่งหนึ่ง อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่ผ่านระบบ Modified Covered Lagoon ยังไม่สามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดต่อในระบบบำบัดขั้นหลัง แบคทีเรียในระบบ Modified Covered Lagoon จะประกอบด้วยแบคทีเรีย ที่อยู่ในสภาวะไม่ใช้อากาศทั้งสองแบบคือแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน ในบางครั้งจะมีการสร้างกรดในปริมาณที่มากเกินไป แต่ไม่มีผลกระทบต่อระบบรุนแรงมากนัก เนื่องจากบ่อที่มีขนาดใหญ่และเวลาเก็บกักน้ำที่ยาวนาน จึงทำให้แบคทีเรีย ในระบบมีเวลาปรับตัว อย่างไรก็ตามไม่ควรปล่อยให้ระบบอยู่ในสภาวะรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงเกินขีดจำกัดเป็นเวลานาน เพราะแบคทีเรียอาจจะไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะนั้นได้

การควบคุมและดูแลรักษาระบบทำได้ง่ายและไม่ยุ่งยากเป็นระบบที่เหมาะกับฟาร์มเลี้ยงสัตว์หรือชุมชนซึ่งต้องการระบบที่ไม่สลับซับซ้อน นอกจากนี้หากไม่คิดรวมราคาที่ดิน ราคาในการก่อสร้างถูกกว่าระบบอื่นๆ ข้อดีและข้อจำกัดของ ระบบ Modified Covered Lagoon ประกอบด้วย

ข้อดี

- เหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมการเกษตรที่ต้องช่วงเวลาหยุดการทำงาน 2-3 เดือน
- ก่อสร้างได้ง่ายและประหยัดค่าก่อสร้าง ไม่ต้องมีอุปกรณ์ติดตั้งเพิ่มเติมในบ่อ
- ระบบมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์หรือสารพิษเนื่องจากระบบมีขนาด ความจุมากและมีเวลากักเก็บตะกอนนาน
- เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยหรือไขมันสูง
- ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบสูง
- สามารถสร้างบ่อในลักษณะบ่ออนุกรมได้
- ต้องการการดูแลรักษาน้อย

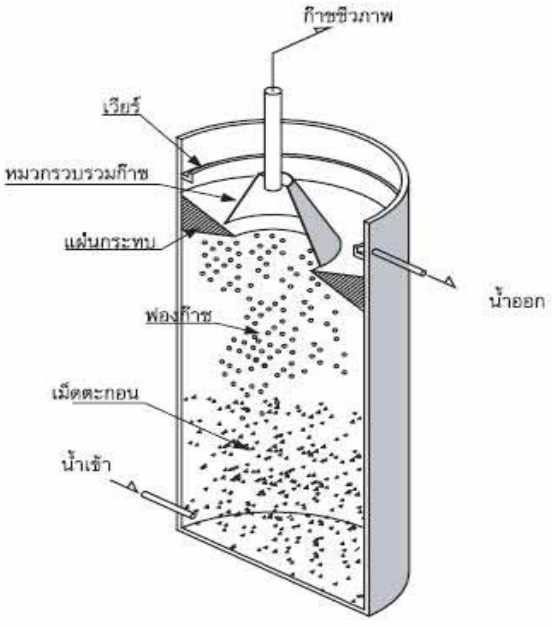
ข้อจำกัด

- การกวนผสมในระบบและการกระจายของน้ำเสียเข้าในบ่อไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ
- ต้องการพื้นที่มาก จึงไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีราคาที่ดินสูง
- อาจมีการซึมของน้ำเสียในบ่อลงสู่ใต้ดิน หากไม่มีการป้องกันในการออกแบบ
- ปริมาณก๊าซที่ได้น้อยเมื่อเทียบกับปริมาตรบ่อหมักกับระบบอื่น
- กรณีที่ก๊าซชีวภาพยังไม่เกิด จะมีปัญหาเกี่ยวกับการท่วมขังของน้ำบนผ้าพลาสติกคลุมบ่อ ซึ่งต้องมีการสูบน้ำออก

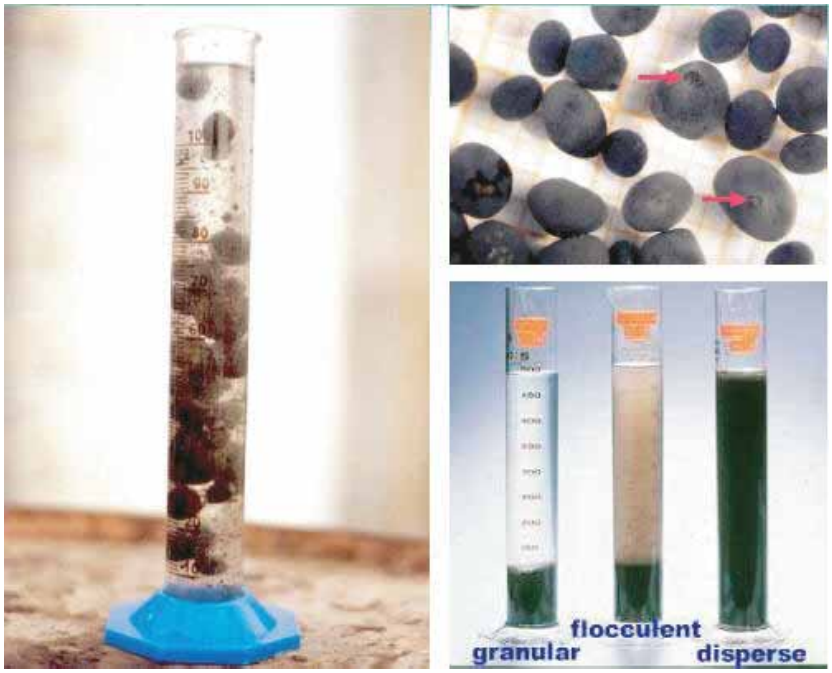
1.3.2 ยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB)

ระบบยูเอเอสบีเป็นถังปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศชนิดหนึ่ง โดยมีลักษณะทิศทางการไหลของน้ำเสียจากด้านล่างของถังขึ้นสู่ด้านบน หลักการในการเดินระบบจะมีการเลี้ยงตะกอนแบคทีเรียให้สามารถสะสมอยู่ในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศจำนวนมากและมีปริมาณตะกอนที่หลุดออกจากระบบน้อย โดยไม่ใช้ตัวกลางเพื่อให้ตะกอนเกาะติด ทั้งนี้ตะกอนแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังจะรวมตัวกันในรูปของเม็ดตะกอน (Granule) จนมีน้ำหนักมากตกตะกอนได้ดี เกิดเป็นลักษณะเป็นชั้นตะกอนในบริเวณด้านล่างของถัง ทั้งนี้ขนาดของเม็ดตะกอนจะขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียที่จ่ายเข้าสู่ระบบ

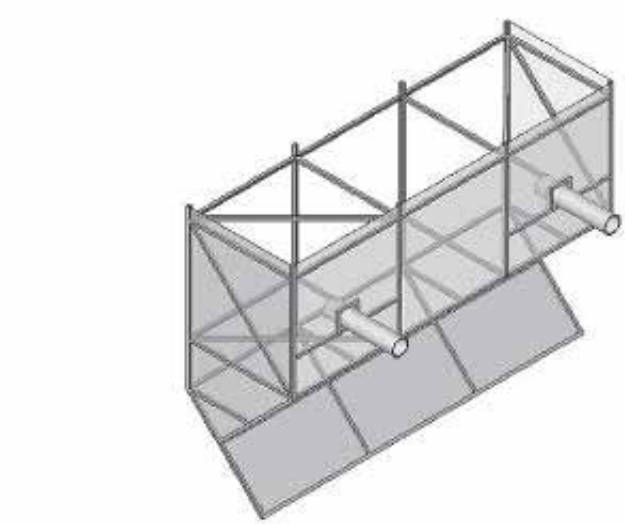
กลไกการทำงานและลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบแสดงได้ดัง**รูปที่ 1-6** และ **1-7** ตามลำดับ เนื่องจาก มีตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็กและตกตะกอนไม่ได้ปะปนอยู่ในระบบ การที่จะรักษาตะกอนส่วนนี้ไว้ โดยจะติดตั้งส่วนตกตะกอนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำเสีย ตะกอนแบคทีเรียและก๊าซชีวภาพออกจากกัน (Gas-Solid Separator, GSS) ไว้ตอนบนของถังหมัก เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนหลุดออกไปจากถังและเป็นการเพิ่มเวลาเก็บกักตะกอนในถังปฏิกิริยาให้นานขึ้นซึ่งลักษณะของ GSS แสดงได้ดัง**รูปที่ 1-8**



รูปที่ 1-6 องค์ประกอบในระบบยูเอเอสบี



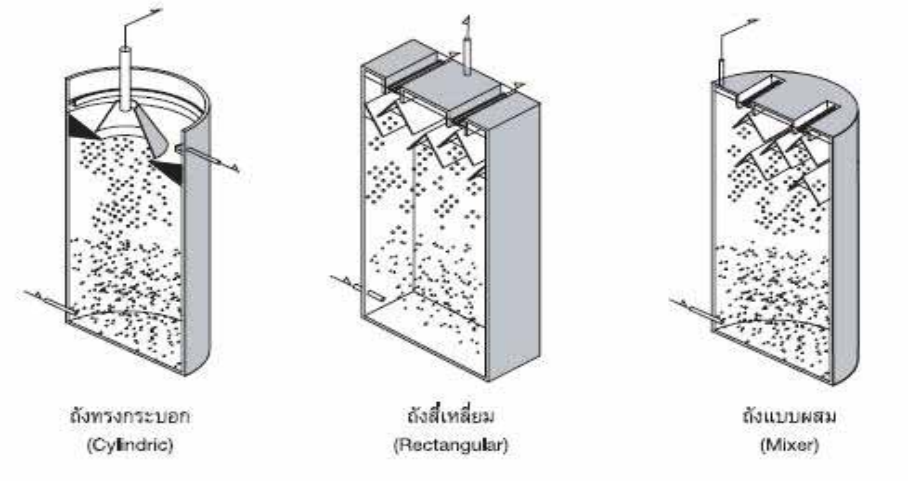
รูปที่ 1-7 ภาพเม็ดตะกอนและการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการตกตะกอน



รูปที่ 1-8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำเสีย ตะกอนแบคทีเรีย และก๊าซชีวภาพ (Gas-Solid Separator, GSS)

การที่ระบบยูเอเอสบีมีลักษณะกลไกการทำงานเช่นนี้ จะเป็นการแก้ไขปัญหาการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในอดีต โดยป้องกันไม่ให้ตะกอนแบคทีเรีย (Biomass) หลุดไปกับน้ำออก (Effluent) มีระยะเวลากักเก็บตะกอน เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ระบบมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพดีกว่าในอดีต

ลักษณะของถังยูเอเอสบีที่นิยมสร้างโดยทั่วไปจะเป็นถังปิดรูปทรงสี่เหลี่ยมทั้งแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส และรูปทรงกระบอก ดัง**รูปที่ 1-9**



รูปที่ 1-9 ลักษณะรูปร่างถังยูเอเอสบีแบบต่างๆ

บริเวณด้านบน โดยมีกลไกและลักษณะการทำงานของส่วนต่างๆ ดังนี้ 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นถังปฏิกิริยา พร้อมด้วยระบบกระจายน้ำเสียซึ่งจะอยู่ทางด้านล่างของถังและส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซบริเวณด้านบน โดยมีกลไกและลักษณะการทำงานของส่วนต่างๆ ดังนี้

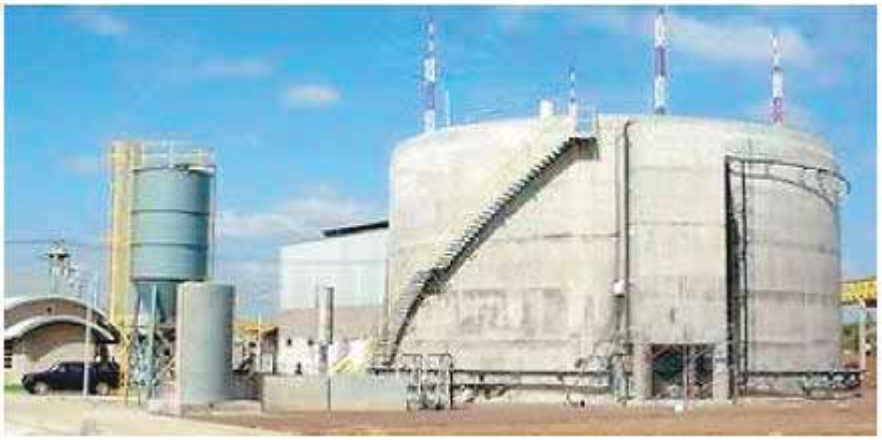
ก . ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาจะอยู่ทางด้านล่างของถังซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ การไหลของน้ำเสีย ในถังจะเป็นการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน มีการป้อนน้ำเสียจะป้อนเข้าทางด้านล่างของถังยูเอเอสบีผ่านทางระบบการกระจายน้ำเสีย ซึ่งการกระจายน้ำเข้าถังจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดของถัง การเลี้ยงเชื้อ แบคทีเรียในถังยูเอเอสบีจะควบคุมให้ตะกอนสะสมเป็นชั้นตะกอนที่มีความหนาแน่นน้ำเสียที่ต้องการบำบัด จะไหลผ่านชั้นตะกอน แบคทีเรียในชั้นตะกอนซึ่งอยู่กันอย่างหนาแน่นจะเกิดการรวมกันเป็นเม็ด (Granule) โดยเม็ดตะกอนที่มีความหนาแน่นสูงจะจมตัวอยู่ด้านล่าง มีการจัดเรียงตัวจากขนาดใหญ่ขึ้นไปหาเล็กเหมือน ชั้นทรายกรอง ส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่าฟุ้งกระจายขึ้นมาเป็นชั้นตะกอนแขวนลอย โดยฟองก๊าซที่เกิดขึ้นและการไหลของน้ำที่เข้ามาจากด้านล่างดของถังจะช่วยทำให้เกิดการผสมขึ้น

ข . ส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมและลดปริมาณเซลล์แบคทีเรียที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง และทำหน้าที่รวบรวมก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จึงมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกก๊าซ (GSS) น้ำเสียและแบคทีเรียในรูปตะกอนแขวนลอยไว้ด้านบนของถังซึ่งจะเรียกว่าเป็นอุปกรณ์ Gas-Solid Separator หรือ GSS โดยการออกแบบหลายลักษณะตามขนาดและรูปร่างของถังปฏิกิริยา แต่ใช้หลักการออกแบบเดียวกันคือ

- แยกน้ำกับก๊าซโดยอาศัยหลักการที่ว่าน้ำสามารถไหลเลี้ยวไปมาได้ ในขณะที่ก๊าซมีการลอยตัวจากด้านล่าง ขึ้นสู่ด้านบนเป็นเส้นตรงเท่านั้น ยกเว้นมีสิ่งกีดขวางหรือแผ่นปะทะใดๆ มาเปลี่ยนทิศทางการลอยตัวขึ้น หลังจากผ่านพ้นสิ่งกีดขวางนั้นแล้วก็จะลอยตัวเป็นเส้นตรงดังเดิม จึงออกแบบและติดตั้งแผ่นปะทะเพื่อขวางทิศทางการไหล ทำให้น้ำและก๊าซมาปะทะ แล้วเบี่ยงเบนการไหลของน้ำและก๊าซออกจากกัน

- แยกตะกอนออกจากน้ำโดยทำให้เกิดการตกตะกอนของตะกอนแบคทีเรียที่ไหลขึ้นมา การแยกตะกอนจะเกิด ในส่วนบนสุดของถัง โดยในส่วนนี้จะไม่มีก๊าซ มีความปั่นป่วนต่ำ สามารถแยกน้ำและตะกอนได้โดยง่าย ดังนั้น GSS จึงต้องมีพื้นที่ส่วนที่เป็นน้ำนิ่งเพียงพอที่ตะกอนจะตกกลับมายังถังปฏิกิริยาได้

ปัจจุบันระบบยูเอเอสบีได้รับความสนใจมากขึ้น ดังมีตัวอย่างของการสร้างระบบยูเอเอสบีขนาดใหญ่ในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ดัง**รูปที่ 1-10** เนื่องจากสามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆ โดยมีประสิทธิภาพในการ กำจัดซีโอดีสูง



รูปที่ 1-10 ระบบยูเอเอสบีในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

ข้อดีและข้อจำกัดของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียมีดังนี้

ข้อดี

- ไม่ต้องใช้สารตัวกลางสำหรับให้แบคทีเรียเกาะทำให้ลดค่าใช้จ่ายลง
- เกิดตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินน้อย เนื่องจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ
- สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูง
- น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีของแข็งแขวนลอยต่ำ (ตะกอน)
- ใช้สารเคมีในการปรับพีเอชน้อย ขึ้นอยู่กับความเป็นด่างและพีเอชของน้ำเข้า
- ไม่มีปัญหาเรื่องการอุดตันของถังปฏิกิริยาเนื่องจากแบคทีเรียจะรวมกันเป็นเม็ดที่แน่นและตกตะกอนได้ดี
- สามารถหยุดระบบได้ทันทีที่ต้องการ และพร้อมจะทำงานต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพดังเดิม ในเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

ข้อจำกัด

- ต้องเลี้ยงแบคทีเรียให้จับตัวเป็นเม็ด มิฉะนั้นจะด้อยประสิทธิภาพ
- ต้องพยายามรักษาตะกอนของแบคทีเรียในระบบให้เหมาะสม และควบคุมสภาวะที่ตะกอนเบาหลุดออกจากระบบอย่างมาก (Wash Out)

- ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ (Start-Up) ค่อนข้างนาน
- แบคทีเรียโดยเฉพาะพวกผลิตก๊าซมีเทน มีความสามารถเจริญเติบโตได้ดี ในช่วงสภาวะเหมาะสมที่แคบ เช่น พีเอช 6.5-7.2
- น้ำที่ผ่านการบำบัดยังไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง ต้องการระบบบำบัดขั้นสุดท้ายก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

1.3.3 ถังกรองไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Filter)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไม่ใช้อากาศมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกหรือสี่เหลี่ยมสูง ภายในบรรจุตัวกลาง เพื่อให้แบคทีเรียเกาะ โดยถังกรองไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Filter) จะมีการบรรจุตัวกลางทั้งแบบสุ่มไม่เป็นระเบียบ (Random Pack) และใช้ตัวกลางเป็นชุด (Module) วางอย่างเป็นระเบียบ โดยมีทั้งแบคทีเรียที่จับผิววัสดุและที่ถูกกักอยู่ระหว่างช่องว่างของตัวกลาง โดยแบคทีเรียที่อยู่ในระบบมีทั้งแบคทีเรียที่จับผิววัสดุและที่ถูกกักอยู่ระหว่างช่องว่างของตัวกลาง

ถังกรองไม่ใช้อากาศสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่แขวนลอยและสารละลายที่มีอยู่ในน้ำ โดยการดึงสารอินทรีย์เข้ามาใกล้ผิวแบคทีเรียที่เกาะติดอยู่บนผิวตัวกลาง นอกจากนี้อาจมีแบคทีเรียบางส่วนอาศัยการเกาะติดบนผนังของถังปฏิกิริยา ตัวกลางที่ใช้ในระบบถังกรองไม่ใช้อากาศ สามารถใช้ได้หลากหลายแบบ เช่น กรวดหิน โฟม พลาสติก เป็นต้น โดยตัวกลางที่ดี จะต้องมีพื้นที่ผิวสูง เพราะทำให้มีบริเวณที่ให้แบคทีเรียอาศัยได้มาก ปกติตัวกลางที่ใช้จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface Area) อยู่ในช่วง 90-300 $ม^2$./ $ม^3$. ปริมาตรตัวกลาง ในช่วงแรกแบคทีเรียจะเป็นชนิดที่เกาะติดบนตัวกลางอย่างเดียว เมื่อระบบเดินไปได้ระยะหนึ่งจะมีแบคทีเรียที่หลุดและเติบโตอยู่ในช่องว่างของตัวกลางในลักษณะแขวนลอย ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวกลางจะมี ความสำคัญน้อยกว่าความสามารถในการรักษาตะกอนเหล่านี้ไว้ การทำงานของตัวกลาง (Media) ภาพแสดงได้ดัง**รูปที่ 1-11**

รูปที่ 1-11 ลักษณะการเกาะของฟิล์มชีวภาพ

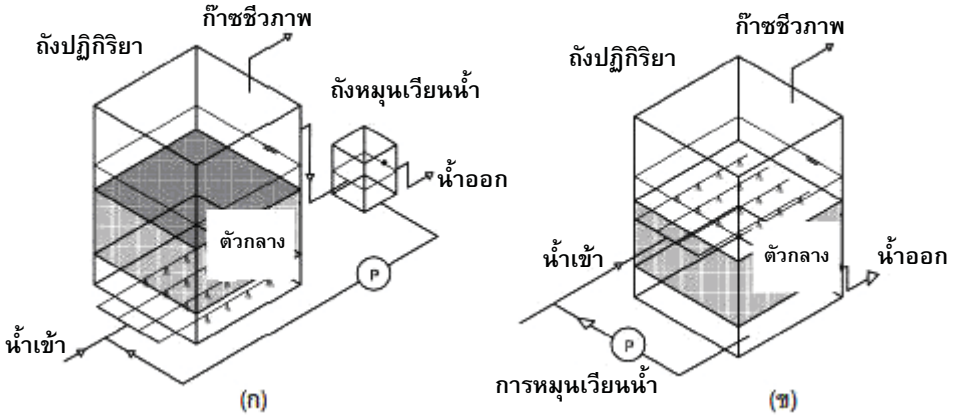
ถังกรองไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงมาก สามารถบำบัดน้ำเสียทั้งที่มีบีโอดีและ ซีโอดีสูงไปจนถึงน้ำเสียชุมชนทั่วไปที่มีค่าบีโอดีและซีโอดีต่ำ โดยอาศัยการเกาะติดของแบคทีเรียบนตัวกลางช่วยป้องกันการชะล้างแบคทีเรียออกจากระบบทำให้ระบบมีเวลาการกักเก็บตะกอนสูงเป็นการเพิ่ม

ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ให้สูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถฟื้นตัวได้เร็ว อีกทั้งยังทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดีกว่าเชื้อที่แขวนลอย

หลักการในการทำงานของระบบถังกรองไม่ใช้อากาศคือ การให้น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ไหลผ่านตัวกลางที่มีแบคทีเรีย เกาะอยู่บนผิวตัวกลาง โดยมีทิศทางการไหลขึ้นหรือไหลลง สำหรับตัวกลางที่ดีที่ใช้ในถังกรองไม่ใช้อากาศจะต้องมีพื้นที่ผิวและความพรุนมาก ซึ่งหมายถึงการที่มีค่าขนาดพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของตัวกลางสูง (ม $^{2.}$ /ม $^{3.}$) ตัวอย่างของระบบถังกรองไม่ใช้อากาศแสดงได้ดัง**รูปที่ 1-12**

รูปที่ 1-12 ตัวกลางที่มีใช้กันในถังกรองไม่ใช้อากาศ

ส่วนประกอบของถังกรองไม่ใช้อากาศความสูงของถังมีตั้งแต่ 0.45 ม. จนถึง 6 ม. ภายในถังบรรจุวัสดุตัวกลาง ซึ่งถังกรองไม่ใช้อากาศขนาดเล็กมักใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนโดยไม่มีการนำก๊าซที่ได้มาใช้ เนื่องจากมีปริมาณน้อยมาก ระบบกระจายน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศจะต้องออกแบบให้น้ำเสียไหลผ่านช่องว่างของตัวกลางได้ทั่วถึงกัน นอกจากนี้จะต้องมีการทำระบบป้องกันการไหลลัดทางของน้ำเสีย ซึ่งมักจะเป็นการไหลไปตามผนังภายในถังกรองไม่ใช้อากาศ ซึ่งวิธีการแก้ไขโดยการติดตั้งแผ่นบัฟเฟอร์กั้นไว้ ลักษณะของตะกอนแบคทีเรียในระบบกรองไม่ใช้อากาศจะมีทั้งที่เกาะติดกับตัวกลางและรวมตัวกันเป็นตะกอน ฟล๊อคอยู่ตามช่องว่างของตัวกลาง ซึ่งตะกอนกลุ่มนี้มีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาตามการเคลื่อนที่ของน้ำเสียและก๊าซที่เกิดขึ้น โดยทิศทางการไหลของน้ำในถังกรองไม่ใช้อากาศสามารถไหลได้ 2 แบบคือการไหลขึ้นหรือไหลลงดัง**รูปที่ 1-13** โดยที่นิยมสร้างและใช้งานกันในประเทศไทยจะเป็นแบบไหลขึ้น



รูปที่ 1-13 ถังกรองไม่ใช้อากาศแบบ (ก) ไหลขึ้น (ข) ไหลลง

ถังกรองแบบไม่ใช้อากาศสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้หลายประเภท ทั้งที่มีความเข้มข้นต่ำและสูงตั้งแต่ 4,000-130,000 มก./ล. โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของระบบได้แก่ ชนิดของวัสดุรองรับ อัตราส่วนระหว่างพื้นผิวกับปริมาตร อุณหภูมิ การกวนผสมของของเหลวในถัง โดยปัญหาที่มักพบบ่อยในการเดิน ระบบชนิดนี้คือต้องหาวิธีกระจายน้ำเสียให้ไหลเข้าถังอย่างสม่ำเสมอ และมักจะมีการอุดตันเนื่องจากการสะสมของของแข็ง ทางด้านล่างเมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดการไหลลัดวงจร ตัวอย่างของระบบถังกรองไม่ใช้อากาศ ดัง**รูปที่ 1-14** ซึ่งเป็นของระบบถังกรองไม่ใช้อากาศในโรงงานแป้งข้าวเจ้า

รูปที่ 1-14 ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศในโรงงานผลิตแป้งข้าวเจ้า

สำหรับข้อดีและข้อจำกัดของระบบถังกรองไม่ใช้อากาศสามารถสรุปได้ดังนี้

ข้อดี

- มีความต้องการอาหารเสริมน้อยกว่าระบบบำบัดสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนอิสระ
- มีระยะเวลาการสะสมของตะกอนแบคทีเรียสูง เนื่องจากแบคทีเรียจะสะสมอยู่บนตัวกลาง ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงตามไปด้วย

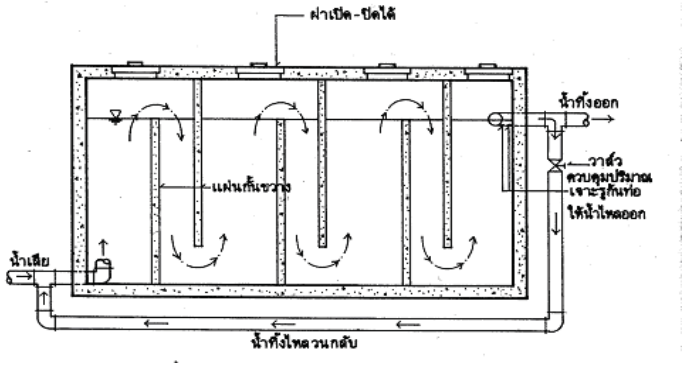
- ไม่ต้องมีการหมุนเวียนตะกอนกลับ เพราะตัวกลางภายในระบบจะดักตะกอนไว้ภายในระบบอยู่แล้ว
- ลดปัญหาการกำจัดกากตะกอน เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายจะถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์แบคทีเรียประมาณร้อยละ 5-10 ในขณะที่ระบบใช้ออกซิเจนอิสระสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นเซลล์ใหม่ประมาณ 30-50
- ระบบสามารถทำงานได้ดีหลังจากที่หยุดทำงานไป 15 วัน โดยไม่ต้องเริ่มต้นเลี้ยงแบคทีเรียใหม่

ข้อจำกัด

- ใช้เวลาในการเริ่มต้นเลี้ยงแบคทีเรียนาน เพราะแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตช้า
- ระบบจะมีประสิทธิภาพลดลงมาก ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม
- น้ำทิ้งจะมีกลิ่นเหม็นและมีสีดำอันเนื่องมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่มีกลิ่น เมื่อทำปฏิกิริยากับสาร ประกอบโลหะต่างๆ ในน้ำทิ้งจะทำให้เกิดสารประกอบสีดำ
- ต้องการวัสดุตัวกลางซึ่งมีราคาสูง
- ไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงเพราะอาจเกิดการสะสมและอุดตันของสารแขวนลอยในระบบ
- เมื่อใช้งานไปนานๆ อาจมีตะกอนแบคทีเรียสะสมอยู่ในปริมาณสูงทำให้มีการอุดตันในบางตำแหน่งและเกิดการไหลลัดทางขึ้นได้

ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Baffled Reactor)

ระบบน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถังหรือบ่อดินที่มีแผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะเป็นในลักษณะไหลขึ้นลงสลับกันหลายครั้ง โดยมีความเร็วในการไหลขึ้นลงประมาณ 0.2-0.4 เมตร/ชม. ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพจะคล้ายกับระบบ UASB ระบบนี้มีใช้อยู่ที่ บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา **ดังรูปที่ 1-15**



รูปที่ 1-15 ลักษณะการทำงานของระบบ Baffled Reactor

➤ **ถังปฏิกรณ์หมักแบบ (Anar Flecidi Bed, AFB)**

มีหลักการที่ทำให้เม็ดวัสดุขนาดเล็กลอยตัวเป็นอิสระในถังหมัก (Fluidization) โดยแบคทีเรียจะเกาะเป็นเมือกบนผิวเม็ดวัสดุ ระบบหมักแบบนี้อาจกล่าวได้ว่ามีประสิทธิภาพสูงมาก แต่มีข้อเสียที่มีความยุ่งยากในการออกแบบและควบคุมดูแล และมีค่าใช้จ่ายสูงทั้งการก่อสร้างระบบหมักและการควบคุมดูแล ทั้งนี้เนื่องจากต้องมีการหมุนเวียนอัตราส่วนน้ำไหลขึ้นที่สูงและคงที่ตลอดเวลาดังนั้น จึงทำให้ระบบหมักแบบนี้ไม่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม

➤ **ระบบหมักผสม (Hybird)**

เป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและช่วยเพิ่มเสถียรภาพของระบบหมักให้สูงขึ้น เช่น ระบบหมัก AF+UASB , AF+AC , AC+UASB , AC+AF+UASB เป็นต้น การใช้ระบบหมักผสมนี้อาจรวมถึงการประยุกต์ใช้ระบบหมักสองขั้นตอนด้วย ซึ่งเป็นการนำข้อดีของแต่ละระบบรวมเข้าด้วยกันเช่น ระบบหมัก AF+UASB จะทำให้ระบบหมักง่ายในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ เนื่องจากตัวกลางกรองทำหน้าที่ดักตะกอนแบคทีเรียไว้ในระบบ ส่วนการทำงานระยะยาวของระบบจะขึ้นกับการเกิดของตะกอนเม็ดแบคทีเรีย

ตารางที่ 1-12 การเปรียบเทียบจุดเด่น-จุดด้อยของระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ

ลำดับ	ชนิดระบบ	จุดเด่น	จุดด้อย
1	บ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ (Modified Covered Lagoon)	-ควบคุมดูแลได้ง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำ -ค่าก่อสร้างระบบ (ไม่รวมที่ดิน) ต่ำ -รับน้ำเสียที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอได้ -ก่อสร้างง่าย	- รับ (Organic Loading Rate ;OLR) ได้ต่ำ - การกวนผสมไม่ดี ประสิทธิภาพต่ำ - ต้องการพื้นที่มาก - มักพบการสะสมของตะกอนแข็ง ทำให้ต้องมีการขุดลอกบ่อบ่อยๆ - การนำก๊าซไปใช้งานค่อนข้างยาก - มีปัญหา Soil Contaminate
2	ถังกวนสมบูรณ์แบบไร้อากาศ (CSTR)	-รับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดี -ประสิทธิภาพการย่อยสลายสูง เนื่องจากการกวนผสมดี - รับน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของสารพิษได้ดี	- ต้องการพลังงานในการกวนผสม - ความเข้มข้นของน้ำเสียขาออกสูง - มีการสูญเสียจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูง

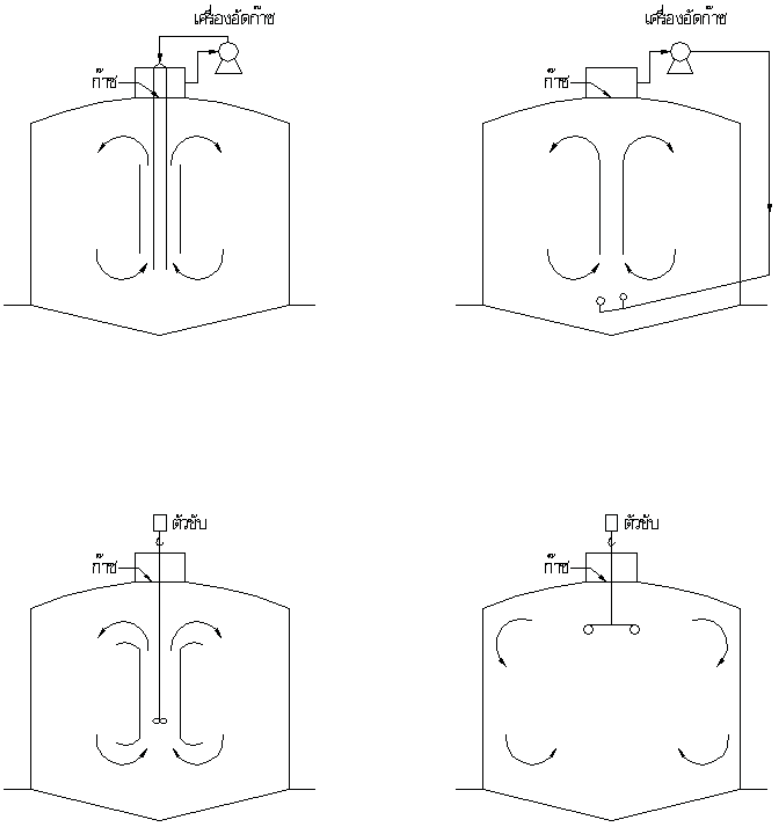
ตารางที่ 1-12 การเปรียบเทียบจุดเด่น-จุดด้อยของระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดระบบ	จุดเด่น	จุดด้อย
3	ถังกรองไร้อากาศ (AnaerobicFilter) และระบบแบบตรึงฟิล์ม (Anaerobic Fixed Film)	- รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง - มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพสูง - sludge retention time (SRT)สูง - ต้นทุนเดินระบบต่ำ เนื่องจากไม่ต้องมีการกวนผสม ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจึงต่ำ	- ต้นทุนระบบเพิ่มขึ้นจากค่าตัวกลาง - กรณีถังกรองไร้อากาศแบบเรียงตัวกลางไม่เป็นระบบ มักอุดตันได้ง่าย - ถังกรองไร้อากาศพบการไหลลัดวงจรและการกระจายตัวของน้ำเสียไม่ดี
4	ระบบยูเอเอสบี (UASB)	- รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง - ไม่มีปัญหาการอุดตัน (Clogging)	- น้ำเสียต้องมีสารแขวนลอยต่ำ - อัตราการสูญเสียจุลินทรีย์ (Washout) จากระบบสูง - การสร้างเม็ดตะกอนทำได้ยาก - ต้องการระบบป้อนน้ำเสียและ GSS ที่ประสิทธิภาพสูง - ควบคุมดูแลยาก
5	ระบบแผ่นกั้นแบบไร้อากาศ (Anaerobic Baffle Reactor)	- Contact Time นาน - สารอาหารแต่ละห้องต่างกันทำให้เหมาะสมกับการทำงานของเชื้อแต่ละกลุ่ม (Substrate Specificity)	- รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ต่ำ - พบปัญหาการสะสมของตะกอนแข็งในระบบ

อ้างอิงจาก : รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการประเมินศักยภาพเทคโนโลยี สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พฤศจิกายน พ.ศ. 2549 และรายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์, สถาบันวิจัยและพัฒนา พลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2550

➤ **ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ Completely Stirred Tank Reactor (CSTR)**

CSTR เป็นระบบบำบัดไร้อากาศ (Anaerobic Treatment) อาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายในถังที่ปิดมิดชิดไร้อากาศ และมีการกวนผสมภายในถังอย่างทั่วถึง (Mixing system) โดยการกวนผสมอาจเกิดจากก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่ถูกผลิตขึ้น การวนกลับ (Recirculation) ภายในถังปฏิกรณ์ หรือการกวนโดยใช้เครื่องกวนผสม (Mechanical Mixers) กระบวนการย่อยสลายที่มีประสิทธิภาพสูง (High-rate digesters)



รูปที่ 1-16 ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ Completely Stirred Tank Reactor (CSTR) ที่มีการกวนผสม (Mixing system) รูปแบบต่างๆ

ประเภท	ชนิดของระบบ ฯ	COD Loading (kgCOD/วัน)	ค่าก่อสร้างระบบ ฯ	ก๊าซชีวภาพที่ได้ (ลบ.ม./วัน)	ค่าดำเนินการ (บาท/วัน)	ลดค่าบำบัดน้ำเสีย (บาท/ปี)	การคืนทุน (ปี)	การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ทดแทน
แป้งมันสำปะหลัง	UASB	76,500	109,000,000	17,600	20,000	8,400,000	2.60	น้ำมันเตา
	AFF	76,500	121,500,000	17,600	20,000	8,400,000	2.90	น้ำมันเตา
	MCL	76,500	68,400,000	17,600	20,000	8,400,000	1.60	น้ำมันเตา
อาหารและเครื่องดื่ม	UASB	5,500	40,000,000	1,360	3,600	-	17.11	น้ำมันเตา
	AFF	5,500	44,000,000	1,360	3,600	-	18.76	น้ำมันเตา
	MCL	5,500	25,000,000	1,700	3,600	-	7.90	น้ำมันเตา
น้ำมันปาล์ม	UASB	75,400	81,000,000	14,800	21,000	-	5.00	ผลิตไฟฟ้าขาย
	CSTR	75,400	55,300,000	14,800	21,000	-	3.90	ผลิตไฟฟ้าขาย
	MCL	75,400	47,000,000	14,800	21,000	-	2.90	ผลิตไฟฟ้าขาย
สุราและยีสต์	UASB	96,300	124,400,000	9,300	5,200	4,620,000	4.20	น้ำมันเตา
	AFF	96,300	139,600,000	9,300	5,200	4,620,000	4.90	น้ำมันเตา
	MCL	96,300	83,200,000	9,300	5,200	4,620,000	2.90	น้ำมันเตา
ยางพารา	UASB	24,500	73,000,000	6,000	9,000	924,000	5.80	น้ำมันเตา
	AFF	24,500	84,500,000	6,000	9,000	924,000	6.70	น้ำมันเตา
	MCL	24,500	40,000,000	6,000	9,000	924,000	3.10	น้ำมันเตา
กระดาษ	UASB	40,300	116,500,000	8,000	31,000	16,800,000	4.10	น้ำมันเตา
	AFF	40,300	136,000,000	8,000	31,000	16,800,000	4.80	น้ำมันเตา
	MCL	40,300	57,000,000	8,000	31,000	16,800,000	1.70	น้ำมันเตา
เอทานอล	UASB	77,000	111,000,000	7,000	5,200	-	7.1	น้ำมันเตา
	AFF	77,000	122,000,000	7,000	5,200	-	7.8	น้ำมันเตา
	MCL	77,000	86,000,000	7,000	5,200	-	5.4	น้ำมันเตา

UASB = Upflow Anaerobic Sludge Blanket

AFF = Anaerobic Fixed Film

CSTR = Completed Stirring Tank Reactor

MCL = Modified Covered Lagoon

1.4 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

เทคโนโลยีในการผลิตก๊าซชีวภาพที่มาจากแหล่งขยะอินทรีย์ คือ ระบบการกำจัดมูลฝอยต้องเป็นระบบการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบ (Landfill) การหมักในถังแบบไร้อากาศ (Anaerobic digester) เป็นต้น

1.4.1 การกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบ (Landfill)

โดยทั่วไปเทคโนโลยีในการกำจัดมูลฝอยชุมชนส่วนมากเป็นการฝังกลบแบบถูกสุขาภิบาล ดังนั้นจะมีระบบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบมูลฝอยไว้ด้วย โดยการฝังกลบมูลฝอยจะทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ใน มูลฝอย โดยอาศัยจุลินทรีย์ทำให้เกิดก๊าซหลายชนิด และผลที่ได้จากการย่อยสลายคือ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ก๊าซเหล่านี้จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติที่ติดไฟง่าย และเบากว่าอากาศ ซึ่งก๊าซเหล่านี้สะสมตัวอยู่ใต้ดินมากๆ จะมีแรงดันเพื่อระบายออกสู่บรรยากาศภายนอกกองมูลฝอย ประกอบกับใต้ดินที่ฝังกลบไปแล้วจะมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง หากไม่มีการระบายก๊าซที่ดีพออาจทำให้เกิดการระเบิดหรือติดไฟได้ ในสภาวะปกติทั่วไปก๊าซที่เกิดจากการฝังกลบมูลฝอยจะระบายสู่บรรยากาศได้ 2 วิธี คือ

• **<u>โดยอาศัยแรงดันก๊าซ</u>** เมื่อเวลาผ่านไปมูลฝอยที่ถูกฝังกลบจะเกิดการย่อยสลายเกิดเป็นก๊าซต่างๆ ซึ่งจะทำให้ความดันก๊าซในชั้นมูลฝอยสูงกว่าความดันของก๊าซในบรรยากาศ มีผลทำให้การไหลของก๊าซไหลจากหลุม ฝังกลบมูลฝอยสู่บรรยากาศ เนื่องจากแรงดันก๊าซเองที่จะเคลื่อนที่จากที่ที่มีความดันสูงสู่ที่มีความดันต่ำกว่า

• **<u>โดยการแพร่</u>** ความเข้มข้นของก๊าซในหลุมฝังกลบมูลฝอยจะมีความเข้มข้นมากกว่าก๊าซในบรรยากาศ มีผลทำให้เกิดการแพร่ของก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอยสู่บรรยากาศ เนื่องจากการแพร่ของก๊าซจะแพร่จากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำ

การควบคุมการเคลื่อนที่ของก๊าซที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายในหลุมฝังกลบพบว่าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำ Sanitary landfill ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นส่วนมาก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน ก๊าซมีเทนสามารถเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนของชั้นดิน และอาจจะทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ แม้ระยะทางไกลจากแหล่งที่ทำการฝังกลบมูลฝอยถึง 6,000 ฟุต คุณสมบัติข้อหนึ่งของก๊าซมีเทน คือ สามารถจะเกิดระเบิดได้เมื่อมีความเข้มข้น 5-15 % ก๊าซมีเทนเป็นอันตรายต่อพืช ผัก ซึ่งอยู่ในบริเวณนั้น โดยจะไปดึงเอาออกซิเจนจากบริเวณรากพืช ส่วนผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คือจะไปเพิ่มความกระด้างให้แก่น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์จะละลายได้ในน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิค (Carbonic acid) ซึ่งสามารถละลายพวกแร่ธาตุที่อยู่ในมูลฝอย ดังนั้น น้ำที่อยู่ในบ่อที่อยู่ในบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอย จะเป็นน้ำกระด้าง การควบคุมการเคลื่อนที่ของก๊าซจะทำได้ 2 วิธีคือ

• ทำเป็นทางระบายของก๊าซ โดยใช้กรวด ทรายปิดทับมูลฝอยก๊าซที่เกิดขึ้นจะออกมาตามทางนี้ เพราะกรวด ทรายจะมีช่องว่างให้ก๊าซออกมาได้

• การใช้ท่อระบายก๊าซออกซึ่งท่อนี้จะต่อเข้ากับก๊าซส่วนที่ปิดทับมูลฝอย ซึ่งเป็นตัวปิดกั้นก๊าซ ดังนั้นก๊าซจะออกมาได้ตามท่อที่ต่อไว้ แต่มีข้อควรระวังคือ ท่อที่ต่อนั้นไม่ควรอยู่ใกล้สิ่งก่อสร้าง

1.4.2 การหมักมูลฝอยอินทรีย์ด้วยถังหมักไร้อากาศ (Anaerobic Digester)

กระบวนการหมักมูลฝอยอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยให้มีขนาดเล็กลงในขั้นตอนแรกจะถูกส่งมายังถังเตรียม (Feed preparation tank) เพื่อเพิ่มความชื้นตามที่กำหนดผสมผสานต่อส่วนผสมต่างๆ ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วงประมาณ 6-7 ให้ความร้อนกับส่วนผสมที่ได้เพื่อควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 35-40 องศาเซลเซียส และดำเนินการส่งไปหมักในถังปฏิกิริยาชีวภาพ (Bioreactor) ซึ่งจะเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนพวกเมโซไฟล์ (Mesophiles) โดยป้อนเข้าสู่ส่วนบนของถังที่มีการควบคุมการไหลของส่วนผสมอย่างช้าๆ และต่อเนื่องลงสู่ก้นถัง และมีใบพัดสำหรับกวนส่วนผสมต่างๆ ให้เข้ากันเป็นอย่างดี เพื่อช่วยป้องกันปัญหาการเกิดฟองหรือก้อนวัสดุบางอย่างลอยอยู่เหนือผิวของเหลวในถังระยะเวลาในการหมักประมาณ 20 วันหลังจากนั้นตะกอนที่ได้จากการย่อยสลายจะถูกส่ง ผ่านไปยังถังพัก (Buffer Storage Tank) เพื่อลดอุณหภูมิและผสมกับโพลิเมอร์ก่อนนำไปรีดน้ำโดยเครื่องรีดน้ำ (Mechanical Dewatering) กากที่ได้จะถูกอบโดยใช้ไอร้อนจากเครื่องปั่นไฟ (Biogas engine) เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคและปรับความชื้นให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

การใช้ประโยชน์จากผลผลิตกากตะกอนที่ได้จะมีลักษณะสมบัติขึ้นอยู่กับวัตถุที่หมัก โดยสามารถใช้เป็นสารปรับสภาพดิน (Soil conditioner) ที่ดีได้ และเพื่อให้กากดังกล่าวมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับปุ๋ยอินทรีย์โดยทั่วไป ก็สามารถเพิ่มสารอาหารเพื่อปรับแต่งค่า N P K ตามความต้องการของตลาดและมีการบรรจุลงถุงเพื่อการจำหน่ายต่อไป ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการย่อยสลายจะถูกรวบรวมส่งไปยังถังกักเก็บเพื่อควบคุมปริมาณองค์ประกอบของก๊าซตลอดจนความดันต่างๆ ก่อนที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Biogas engine) ไฟฟ้าที่ได้ประมาณร้อยละ 10 จะถูกใช้ในโรงงาน ส่วนที่เหลือจะขายเข้าสู่การไฟฟ้าเพื่อนำรายได้มาเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของโรงงาน

การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) เป็นกระบวนการทางชีวภาพที่ย่อยสลายอาหารภายใต้การควบคุมสภาวะที่เหมาะสม โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ตามธรรมชาติ จนกลายเป็นกากที่มีคุณภาพเช่นเดียว กับปุ๋ยหมัก และเกิดผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีส่วนผสมของก๊าซมีเทนร้อยละ 60 สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากก๊าซมีเทนที่เกิดจากการฝังกลบมูลฝอย ลดการปลดปล่อยสู่บรรยากาศ และลดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

บทที่ 2
การเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

ในการพิจารณาเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ประกอบด้วยปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.1 การออกแบบเพื่อความเหมาะสม

2.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชน

2.1 การออกแบบเพื่อความเหมาะสม

นิยามของการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสม ประกอบด้วย

1) การออกแบบเพื่อความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรม ประสิทธิภาพสอดคล้องกับกฎหมาย หรือมาตรฐานน้ำทิ้ง ต่างๆ เช่น มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม มาตรฐานน้ำทิ้งของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

2) การออกแบบเพื่อความเหมาะสมกับการลงทุน งบประมาณของผู้ประกอบการ ซึ่งมักต้องการระบบที่ดูแลง่าย อายุการใช้งานเหมาะสม ราคาประหยัด ได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าจากก๊าซชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์ และการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่

3) การออกแบบเพื่อความเหมาะสม สำหรับการใช้งานและผู้ดูแลระบบของผู้ประกอบการ และผู้ดูแลรักษาระบบ

4) การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้เป็นที่ยอมรับของสังคม เช่น การออกแบบระบบที่ไม่มีกลิ่นรบกวนต่อชุมชนรอบข้าง ซึ่งแต่เดิมการออกแบบระบบบำบัดที่เป็นบ่อเปิด เช่นบ่อหมักไร้อากาศ (Anaerobic pond) มักจะก่อให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็นของก๊าซไข่เน่า (Hydrogen sulfide) อย่างรุนแรง และมักจะเป็นเหตุร้องเรียนจากชุมชนโดยรอบสถานประกอบการ

5) สภาพพื้นที่ก่อสร้างระบบ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของโรงงานจะถูกใช้ประโยชน์ในการผลิต จะเหลือพื้นที่ส่วนน้อยไว้สำหรับก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียหรือระบบผลิตก๊าซชีวภาพ บางครั้งทำให้รูปรางของที่ดินไม่เหมาะสมในการวางระบบฯ

ดังนั้น การเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย ได้แก่

1) ปริมาณน้ำเสีย ความเข้มข้นและลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียจะต้องถูกนำมาวิเคราะห์ ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยตัวแปรในการวิเคราะห์น้ำเสีย เพื่อการออกแบบจะมีความละเอียดมากกว่าการวิเคราะห์น้ำเสียแบบทั่วไป ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสีย จะทำการวิเคราะห์ค่า BOD5 และค่า COD ที่อยู่ในรูป TCOD เพื่อใช้คำนวณหาสัดส่วน BOD5/TCOD โดยจะเป็นตัวกำหนดความเหมาะสมในการเลือกใช้ระบบบำบัด ซึ่งสัดส่วน BOD5/TCOD ต้องมีค่ามากกว่า 0.5 เป็นต้น

2) มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด เช่น มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ, กรมโรงงานอุตสาหกรรม

3) พื้นที่ก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

4) งบประมาณในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและบำรุงรักษา

5) ความสามารถในการเดินระบบของผู้ประกอบการหรือผู้ใช้งาน

6) เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบและประสบการณ์ของวิศวกรออกแบบ ซึ่งเป็นความสามารถส่วนบุคคลในการเลือกออกแบบระบบอย่างเหมาะสม สอดคล้องกับเงื่อนไขทุกประการ

7) เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยมีการใช้หลายวิธี ซึ่งอยู่กับชนิดของน้ำเสียและลักษณะของกิจกรรมที่ทำให้เกิดน้ำเสีย โดยอาจแบ่งกลุ่มตามประเภทอุตสาหกรรม ดังนี้

- โรงงานอุตสาหกรรมอาหารประเภทอาหารแช่แข็ง อาหารกระป๋อง น้ำผลไม้ นิยมใช้ระบบUASB, MCL และ ถังกรองไม่ใช้อากาศ, Hybrid, Upflow Anaerobic Contact

- โรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังนิยมใช้ระบบยูเอเอสบี UASB Anaerobic Baffled Reactor (ABR), Modifed Covered Lagoon, Anaerobic Fixed Film (AFF) ABR

- โรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบนิยมใช้ระบบถังกวนสมบูรณ์ (Completely Stirred Tank Reactor, CSTR), MCL

- โรงงานอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์นิยมใช้ระบบ บ่อหมักรางและ UASB, MCL

จะเห็นว่าปัจจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ล้วนแต่มีผลต่อการออกแบบทั้งสิ้น แต่โดยทั่วไปการออกแบบมักยึดมาตรฐานน้ำทิ้งเป็นเกณฑ์ในการออกแบบและคัดเลือกระบบ ทั้งนี้ค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สำหรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม มีค่ามาตรฐานกำหนดให้มีค่า BOD ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างแล้วแต่ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือค่า COD ไม่เกิน 120 มก./ล. หรือแตกต่างแล้วแต่ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้น ความรู้พื้นฐานในการเลือกหน่วยบำบัด (Unit Selection) เพื่อประกอบเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Process or Process Design) จึงมี ความจำเป็นอย่างยิ่ง

2.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชน

การกำจัดขยะชุมชนในพื้นที่ต่างๆ ส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีฝังกลบ ทั้งนี้ระบบกำจัดขยะที่ถูกต้องควรทำเป็นระบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) ซึ่งสามารถผลิตก๊าซจากหลุมขยะ (Landfill Gas) เป็นผลพลอยได้ แต่เทคโนโลยีการผลิตก๊าซจากหลุมขยะในเมืองไทยในปัจจุบันยังคงประสบปัญหาด้านคุณภาพของก๊าซที่ได้ รวมถึงมีปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไม่คงที่ ดังนั้นปัจจุบันระบบจัดการขยะที่มีการนำก๊าซชีวภาพมาใช้งานจึงมีเฉพาะที่เทศบาลเมืองระยอง จังหวัดระยอง ที่ใช้เทคโนโลยีระบบ CSTR เพื่อย่อยสลายขยะอินทรีย์ในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ (ข้อมูล ณ ธันวาคม 2550)

อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียที่มาจากแหล่งกำเนิดใด เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาต่างๆ ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยเฉพาะจากหลุมฝังกลบขยะควรได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) การเลือกใช้ระบบท่อรวบรวมและส่งก๊าซชนิดมีความดัน (positive pressure) ให้มากที่สุด โดยการเลือกติดตั้งพัดลมดูดก๊าซให้ใกล้หลุมฝังกลบให้มากที่สุด แล้วเดินท่อส่งก๊าซที่มีความดันไปยังสถานที่ใช้ก๊าซ การทำเช่นนี้จะทำให้ระบบท่อก๊าซสามารถตรวจสอบหารอยรั่วได้ง่าย ไม่ว่าจะใช้ฟองสบู่ หรือเครื่องมือวัดความเข้มข้นก๊าซ เพราะก๊าซจะรั่วออกสู่บรรยากาศ แต่หากเป็นระบบดูด จะไม่สามารถตรวจสอบหารอยรั่วด้วยวิธีดังกล่าวได้

2) การควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนในท่อ การควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนให้ต่ำกว่าระดับ LEL (lower explosive limit) เป็นอีกวิธีหนึ่งในการป้องกันการเกิดไฟย้อนในระบบท่อ และการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนอย่างสม่ำเสมอจะช่วยให้ทราบถึงความผิดปกติของระบบท่อทันทีที่เริ่มเกิดปัญหา เช่นหากมีการทรุดตัวและเกิดรอยรั่วของท่อด้านดูดของพัดลม ปริมาณออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นทันที

3) การออกแบบความเร็วก๊าซในท่อให้สูงกว่าความเร็วเปลวไฟ ก๊าซชีวภาพเมื่อเกิดการลุกไหม้จะมีความเร็วเปลวไฟ 3.5 เมตรต่อวินาที ดังนั้นหากความเร็วก๊าซในท่อสูงกว่านี้เมื่อเกิดไฟลุกไหม้ที่ปลายท่อเปลวไฟก็ไม่สามารถลุกไหม้ย้อนเข้ามาในท่อได้ และเมื่อประกอบกับการควบคุมปริมาณออกซิเจนในท่อตามข้อ 2 ยิ่งทำให้ระบบท่อมีความปลอดภัยมากขึ้น

4) การเลือกใช้ระบบป้องกันไฟย้อนที่เหมาะสม อุปกรณ์จับเปลวไฟ (flame arrester) เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ต้องออกแบบกำหนดให้มีและติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสม เทคนิคการป้องกันไฟย้อนบางเทคนิคเช่น การจุ่มปลายท่อก๊าซให้ก๊าซไหลผ่านน้ำเพื่อดักไฟ ไม่สามารถใช้กับระบบก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะได้ เนื่องจากก๊าซที่ได้มีปริมาณสูงมากจนเป่าน้ำกระจายออกจากถังดัก

5) การเลือกใช้วาล์วอัตโนมัติชนิดปกติปิด (normally close) ในกรณีที่มีวาล์วอัตโนมัติใช้ในระบบควรเลือกใช้ชนิด ปกติปิดเพื่อในกรณีฉุกเฉิน เช่นไฟฟ้าดับวาล์วดังกล่าวจะกลับสู่ตำแหน่งปิดและป้องกันการปล่อยก๊าซขณะที่อุปกรณ์อื่นหยุดทำงาน

6) การออกแบบให้มีระบบระบายความดันฉุกเฉิน อุปกรณ์บางประเภทที่มีขนาดใหญ่มากเช่น ถังดักน้ำ ถังกรองก๊าซมักไม่เอื้อต่อการออกแบบให้รับแรงดันสูงมากๆ เพื่อต้านทานแรงดันจากการระเบิดเนื่องจากการติดไฟได้ เพราะต้องใช้วัสดุที่มีความหนามาก ทำให้มีราคาแพงมากโดยไม่จำเป็น กรณีนี้สามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความดันฉุกเฉินเช่น ส่วนที่กำหนดฉีกขาดได้เพื่อระบายแรงดัน (rupture seal) ไว้ที่อุปกรณ์แต่ละตัวที่อาจเกิดปัญหาได้

นอกเหนือจากเทคนิคในการออกแบบเบื้องต้นดังกล่าวแล้ว การกำหนดให้ปล่องเผาก๊าซ (flare) เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ต้องมีสำหรับแต่ละโครงการเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างมาก โครงการก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบและจากน้ำเสียอุตสาหกรรมมักละเลยการติดตั้งปล่องเผาก๊าซ เพราะมีความคิดว่าดูดก๊าซมาเพื่อใช้งาน เมื่อไม่มีการใช้งานก็ไม่ต้องดูดก๊าซ สามารถปิดระบบได้ ซึ่งเป็นความคิดที่ไม่ถูกต้อง ก๊าซจากน้ำเสียและกองขยะจะเกิดขึ้นด้วยอัตราเท่ากันไม่ว่าจะมีการดูดไปใช้หรือไม่ก็ตาม เมื่อไม่มีการดูดก๊าซที่เกิดขึ้นก็จะรั่วไหลออกจากระบบและออกสู่ชั้นบรรยากาศ เป็นก๊าซเรือนกระจกต่อไป ดังนั้นจึงควรมีการติดตั้งปล่องเผาก๊าซและทำการเผาก๊าซทิ้งแม้จะไม่มีการนำไปใช้งานก็ตาม ปล่องเผาก๊าซที่ใช้งานอยู่ทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ปล่องเผาก๊าซแบบปิด (close flare) และปล่องเผาก๊าซแบบเปิด (open flare)

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างปล่องเผาก๊าซแบบเปิดกับปล่องเผาก๊าซแบบปิดคือ ประสิทธิภาพในการเผากำจัดมลพิษ ซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้และเวลากักที่ก๊าซทำปฏิกิริยาอยู่ในห้องเผาไหม้ ปล่องเผาก๊าซแบบปิดมักถูกออกแบบให้มีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้มากกว่า 800 °C เวลากักนานกว่า 2 วินาที ในขณะที่ปล่องเผาก๊าซแบบเปิดกำหนดเพียงอุณหภูมิเปลวไฟต้องมากกว่า 550 °C ดังนั้น ปล่องเผาก๊าซแบบเปิดจึงเหมาะสมสำหรับการใช้งานเผากำจัดก๊าซเพื่อลดความเป็นก๊าซไวไฟ และใช้งานชั่วคราวในกรณีฉุกเฉินที่ต้องปล่อยก๊าซทิ้งโดยไม่มีการใช้งานปลายทางเท่านั้น หากต้องการเผากำจัดก๊าซเพื่อกำจัดมลพิษทั้งหมดควรเลือกใช้ปล่องเผาก๊าซแบบปิด สำหรับปล่องเผาก๊าซแบบปิดจะสามารถวัดคุณภาพก๊าซหลังการเผาไหม้ได้ ในขณะที่ปล่องเผาก๊าซแบบเปิดจะไม่สามารถเก็บตัวอย่างก๊าซหลังการเผาไหม้ได้ เนื่องจากมีการเผาไหม้อยู่นอกปล่องด้วย

สำหรับปล่องเผาก๊าซแบบเปิดมีเทคนิคในการเลือกใช้หรือออกแบบดังต่อไปนี้

- ความสูงจากพื้นดินถึงปลายปล่องไม่น้อยกว่า 4.0 เมตร
- การจุดควรเลือกใช้ระบบจุดแบบไม่มีประกายไฟแทนการสปาร์คด้วยหัวเทียน เนื่องจากคุณภาพก๊าซมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ตำแหน่งหัวเทียนที่ติดตั้งอยู่คงที่อาจไม่อยู่ในโซนที่ก๊าซติดไฟได้
- ไม่ควรต้องใช้เชื้อเพลิงเสริมชนิดอื่นเป็นเชื้อเพลิงสำหรับไฟจุดนำร่อง (pilot) หากต้องการใช้ระบบไฟนำร่องให้เลือกใช้ก๊าซชีวภาพที่ได้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อลดความยุ่งยากและค่าใช้จ่าย
- ไม่ควรใช้ระบบตรวจจับสภาพการติดไฟของปล่องแบบเปิดด้วยระบบ FID : flame ionization detection เนื่องจากเปลวไฟอาจถูกลมพัดหนีออกจากตำแหน่งที่ตรวจจับ ทำให้การรายงานผลผิดพลาดได้
- การออกแบบจะต้องเลือกอัตราในการเผา จะต้องสัมพันธ์กับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ

ระบบก๊าซชีวภาพสำหรับหลุมฝังกลบขยะสามารถออกแบบให้มีความปลอดภัยได้ไม่แตกต่างจากระบบประเภทอื่น แต่ลำพังเทคนิคการออกแบบอย่างเดียวไม่สามารถให้ความปลอดภัยสูงสุดได้ ทั้งนี้ต้องอาศัยความรู้ ความตั้งใจและตระหนักถึงความปลอดภัยจากผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่ายเพื่อให้ทุกโครงการสามารถดำเนินการได้อย่างปลอดภัยตามวัตถุประสงค์ต่อไป

บทที่ 3

การออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อความปลอดภัย

การออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ หลักการในการออกแบบส่วนใหญ่จะใกล้เคียงกัน แต่อาจจะมีความแตกต่างในเรื่องการเลือกค่าเกณฑ์การออกแบบ (Design Criteria) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ออกแบบในการออกแบบ จะต้องใช้หน่วยบำบัดมากกว่าหนึ่งระบบ เพื่อประกอบกับให้ระบบมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับน้ำเสียหรือของเสียชนิดนั้น และอีกขั้นตอนที่ต้องคำนึงถึงคือ คุณภาพของเสียที่บำบัดจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง คือประสิทธิภาพของระบบ พื้นที่ที่ใช้สำหรับการก่อสร้าง งบประมาณ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ

3.1 ขั้นตอนในการพิจารณาออกแบบ

ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป ควรจะประกอบด้วยขั้นตอนต่อให้

1) การสำรวจเพื่อระบบรวมข้อมูลเกี่ยวกับน้ำเสีย เช่น ปริมาณ ลักษณะสมบัติ จุดกำเนิดในแต่ละกระบวนการผลิต พื้นที่ที่เหมาะสมกันสำหรับก่อสร้างระบบ สภาพพื้นดินและความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน
2) การออกแบบทางเลือกของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (Process Digester) ที่สอดคล้องและเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยจะต้องพิจารณาจากปริมาณน้ำเสีย ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารเคมีและสารอาหารที่จะต้องเติม ความเหมาะสมกับพื้นที่ภูมิทัศน์เดิม ค่าก่อสร้าง เช่น ลงทุน รวมไปถึงความพร้อมของบุคลากร
3) การรวบรวมเกณฑ์ในการออกแบบ (Design Criteria) ของระบบที่นำมาใช้งาน โดยการได้มาของเกณฑ์ในการออกแบบ ควรจะมีข้อมูลสนับสนุน มีการทดลองการใช้งานหรือมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย การรวบรวมเอกสารเกี่ยวกับรายละเอียดของอุปกรณ์ การเลือกขนาดรุ่น เพื่อประกอบการพิจารณาเสนอ เนื่องจากอุปกรณ์แต่ละยี่ห้อจะมีราคาที่แตกต่างกันมาก
4) การวางผังออกแบบการเขียนแบบรายละเอียด จากขั้นตอนทั้ง 3 ขั้นตอนที่กล่าวมานำมาประมวลออกแบบเขียนแบบวางผังลงในพื้นที่มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้แบบก่อสร้างที่จะนำไปก่อสร้าง โดยจะต้องมีผู้รับผิดชอบตรวจสอบรายละเอียดองค์ประกอบในแบบ ว่ามีความถูกต้องตามที่ออกแบบไว้

การกำหนดแนวทางการออกแบบระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ หากอุปกรณ์หรือการออกแบบในลักษณะใดที่ไม่ได้กล่าวถึงในส่วนนี้ ให้ผู้เกี่ยวข้องยึดถือหลักการออกแบบและหลักปฏิบัติอื่นๆตามข้อกำหนดบัญญัติไว้ในกฎหมายไทย และ/หรือมาตรฐานตามวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) เป็นสำคัญระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรม/ขยะชุมชนและฟาร์มปศุสัตว์ ส่วนใหญ่มาจาก 3 ส่วนที่อาจจะได้รับผลกระทบด้านความปลอดภัย ได้แก่

3.2 ส่วนผลิตก๊าซชีวภาพ

บริเวณที่เป็นส่วนผลิตก๊าซชีวภาพออกมาได้แก่ บริเวณบ่อหมัก/ถังหมักน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงระบบเก็บก๊าซชีวภาพ เพื่อรอการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นในส่วนผลิตก๊าซชีวภาพ ก่อนการออกแบบและดำเนินการก่อสร้างจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่

ก. สถานที่สำหรับก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพ สถานที่ที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน ทำเลที่ตั้งสำหรับก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพ ต้องมีการกำหนดจุดที่จะทำการก่อสร้างที่ชัดเจน โดยมีข้อกำหนดในประเด็นต่างๆดังนี้

ก-1 ทำเลที่ตั้งสำหรับก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพ

(1) กำหนดระยะห่างจากชุมชน โรงเรียน ถนนสาธารณะ สถานที่ราชการ ฯลฯ ที่เห็นว่าจำเป็นไม่น้อยกว่า 100 เมตร

(2) ระยะห่างจากแนวสายไฟฟ้าแรงสูงพาดหรือขึงผ่าน ไม่น้อยกว่า 6 เมตร

(3) ระยะห่างจากถนนสาธารณะไม่น้อยกว่า 6 เมตร

(4) ต้องคำนึงถึงทิศทางของลมโดยไม่ควรจะออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพให้มีลักษณะการขวางทิศทางลม โดยเฉพาะแบบที่ใช้แผ่น PVC หรือ HDPE เป็นตัวเก็บก๊าซ หากไม่สามารถเลือกได้ควรจะเลือกทิศทางมีแนวต้นไม้หรืออาคาร เพื่อช่วยต้านแรงลมที่จะปะทะ ถังหมักโดยตรง

ก-2 ลักษณะทางกายภาพของดินบริเวณก่อสร้าง

ต้องคำนึงถึงสภาพของดิน ที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพที่เลือก เช่นหากใช้ระบบก๊าซชีวภาพแบบสร้างลอยบนดิน อาจจะต้องพิจารณาความแข็งแรงของดินที่จะรับโครงสร้าง หากชั้นดินไม่สามารถรับแรงได้มากพอต้องพิจารณาการตอกเข็มและหากใช้ระบบก๊าซชีวภาพที่ฝังอยู่ในดิน สภาพการพังทลายของดิน ระดับน้ำใต้ดินและความแข็งแรงของชั้นดิน จะมีผลต่อการออกแบบและต้นทุนการสร้างจะเพิ่มขึ้น รวมถึงการสร้างระบบก๊าซชีวภาพโดยการนำบ่อน้ำเสียหรือสระน้ำเก่า มาสร้างระบบก๊าซชีวภาพได้ตามความเหมาะสมในแต่ละระบบที่เลือก

ก-3 ความปลอดภัยในงานก่อสร้าง

ในส่วนการก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพอาจมีการเกิดอุบัติเหตุในด้านวิศวกรรมโยธาได้โดยทั่วไปแล้วโอกาสของอุบัติเหตุจะเกิดจากการเคลื่อนตัวของดินถมด้านข้างผนัง ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจาก

(1) การเพิ่มขึ้นของแรงกระทำด้านข้างผนังทั้งจากน้ำหนักของดินเองและน้ำหนักของรถบรรทุกและเครื่องจักรหนัก

(2) มีทางน้ำใต้ดินไหล่ผ่านตำแหน่งที่เกิดเหตุอยู่ตลอดเวลา

(3) ดินใต้ฐานรากและดินที่ใช้ถมด้านข้างผนังเป็นดินเหนียวซึ่งสามารถอุ้มน้ำได้ดีทำให้กำลังในการรับแรงเฉือน ของดินลดลง

<u>วิธีการป้องกัน</u>

1 ควรมีการคุมงานให้รัดกุมและดำเนินการก่อสร้างตามที่ออกแบบไว้

2 หลีกเลี่ยงการก่อสร้างในพื้นที่ที่มีทางน้ำใต้ดินไหลตลอดเวลา

3 จัดแนวทางการเคลื่อนที่ของรถบรรทุก

4 หลีกเลี่ยงการก่อสร้างในฤดูฝน

ข. ข้อกำหนดสำหรับโครงสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการออกแบบโครงสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ ควรเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานทางวิศวกรรมดังนี้

ข-1 โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.)

(1) องค์ประกอบของบ่อทุกส่วน เช่น ผนัง ฐานราก พื้น คาน เสา หรือ อื่นๆ จะต้องได้รับการวิเคราะห์และออกแบบให้สามารถต้านทานแรงกระทำที่อาจเกิดขึ้นในทุกกรณี โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน วสท. เรื่องการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(2) สำหรับบ่อที่มีความสูงผนัง 2 ม.ขึ้นไปและมีปริมาตรบรรจุน้ำเสียมากกว่า 50 ลบ.ม.ควรมีความหนาของผนังอย่างน้อย15 ซม. (ยกเว้นที่ได้ออกแบบเป็นพิเศษ)

(3) ระยะหุ้มของคอนกรีตต้องเพียงพอที่จะไม่ทำให้เหล็กเสริมทำปฏิกิริยากับน้ำเสียคือไม่น้อยกว่า 5 ซม. (ยกเว้นที่มีการเคลือบผิวคอนกรีตด้วยวัสดุพิเศษ) ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำในผนัง ฐานราก เทียบจากสัดส่วนของหน้าตัดต้องไม่น้อยกว่า 0.0025

ข-2 โครงสร้างเหล็ก

(1) องค์ประกอบของบ่อ เช่น แผ่นเหล็ก หมุด การเชื่อม ให้อ้างอิงตามมาตรฐาน AWWA D103-97

(2) ต้องมีการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการกัดกร่อนยกเว้น ผนังที่เป็นวัสดุเหล็ก แผ่นสเตนเลส

ข-3 โครงสร้างบ่อดิน

(1) การขุดดินต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของความชันเพื่อป้องกันการพังทลายของคันดิน

(2) ในกรณีที่ดินมีคุณสมบัติไม่กักเก็บน้ำ จำเป็นต้องมีการปูด้วยวัสดุกันซึม เช่น แผ่น PVC หรือแผ่น HDPE เพื่อป้องการซึมของน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน

ข-4 โครงสร้างอื่น ๆ สำหรับกักเก็บก๊าซชีวภาพ

(1) ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

(2) ต้องทนต่อแรงดันได้ดี

(3) สามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย

ค. แนวทางการออกแบบและเลือกวัสดุและอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพ

ค-1 การเลือกวัสดุสำหรับทำบ่อหมัก (Digester) หรือวัสดุสำหรับปูบ่อ (Lining) มีดังนี้

(1) ถังหมักที่เป็นโครงสร้างยกลอยอยู่บนพื้นดินโครงสร้างมักจะใช้เป็นเหล็กที่เคลือบป้องกันการกัดกร่อนหรือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(2) ถังหมักที่เป็นโครงสร้างฝังอยู่ใต้ในดิน ส่วนใหญ่มักจะใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก หรืออาจจะใช้แผ่นพลาสติก HDPE สำหรับการปูพื้นบ่อหมักเพื่อป้องกันการซึมของน้ำเสีย

ค-2 การเลือกวัสดุสำหรับทำบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ รวมถึงปริมาณการกักเก็บก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

(1) วัสดุสำหรับเก็บก๊าซชีวภาพ ในกรณีที่เป็นโครงสร้างแข็ง มักจะใช้ถังเหล็กที่มีการเคลือบสารป้องกันการกัดกร่อนหรือคอนกรีต สำหรับโครงอ่อน จะใช้ PVC, HDPE และ Membrane โดยปกติจะสร้างปริมาตรกักเก็บประมาณ 1 วัน ยกเว้นระบบ Covered Lagoon ควรจะมีปริมาตรกักเก็บไม่เกิน 7 วัน

(2) ความสูงของส่วนเก็บก๊าซชีวภาพเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการออกแบบ หากมีความสูง มากเกินไปจะทำให้เกิดการต้านลมมาก ส่งผลทำให้อาจเกิดการฉีกขาดของวัสดุเก็บก๊าซชีวภาพขึ้นได้ ดังนั้นความสูงของส่วนเก็บก๊าซ โดยที่เก็บก๊าซแบบโครงสร้างอ่อนเมื่อพองตัวเต็มที่ไม่ควรเกิน 10 เมตร

(3) แรงดันภายในบ่อเก็บก๊าซในกรณีที่เป็นโครงสร้างที่ไม่มีการเปลี่ยนรูปทรงแรงดันก๊าซไม่ควรเกิน 60 mbar ส่วนกรณีที่เป็นโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนรูปทรงแรงดันไม่ควรเกิน 3 mbar

(4) ช่องว่างระหว่างผิวน้ำในบ่อหมักต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 0.50 เมตรเพื่อป้องกัน Scum เข้าไปในท่อส่งก๊าซ

ง. คุณสมบัติของวิศวกรผู้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ

วิศวกรผู้ดำเนินการออกแบบจะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์การกำหนดคุณสมบัติของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์ (วสท.)

จ. การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยในระบบการผลิตต่าง ๆ

จ-1 ติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

หากตัวถังหมักก๊าซชีวภาพหรือถังเก็บก๊าซชีวภาพอยู่ในที่โล่งหรืออยู่สูงกว่าสภาพแวดล้อมรอบข้างและในบริเวณพื้นที่ของโรงงานหรือฟาร์มเลี้ยงสัตว์ไม่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าด้วย

<u>การป้องกันฟ้าผ่า</u> (Lightning Protection)

บ่อหมักก๊าซหรือบ่อเก็บก๊าซชีวภาพที่อยู่ในพื้นที่ที่อาจเกิดอันตรายจากฟ้าผ่าจะต้องมีระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยตรง (Direct Lightning Stroke) ตรงส่วนใดส่วนหนึ่งของบ่อหมักหรือบ่อเก็บก๊าซชีวภาพระบบป้องกันฟ้าผ่าให้ปฏิบัติตามมาตรฐานของ วสท. "มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง" E.I.T. Standard 2001-45

รูปที่ 3-1 การติดสายล่อฟ้าในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

จ-2 การติดตั้งสายดิน

ในกรณีที่ถังหมักเป็นโลหะในระบบผลิตก๊าซชีวภาพทุกขนาดจะต้องมีการติดตั้งสายดินตามมาตรฐาน วสท. "มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545" E.I.T. Standard 2001-45

(1) สายดิน (Grounding)

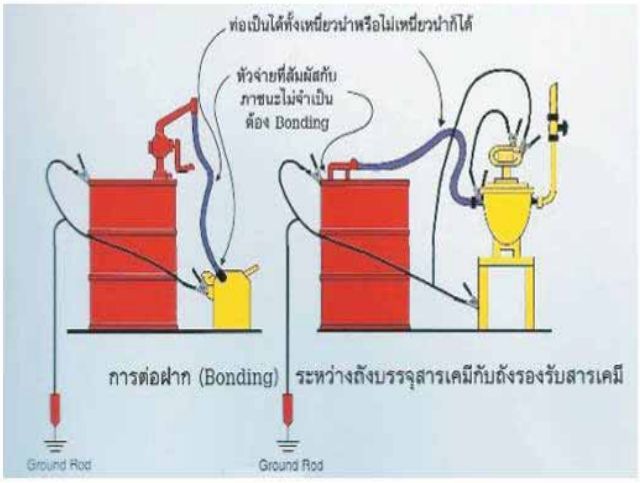
การต่อกราวด์ คือการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้าลง สู่พื้นดินโดยใช้ตัวนำไฟฟ้า การต่อกราวด์สามารถแก้ปัญหาการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตบนวัสดุตัวนำได้ เพราะการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าจะช่วยถ่ายเทประจุไฟฟ้าลงสู่พื้นดินทำให้ศักย์ไฟฟ้าบนโครงสร้างนั้นเท่ากับพื้นดิน

รูปที่ 3-2 การต่อสายดินในโครงสร้าง

(2) ต่อฝาก (Bonding)

การต่อฝาก คือการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้า 2 ส่วนเข้าด้วยกันโดยใช้ตัวนำไฟฟ้า ขนาดของตัวนำไฟฟ้าประเด็นสำคัญ แต่ความแข็งแรงของวัสดุตัวนำและความแนบแน่นของหน้าสัมผัสของจุดต่อเนื่องที่ต้องให้ความสำคัญมากกว่า การต่อฝากไม่สามารถแก้ปัญหาการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตได้ แต่จะช่วยกระจายการสะสมของประจุไฟฟ้าบนโครงสร้างหนึ่งๆ เมื่อมีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าแล้วศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างทั้งสองจะเท่ากันเป็นการกำจัดความเสี่ยงของการถ่ายเทประจุระหว่างวัตถุ

รูปที่ 3-3 การต่อฝากเพื่อทำให้ศักย์ไฟฟ้าของพื้นผิวต่าง ๆมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 3-4 การต่อฝากระหว่างภาชนะบรรจุสารไวไฟ

จ-3 การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เป็นแบบป้องกันการระเบิด

ระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในบริเวณอันตราย จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เป็นแบบป้องกันการ ระเบิด (Explosion Proof) เช่น ระบบมอเตอร์/ไฟฟ้าแสงสว่างที่อยู่ในบริเวณระบบผลิต/ระบบส่งจ่าย/ระบบใช้ก๊าซชีวภาพโดย มีรายละเอียดอุปกรณ์ที่จำเป็นดังต่อไปนี้

(1) Explosion Proof Motor (มอเตอร์ชนิดป้องกันการระเบิด)

มอเตอร์ชนิดป้องกันการระเบิดสำหรับเป็นต้นขับ Blower ส่งก๊าซไปใช้ประโยชน์โดยบริเวณที่มีความเสี่ยง เช่น บ่อหมักหรือบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ อาคารส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ ควรจะติดตั้งมอเตอร์ชนิดนี้ ดังรูป

รูปที่ 3-5 ลักษณะของมอเตอร์ป้องกันการระเบิด

(2) อุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ (Flame Arresters)

อุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ (Flame Arresters) เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทนอุณหภูมิสูงและมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง จึงมีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถให้ก๊าซไหลผ่านได้ขณะใช้งาน แต่จะทำหน้าที่ดูดซับและป้องกันเปลวไฟที่ย้อนกลับ ซึ่งสามารถป้องกันเปลวไฟไม่ให้ผ่านเข้าไปในท่อส่งก๊าซหรือถังผลิตก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 3-6 อุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ

ขนาดและวัสดุแรงดันสูงสุด : สูงถึง 1 PSI
ช่วงอุณหภูมิ : -30 °C ถึง 150 °C
ขนาด : 2 นิ้ว - 12 นิ้ว
วัสดุ : ทองแดง อลูมิเนียม เหล็กและสเตนเลส เกรด 316

- ใช้สำหรับก๊าซหรือไอที่มีการวาบไฟ หรือติดไฟต่ำ
- ออกแบบตามมาตรฐาน BS 7244 & UL
- ขนาด 2 นิ้ว - 60 นิ้ว
- ออกแบบเพื่อใช้สำหรับบริเวณด้านท้ายของระบบ หรือ จุดต่อของวาล์วระบายแรงดัน หรือ เกิดสูญญากาศ
- วัสดุที่ใช้ได้แก่ เหล็ก สแตนเลส อลูมิเนียม (เกรด 356) และวัสดุอื่นๆ
- ออกแบบให้ติดตั้งเป็นแบบ wafer เพื่อง่ายต่อการดูแลรักษา
- ได้รับการตรวจสอบขนาดและวัสดุ จากทางโรงงานผ่านการทดสอบ การไหลเวียน และเปลวไฟ

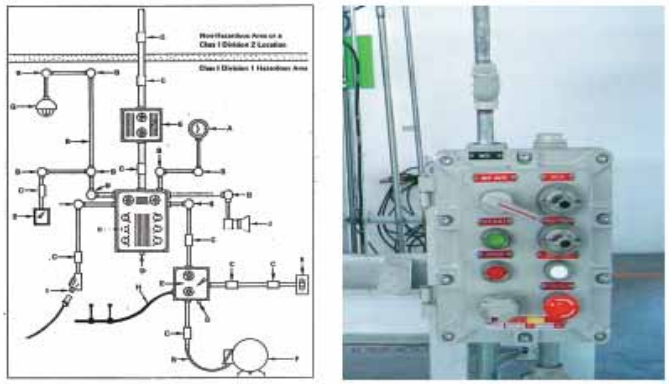
(3) หลอดไฟแสงสว่าง (Lighting)

ระบบแสงสว่างทั้งหมดที่ใช้ในบริเวณบ่อผลิตก๊าซต้องเป็นอุปกรณ์ป้องกันระเบิดทั้งหมด รวมถึงท่อและอุปกรณ์ต่อท่อทั้งหมดต้องสามารถป้องกันประกายไฟได้ ชนิดของท่อควรจะเป็นท่อชนิดหนาหรือท่อ Intermediate Metal Conduit : IMC

- อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดต้องเป็นชนิดป้องกันระเบิดเมื่อติดตั้งในพื้นที่เสี่ยงต่อการติดไฟ หรือพื้นที่อันตราย
- ท่อและอุปกรณ์ประกอบท่อต้องได้มาตรฐาน

จ-4 การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและการเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตราย

ตามมาตรฐานการเดินท่อร้อยสายไฟของ NEC ที่กำหนดให้การเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตราย อุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องเป็นชนิดทนระเบิดป้องกันการเกิดประกายไฟได้ การเดินท่อร้อยสายไฟและสายเคเบิลต้องสามารถป้องกัน การผ่านของก๊าซ ไอระเหยและเปลวไฟจากส่วนใดส่วนหนึ่งไปยังส่วนอื่นผ่านทางท่อร้อยสายไฟ



รูปที่ 3-7 การเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตรายอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องเป็นชนิดทนระเบิด

รายละเอียด

1. กล่องสวิตช์ควบคุม เป็นชนิดทนการระเบิด (Explosion Proof)
2. ใช้ท่อโลหะปานกลาง (IntermediateMetalConduit:IMC)ที่สามารถทำเกลียวได้ซึ่งมีเกลียวมากกว่า 5 เกลียว
3. ติดตั้ง Sealing Fitting ที่ใส่สาร Compound ของท่อร้อยสายไฟก่อนเข้ากล่องสวิตช์ควบคุมตามมาตรฐานที่กำหนดให้ติดตั้งก่อนเข้ากล่องระยะไม่เกิน 18 นิ้ว

จ-5 การเดินท่อร้อยสายไฟเข้าพื้นที่อันตราย

ตามมาตรฐานการเดินท่อร้อยสายไฟของ NEC ที่กำหนดให้เมื่อมีการเดินท่อร้อยสายไฟจากพื้นที่ไม่อันตรายหรือพื้นที่อันตรายที่ต้องมีการใส่ Sealing Fitting และใส่สาร Compound ในระบบท่อร้อยสายไฟและสายเคเบิลเพื่อป้องกันการผ่านของก๊าซ ไอระเหยและเปลวไฟจากส่วนใดส่วนหนึ่งไปยังส่วนอื่นผ่านทางท่อร้อยสายไฟ

ฉ. การติดตั้งระบบควบคุมแรงดันบ่อเก็บก๊าซ (ระบบไฟฟ้าและเครื่องกล)

ฉ-1 ชุดควบคุมแรงดันบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ

บ่อเก็บก๊าซชีวภาพ โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เป็นโครงสร้างที่ไม่มีการเปลี่ยนรูปทรง เช่น ถังเหล็ก โครงสร้างก่ออิฐฉาบปูน และอีกกลุ่มเป็นโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรง เช่น โครงสร้างที่ทำด้วย Membrane HDPE PVC

(1) โครงสร้างที่ไม่มีการเปลี่ยนรูปทรง

รูปที่ 3-8 โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นบ่อก่ออิฐฉาบปูน

รูปที่ 3-9 โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นถังเหล็ก

ในระบบเก็บก๊าซชีวภาพแบบนี้จะสามารถเกิดแรงดันที่เป็นบวก (Over Pressure) เมื่อมีก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มากกว่าที่ปริมาณนำไปใช้งาน และแรงดันที่เป็นลบ (Vacuum) เมื่อมีการใช้ก๊าซชีวภาพมากกว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งต้องมีกลไกหรืออุปกรณ์ป้องกันแรงดันทั้งสองแบบที่จะเกิดขึ้นในระบบ เพื่อป้องกันความเสียหายต่อโครงสร้างได้ ทั้งนี้หากระบบควบคุมเป็นระบบควบคุมด้วยไฟฟ้า จำเป็นต้องมีระบบควบคุมแบบทางกล (Mechanics) ควบคู่ไปด้วยเพื่อป้องกันอันตรายหากเกิดกรณีไฟฟ้าดับ ที่มีการออกแบบให้มีระบบควบคุมแรงดันภายในบ่อหมัก

(2) โครงสร้างที่มีการเปลี่ยนรูปทรง

ระบบเก็บก๊าซชีวภาพแบบนี้ เป็นระบบควบคุมแรงดันแบบไม่ใช้ไฟฟ้าโดยจะสามารถเปลี่ยนแปลงรูปทรงได้ตามปริมาณก๊าซชีวภาพ เมื่อปริมาณก๊าซชีวภาพมีน้อย รูปทรงของบ่อเก็บก๊าซนี้อาจเป็นแบนราบ เมื่อก๊าซชีวภาพสะสมภายในบ่อเก็บก๊าซนี้มากขึ้น รูปของบ่อจะเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งอยู่ในรูปทรงที่ออกแบบไว้ ซึ่งในกรณีที่บ่อเก็บก๊าซชีวภาพมีรูปทรงได้ตามที่ออกแบบแล้ว แสดงว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดที่บ่อเก็บก๊าซจะรับเอาไว้ได้ ดังนั้นจะต้องมีชุดควบคุมแรงดันสำหรับบ่อเก็บก๊าซประเภทนี้ดังรูปเพื่อป้องกันแรงดันที่มากเกินไปทำให้เกิดการฉีกขาดของวัสดุที่ใช้ทำบ่อเก็บก๊าซนี้ได้

รูปที่ 3-10 โครงสร้างบ่อเก็บก๊าซชีวภาพที่เป็นวัสดุ PVC และ Membrane

รูปที่ 3-11 อุปกรณ์ชุดควบคุมแรงดัน

ระบบควบคุมแรงดันที่ดีจะต้องมีระบบควบคุมแรงดันโดยระบบไฟฟ้าที่ทำงานร่วมกับระบบควบคุมการส่งจ่ายก๊าซชีวภาพและชุดเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง (Flare) และจะต้องมีการติดตั้งถังป้องกันแรงดันสูงหรือต่ำของระบบเก็บก๊าซ (Water Seal Tank) กรณีที่ระบบควบคุมแรงดันโดยระบบไฟฟ้าไม่ทำงานหรือทำงานผิดพลาด

(3) ถังป้องกันความดันสูงหรือต่ำของบ่อก๊าซ (Water Seal Tank)

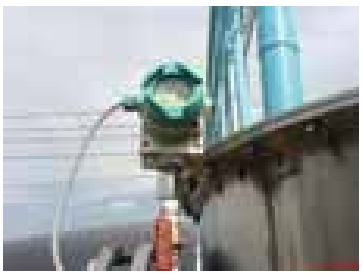
เป็นอุปกรณ์เชิงกลตัวหนึ่งที่ใช้กับการผลิตก๊าซเพื่อป้องกันแรงดันเกินหรือต่ำในระบบกรณีที่ไฟฟ้าดับหรือ ในกรณีที่ชุดควบคุมเสียหรือไม่สามารถควบคุมแรงดันได้ตามที่ต้องการ

- ต้องสามารถรองรับการดูดหรือปล่อยอากาศ ได้ไม่น้อยกว่าปริมาณการใช้ก๊าซจริง
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดีเนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วยซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสเตนเลส

รูปที่ 3-12 ถังป้องกันความดันสูงหรือต่ำของบ่อก๊าซ

(4) สวิตซ์ป้องกันความดันสูงหรือต่ำเกินกำหนด (Pressure & Vacuum Switch)

เป็นอุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซในบ่อเก็บก๊าซ โดยเฉพาะในระบบที่มีถังเก็บก๊าซแบบไม่เปลี่ยนรูปทรง เมื่อแรงดันก๊าซมากเกินไปจะสั่งงานให้ชุดเผาก๊าซส่วนเกินทำงาน และเมื่อแรงดันต่ำเกินกำหนดจะส่งให้ Blower ส่งก๊าซ/หรืออุปกรณ์ใช้ก๊าซชีวภาพหยุดทำงาน



- ต้องอ่านค่าได้แม่นยำ และไม่ผิดเพี้ยน
- สามารถควบคุมการทำงานได้แม่นยำ
- ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม และมีการสอบเทียบตามความเหมาะสม

รูปที่ 3-13 สวิตซ์ป้องกันความดันสูงหรือต่ำเกินกำหนด

(5) ตัวส่งสัญญาณแรงดันก๊าซ (Pressure Transmitter)

เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณให้ชุดควบคุมแรงดันก๊าซ โดยเฉพาะในระบบที่มีถังเก็บก๊าซแบบไม่เปลี่ยนรูปทรง โดยปกติอุปกรณ์นี้จะติดตั้งอยู่กับตัวท่อก๊าซทั้งด้านท่อดูดและท่อส่ง จึงจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนและทนต่ออุณหภูมิแสงแดดและน้ำฝน

- ต้องอ่านค่าได้แม่นยำและส่งสัญญาณไม่ผิดเพี้ยน
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดี เนื่องจาก ในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วยซึ่งเป็นสาเหตุ ของการกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสเตนเลส
- ทนต่อสภาพภูมิอากาศ แดด และ ฝน
- ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม และมีการสอบเทียบตามความเหมาะสม

รูปที่ 3-14 ตัวส่งสัญญาณแรงดันก๊าซ

(6) ตัวควบคุมแรงดันก๊าซ (Pressure Controller)

เป็นอุปกรณ์ควบคุมปั๊มส่งก๊าซโดยตรง โดยรับสัญญาณจากตัวส่งสัญญาณแล้วนำมาประมวลผลเพื่อนำไปควบคุมปั๊มส่งก๊าซ

- ต้องอ่านค่าได้แม่นยำและไม่ผิดเพี้ยน
- สามารถควบคุมการทำงานได้แม่นยำ
- ได้มาตรฐานอุตสาหกรรมและมีการสอบเทียบจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรอง

รูปที่ 3-15 ตัวควบคุมแรงดันก๊าซ

ที่มา : คู่มือกำหนดความปลอดภัยของการออกแบบระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ปี 2552

3.3 ส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

ก. การเลือกใช้วัสดุสำหรับท่อส่งก๊าซ

ระบบก๊าซชีวภาพในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นระบบความดันต่ำ (Low Pressure) โดยมีแรงดันไม่เกิน 300 mbar (หรือ4.35ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)และในก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังนั้นวัสดุสำหรับนำมาใช้เป็นท่อส่งจ่ายก๊าซนั้น จะต้องสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ เช่นท่อ PVC ท่อ HDPE หรือท่อ Stainless สิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือ ท่อ PVC สามารถรับแรงดันในระบบ Low Pressure ได้ แต่โดยปกติท่อ PVC ในการผลิตจะไม่ได้เติมสารป้องกันรังสียูวีจากแสงแดด ดังนั้นหากเดินท่อเหนือพื้นดิน อาจจะไม่เหมาะสมในการเลือกท่อชนิดนี้ ส่วนท่อ HDPE จะป้องกันรังสียูวีได้ ซึ่งหากต้องการเดินท่อส่งก๊าซชีวภาพเหนือผิวดิน ท่อ HDPE จะมีความเหมาะสมมากกว่าส่วนท่อ Stainless มีความแข็งแรงและทนต่อการแตกหักรวมถึงสามารถเดินเหนือพื้นดินได้ดี แต่จะมีราคาสูงที่สุด

ท่อที่ใช้ในการส่งจ่ายก๊าซไปยังจุดใช้งาน โดยทั่วไปนิยมในโรงงานอุตสาหกรรมใช้ท่อ HDPE ซึ่งทนทานต่อการกัดกร่อนของก๊าซและราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับท่อสเตนเลส แต่ในส่วนของฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มักจะใช้ท่อ PVC เนื่องจากสามารถต่อใช้งานได้ง่ายและราคาในการติดตั้งถูก

รูปที่ 3-16 ท่อ PVC

รูปที่ 3-17 ท่อ Stainless

- ต้องเป็นท่อซึ่งสามารถรับแรงดันได้มากกว่าแรงดันการใช้งานปกติ
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อต้องไม่เล็กจนเกินไป โดยคำนึงถึง ปริมาณการใช้ก๊าซเป็นหลัก
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดี เนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสเตนเลส HDPE หรือPVC
- การติดตั้งท่อ PVC โดยเฉพาะในส่วนเชื่อมต่อท่อให้ตรวจสอบการติดตั้งส่วนเชื่อมต่อที่ใช้กาวโดยละเอียด และแน่นหนา

รูปที่ 3-18 ท่อ HDPE

การติดตั้งท่อ HDPE ที่นิยมใช้ในการส่งจ่ายก๊าซในกรณีของท่อส่งก๊าซในระบบฝังกลบขยะ สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษคือ ความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวของชั้นขยะ ดังนั้นในการออกแบบท่อลำเลียงก๊าซจากบ่อขยะจะต้องออกแบบแนวป้องกันความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวของชั้นขยะด้วย

ข. การเลือกใช้ขนาดท่อสำหรับท่อส่งก๊าซ

ในการเลือกขนาดท่อ โดยปกติระบบก๊าซชีวภาพจะมีความดันไม่เกิน 300 มิลลิบาร์ (ประมาณ 5 psi) และหากพิจารณาให้เกิดความดันสูญเสียร้อยละ 10 ตลอดความยาวท่อซึ่งขนาดของท่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของท่อที่ใช้งาน

ค. การเดินท่อส่งก๊าซชีวภาพ

ค-1 การวางท่อส่งก๊าซเหนือพื้นดิน

ท่อส่งก๊าซที่วางเหนือพื้นดินทั้งภายนอกไม่ควรใช้ท่อ PVC เนื่องจากท่อไม่ได้เติมสาร Anti UV จะทำให้ท่อเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว รวมถึงการที่ท่อโดนความร้อน/ความเย็นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการยืดตัวและหดตัว จึงเป็นเหตุทำให้การต่อเชื่อมตามข้อต่อด้วยกาวสามารถหลุดออกเกิดก๊าซรั่วไหลได้ ท่อส่งก๊าซที่วางเหนือพื้นดินควรได้รับการยึดเกาะหรือรองรับ (Hangers, Support and Anchors) ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันความล้าหรือการแตกหักและกระทบกระเทือนต่างๆ ตัวยึดเกาะหรือตัวค้ำยันต้องแข็งแรงเพียงพอต่อการรับน้ำหนักของท่อส่งก๊าซ ไม่ควรติดตั้งหรือยึดตัวค้ำยันกับกำแพง หรือรั้วของโรงงาน ระยะห่างสูงสุดระหว่างตัวยึดเกาะ หรือรองรับต้องไม่เกินกว่าที่ระบุในตาราง

ตารางที่ 3-1 ช่วงห่างตัวรองรับท่อที่เหมาะสม

ขนาดท่อเหล็ก (นิ้ว)	ช่วงห่างตัวรองรับ (ฟุต)
1/2 หรือต่ำกว่า	6 (1.8 เมตร)
3/4 ถึง 1	8 (2.5 เมตร)
1 1/4 ถึง 2 1/2	10 (3.0 เมตร)
3 ถึง 4	15 (4.5 เมตร)
5 ถึง 8	20 (6.0 เมตร)
10 หรือใหญ่กว่า	25 (7.5 เมตร)

ท่อส่งก๊าซที่วางเหนือพื้นผิวจราจรที่มีรถวิ่งผ่านระดับความสูงของท่อจะต้องสูงพ้นจากการเกาะเกี่ยวของรถบรรทุกหรือรถยก (Folk lift) และควรมีป้ายบอกระดับความสูงของท่อส่งก๊าซและจัดให้มีระบบหรือเครื่องป้องกันอันตรายที่เกิดจากการเกาะเกี่ยวจากรถด้วย

ค-2 การวางท่อส่งก๊าซใต้พื้นดิน

การวางท่อส่งก๊าซใต้พื้นดินนั้น ท่อส่งก๊าซที่วางใต้พื้นดินควรวางที่ระดับความลึกไม่น้อยกว่า 0.6 เมตร จากหลังท่อและท่อที่ฝังผ่านพื้นผิวจราจร ต้องมีระดับความลึกไม่น้อยกว่า 0.8 เมตร (ปรับแต่งตัวเลขจาก Industrial Fuel Gas Piping System Standard Practice ของ ปตท.) ร่องที่ขุดสำหรับวางท่อใต้ดินต้องบดอัดปรับให้เรียบ เพื่อป้องกันการทรุดตัวของท่อและให้จัดหาป้ายเตือน (Warning Sign) เพื่อบอกแนวของท่อก๊าซใต้ดิน ท่อส่งก๊าซที่วางใต้พื้นดินควรให้มีท่อปลอกสวมป้องกันบริเวณรอยต่อ ระหว่างท่อใต้ดิน และท่อเหนือดิน และให้ซีลหรือปิดผนึกด้วยวัสดุกันน้ำที่ช่องว่างระหว่างท่อส่งก๊าซกับท่อ ปลอก และท่อส่งก๊าซที่วางใต้พื้นดินจะต้องวางขึ้นเหนือพื้นดินก่อนเข้าอาคารโรงงาน การวางท่อใต้ดินควรหลีกเลี่ยงการวางท่อผ่านฐานราก ผนัง หรือใต้อาคาร และห้ามใช้ข้อต่อชนิดเกลียวกับการวางท่อใต้ดิน

ข้อควรระวังในการวางท่อก๊าซ

- มาตรวัดก๊าซ และวาล์วปรับความดันก๊าซ สำหรับอุปกรณ์ใช้ก๊าซ ควรห่างจากจุดกำเนิดประกายไฟ หรือความร้อนอย่างน้อย 0.9 เมตร (3 ฟุต)
- ห้ามใช้ส่วนหนึ่งส่วนใดของท่อเป็น Ground หรือต่อลงดินของระบบไฟฟ้า
- ไม่ควรใช้ท่อก๊าซเป็นตัวค้ำยัน รองรับ หรือยึดเกาะของระบบท่ออื่นๆ
- ไม่ควรดัด หรืองอท่อเหล็กที่ใช้เป็นท่อส่งก๊าซ
- ท่อส่งก๊าซส่วนที่ชำรุดให้เปลี่ยนใหม่ไม่ควรซ่อมแซม
- ควรหลีกเลี่ยงการวางท่อก๊าซร่วมกับท่อร้อยสายไฟท่อระบายน้ำหรือผ่านระบบจ่ายไฟฟ้า (SubStation) ของโรงงาน

ง. การเลือกสีของท่อก๊าซ

การเลือกใช้สีของท่อก๊าซหากมีการออกแบบอย่างเป็นระบบจะช่วยในด้านความปลอดภัยและการซ่อมบำรุง โดยมาตรฐาน EPB 203 (มกราคม 2551) ของกระทรวงสิ่งแวดล้อมประเทศแคนาดา ได้กำหนดสีของท่อในระบบบำบัดน้ำเสียดังนี้

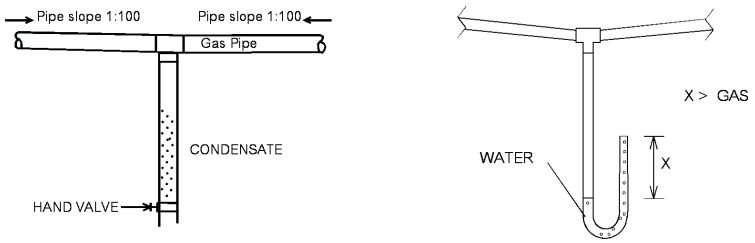
ท่อสำหรับ	สีของท่อ
ท่อส่งตะกอน :	
- ตะกอนดิบ	น้ำตาลคาดดำ
- หมุนเวียนตะกอน ด้านดูด	น้ำตาลคาดเหลือง
- ดึงตะกอน	น้ำตาลคาดส้ม
- หมุนเวียนตะกอน ด้านส่ง	น้ำตาล
ท่อส่งก๊าซ :	
- ก๊าซชีวภาพ	ส้มหรือแดง
- ก๊าซธรรมชาติ	ส้มหรือแดงคาดดำ
อื่น ๆ :	
- น้ำเสีย	เทา

หมายเหตุ : 1. ระบุทิศทางการไหล(ลูกศร) บนผิวท่อ
2. ให้ใช้สีตามที่กำหนดตลอดความยาวของท่อ
3. การคาดสี ควรระบุทุก 9 เมตร และทุกจุดที่จะเริ่มเข้าและหลังจากออกจากกำแพง

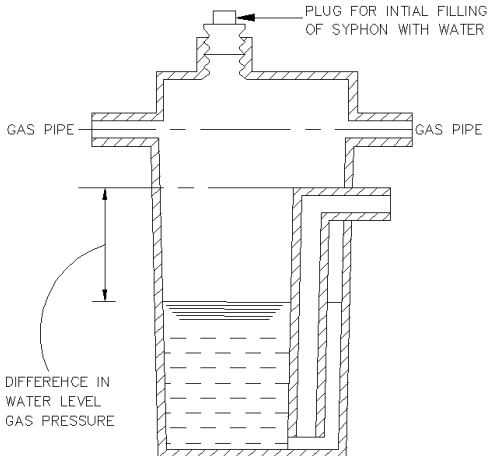
จ. การระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซ (Condensate Drain)

เนื่องจากในระบบก๊าซชีวภาพจะมีไอน้ำจำนวนมาก เมื่อก๊าซไหลผ่านท่อจะมีการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซ และในการเดินท่อส่งก๊าซจะต้องมีการวางท่อในแนวนอนให้มี

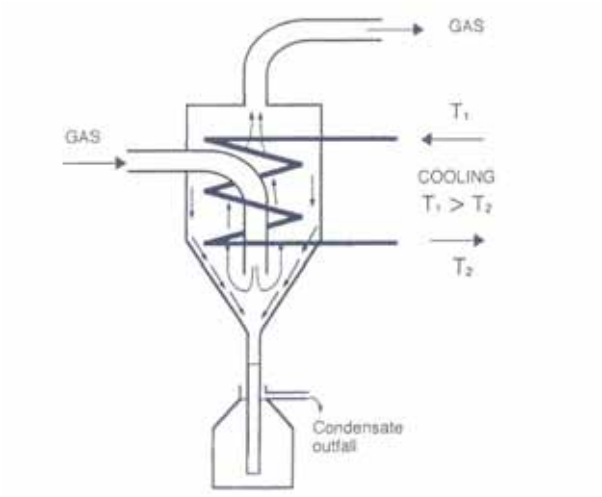
ความลาดเอียงประมาณ1:100 โดยจุดดักน้ำจะต้องติดตั้งบริเวณจุดต่ำสุดของแนวท่อแต่ละช่วงและควรติดตั้งก่อนถึงถังกรอง(ชุด Filter) ดังรูป



รูปที่ 3-19 Manual Condensate Drain แบบ Tee และ แบบ U-Pipe



รูปที่ 3-20 การดักน้ำออกแบบไซฟอน Siphon Condensate Drain



รูปที่ 3-21 ระบบระบายน้ำแบบ Active condensate

สรุปข้อดี- ข้อด้อยของท่อแต่ละแบบ

ประเภท	ข้อดี	ข้อด้อย
Tee (ตัวที)	ราคาถูกและไม่มีอันตรายใดๆกรณีระบบรั่ว	เป็นระบบไม่อัตโนมัติ
U-Pipe Design (ตัวยู)	เป็นแบบอัตโนมัติ	มีอันตรายกรณีก๊าซรั่วในช่วงน้ำระเหยหมด
Siphon and Block gas line if Underground (แบบไซฟอน)	เป็นแบบอัตโนมัติ	ราคาแพง/มีโอกาสน้ำท่วมได้
Active condensate	เป็นแบบอัตโนมัติ	ราคาแพง

ฉ. การเลือกใช้วาล์วและระบบที่เกี่ยวข้องกับวาล์วในระบบส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

เป็นอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่มีหน้าที่เปิดปิดก๊าซและสัมผัสกับก๊าซโดยตรงวาล์วที่ใช้ควรเลือกใช้ชนิดที่ทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซ โดยตัววาล์วอาจจะใช้เหล็กก็ได้ แต่ภายในต้องเคลือบสารเพื่อป้องกันการกัดกร่อนและหน้าวาล์วควรเป็นสเตนเลสแต่ในส่วนของฟาร์มเลี้ยงสัตว์และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กจะเลือกใช้วาล์ว PVC เป็นส่วนใหญ่ ส่วนตัววาล์วนั้นควรเลือกใช้ชนิดที่เป็นบอลวาล์ว เพื่อสามารถเปิดปิดได้อย่างรวดเร็วหากเกิดการรั่วไหลของก๊าซ

รูปที่ 3-22 วาล์วชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 3-2 ตารางเปรียบเทียบวาล์วชนิดต่าง ๆ

ประเภท	ข้อดี	ข้อด้อย
Gate (เกทวาล์ว)	ราคาถูก	ความชื้นอาจจะค้างในร่อง
Globe (โกลบวาล์ว)	ราคาถูกเท่าเกทวาล์ว	ไม่เหมาะสมในกรณีต้องการปิดวาล์วอย่างเร็ว
Butterfly (วาล์วปีกผีเสื้อ)	ราคาถูก	ไม่เหมาะสมสำหรับการส่งจ่ายก๊าซที่ติดไฟ
Ball (บอลวาล์ว)	เหมาะสมสำหรับการปิดวาล์วอย่างเร็ว	ราคาแพง

ฉ-1 วาล์วป้องกันความดันย้อนกลับ (Back Pressure Check Valve)

ติดตั้งที่ท่อทางส่งของปั๊มส่งก๊าซเพื่อป้องกันความดันย้อนกลับขณะปั๊มส่งก๊าซหยุดทำงาน

- วาล์วกันกลับควรติดตั้งในจุดที่มีแรงดันต่ำด้านท้ายของมิเตอร์ตัวปรับ แรงดันและอุปกรณ์ควบคุมก๊าซอื่นๆที่อาจเกิดความเสียหายจากการไหลย้อนของแรงดันในระบบอันเนื่องมาจากคลื่นแรงดันหรือสภาพอื่นๆ
- ขนาด 2 นิ้ว - 12 นิ้ว
- ต้องการการไหลเต็มท่อด้วยแรงดันสูญเสียต่ำ และการไหลสูงสุด
- วาล์วที่ทำด้วยวัสดุที่ทนทานการกัดกร่อน ได้แก่อลูมิเนียม (เกรด 356) เหล็กและสเตนเลส

รูปที่ 3-23 วาล์วป้องกันความดันย้อนกลับ

ฉ-2 วาล์วป้องกันความดันสูงเกินกำหนด (Pressure Relief Valve)

เป็นอุปกรณ์สำหรับป้องกันความดันสูงเกินกว่ากำหนดในระบบกรณีที่ชุดปั๊มส่งก๊าซไม่สามารถควบคุมแรงดันการส่งจ่ายได้

- ต้องสามารถระบายก๊าซออกรวดเร็วและทนต่อปริมาณของก๊าซที่ส่งไปใช้งาน
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดีเนื่องจากในก๊าซชีวภาพ โดยมีก๊าซไฮโดนเจนซัลไฟด์ H_2S (ก๊าซไข่เน่า) มีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อนจึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลส
- ต้องสามารถปรับตั้งแรงดันไดตรงกับการใช้งาน

- ขนาด 2 นิ้ว - 12 นิ้ว
- ค่าแรงดันที่ตั้งไว้ 0.5 oz/in ^{2} - 15 PSIG
- ค่าสุญญากาศที่ตั้งไว้ 0.5 oz/in ^{2} - 12 PSIG
- วัสดุที่ใช้ได้แก่ อลูมิเนียม (เกรด 356) เหล็ก สเตนเลส ไฟเบอร์กลาส และวัสดุอื่นๆ

- ขนาดและวัสดุ
- ช่วงการตั้งแรงดัน : 2.5-3.5 mbar
- ช่วงอุณหภูมิใช้งาน : -192 °C – 150 °C
- ขนาด : 2” x 12”
- วัสดุ : อลูมิเนียม เหล็กหล่อ สแตนเลสสตีล

รูปที่ 3-24 วาล์วป้องกันความดันสูงเกินกำหนด

ช. การเลือกอุปกรณ์อื่น ๆที่เกี่ยวข้องกับส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

ช-1 การเลือกใช้ Blower ส่งก๊าซสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท

เป็นอุปกรณ์สำหรับดูดก๊าซจากบ่อเก็บก๊าซชีวภาพแล้วส่งไปยังจุดใช้งานที่ต้องการแรงดันสูงหรืออาจจะเป็นการส่งไปใช้งานในระยะทางไกลและจำเป็นต้องมีชุดควบคุมแรงดัน สำหรับส่งจ่ายก๊าซ

- ต้องสามารถส่งก๊าซได้เพียงพอกับปริมาณการใช้จริง
- ต้องมีอุปกรณ์รองรับการสั่นสะเทือนของ Blower และ มอเตอร์
- ท่อก๊าซที่ต่อเข้ากับตัว Blower ต้องมีท่ออ่อนรับการสั่นสะเทือน
- มอเตอร์ต้องเป็นชนิดกันระเบิด (สำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่)
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนจาก Biogas
- อาคารที่คลุม Gas Blower จะต้องมีอากาศเปิด เพื่อระบายก๊าซที่อาจจะรั่วออกมาทำให้เกิดอันตราย

รูปที่ 3-25 Blower แบบต่าง ๆ

ช-2 การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันการระเบิด

ควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เป็นแบบป้องกันการระเบิด (Explosion Proof) เช่น มอเตอร์ / ไฟฟ้าแสงสว่าง ที่อยู่ในบริเวณระบบผลิต/ระบบส่งจ่าย/ระบบใช้ก๊าซชีวภาพ

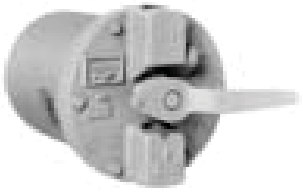
ช-3 กับดักระบายคอนเดนเสทและสิ่งปนเปื้อน (Condensate and Sediment Traps)

ติดตั้งที่ท่อส่งก๊าซ เพื่อใช้ระบายน้ำและสิ่งปนเปื้อนออกจากระบบส่งก๊าซ

- ช่วงอุณหภูมิ : -30 ^{O}C ถึง 150 ^{O}C
- ขนาด : 2 นิ้ว - 12 นิ้ว
- วัสดุที่ใช้ ได้แก่ เหล็ก สเตนเลส และวัสดุอื่นๆ
- ความจุต่ำสุด 12 แกลลอน
- แรงดันมาตรฐาน 5 PSIG และสูง ถึง 25 PSIG
- สามารถดักน้ำและสิ่งแปลกปลอมในก๊าซชีวภาพ
- มีความจุที่มาก / มีท่อระบายน้ำอัตโนมัติ

รูปที่ 3-26 กับดักระบายคอนเดนเสทและสิ่งปนเปื้อน

ช-4 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap – Manual



- แรงดันใช้งานสูงสุด : 5 PSIG
- มาตรฐานการต่อด้วย 1" NPT /ทำงานเร็วและง่าย
- ตัววัสดุทำด้วย อลูมิเนียม (เกรด 356) และภายในทำด้วยสเตนเลส

รูปที่ 3-27 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ

ช-5 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap – Automatic

- ต้องสามารถระบายน้ำได้ทัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการส่งก๊าซ
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดี เนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสเตนเลส

รูปที่ 3-28 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ

ช-6 ชุดดักน้ำและสิ่งสกปรก (Gas Filter)

- ต้องสามารถกรองสิ่งสกปรกหรือเศษสิ่งสกปรก ไม่ให้ไหลเข้าไปในระบบได้และควรมีขนาดใหญ่เพียงพอกับปริมาณก๊าซที่ไหลผ่าน
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดีเนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วยซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อนจึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสเตนเลส

รูปที่ 3-29 ชุดดักน้ำและสิ่งสกปรก

3.4 ส่วนการนำก๊าซไปใช้ประโยชน์

ก่อนที่จะนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์นั้น สิ่งที่ต้องพิจารณาคือ แรงดันในการส่งก๊าซไปยังจุดใช้งานซึ่งอุปกรณ์ที่นำก๊าซชีวภาพแต่ละชนิดต้องการไม่เท่ากันซึ่งอาจจะอยู่ในช่วง 200-300 mbar (2.9-4.3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ส่วนอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่นำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์โดยจะมีเกณฑ์ในการกำหนดจากความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพจำเพาะ และที่สำคัญไม่น้อยไปกว่ากันก็คือเปอร์เซ็นต์มีเทน CH_4 ซึ่งโดยทั่วไปจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ60 และ H_2S จะต้องอยู่ในช่วง 200-500 ppm. ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานว่าจะกำหนดสูงสุดไม่เกินเท่าไร่

ก. การนำก๊าซชีวภาพใช้ในรูปของความร้อนโดยตรง

โดยทั่วไปแล้วจะนิยมนำก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง เป็นต้น

ทางเลือกนี้จะเหมาะสำหรับโรงงานที่มีรูปแบบการใช้พลังงานความร้อนอยู่แล้วและปริมาณความต้องการก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงมีสูงพอ เมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ให้สามารถใช้งานกับก๊าซชีวภาพได้จะเป็นการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานที่ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง

ทั้งนี้ในการนำก๊าซชีวภาพในรูปความร้อนทั้งที่ผลิตในประเทศหรือนำเข้าจากต่างประเทศหรือดัดแปลงจากเชื้อเพลิงประเภทอื่น (เช่น น้ำมันเตา) จะต้องมีวิศวกรเซ็นรับรองการออกแบบและติดตั้งตามกฎกระทรวงกำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ. 2550

ข้อควรคำนึง : การส่งก๊าซชีวภาพออกแบบ เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตัน/การถูกกัดกร่อนของอุปกรณ์จากก๊าซ H_2S

รูปที่ 3-30 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในรูปของความร้อนโดยตรง

ข. การนำก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อการผลิตพลังงานกล/ ไฟฟ้า

ข-1 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลง (BG 100%)

ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่หรือในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการกำลังผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ 100 kW ขึ้นไปมักจะหันมาใช้เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพแทนได้ทั้งหมด เนื่องจากเครื่องยนต์เบนซินขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 100 kW ขึ้นไปหาได้ยากในท้องตลาดจะมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลที่มีขนาดความจุกระบอกสูบที่ใหญ่กว่าเครื่องยนต์เบนซินทำให้สามารถผลิตกำลังได้ตามที่ต้องการได้ แต่เนื่องจากการดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลนี้ มีความซับซ้อนและมีรายละเอียดมากกว่าเครื่องยนต์เบนซิน ทำให้การบำรุงรักษาต่าง ๆ มักจะกระทำโดยผู้ผลิตหรือผู้ดัดแปลงดังกล่าวเป็นผู้ทำการบำรุงรักษา

รูปที่ 3-31 เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพแทนได้ทั้งหมดต่อร่วมกับ Synchronous/Induction Generator เพื่อผลิตไฟฟ้า

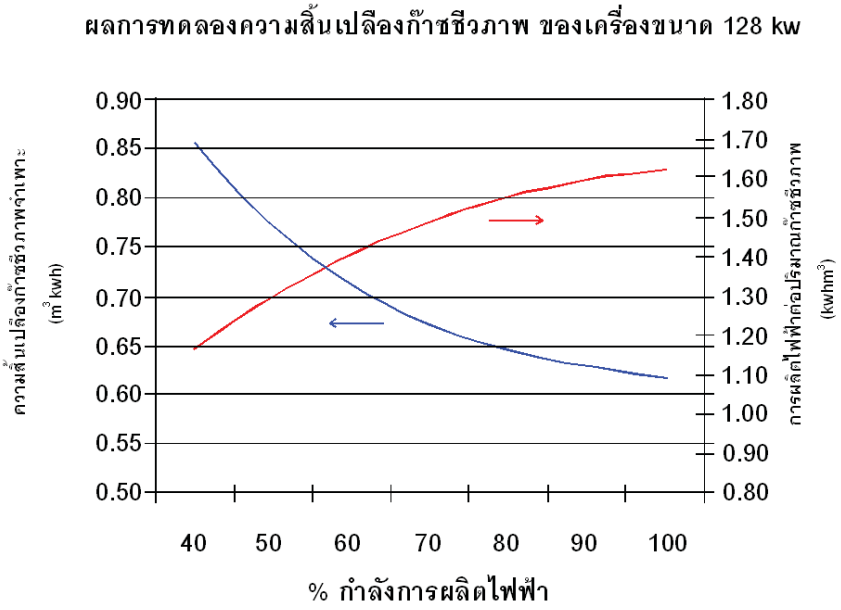
ข-2 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (เครื่องนำเข้า)

ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความต้องการไฟฟ้ามากกว่า 200 kW ขึ้นไปนิยมเลือกเครื่องปั่นไฟที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งจะเป็นเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพโดยเฉพาะซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน จากก๊าซชีวภาพเป็นไฟฟ้าได้สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ดัดแปลงจากเครื่องยนต์เบนซินหรือเครื่องยนต์ดีเซล แต่อาจจะมีข้อจำกัดเรื่องราคาเครื่องและค่าบำรุงรักษาที่สูงกว่าเครื่องยนต์ดัดแปลงภายในประเทศ

รูปที่ 3-32 เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโดยเฉพาะ (เครื่องยนต์นำเข้า)โดยต่อร่วมกับ Synchronous Generator ในการผลิตไฟฟ้า

ค. การเลือกขนาดเครื่องปั่นไฟ

การเลือกขนาดหรือกำลังการผลิตของอุปกรณ์นำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้ก๊าซชีวภาพ มีความจำเป็นมากควรเลือกขนาดเครื่องยนต์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้า ให้มีความเหมาะสมกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพให้แต่ละวัน



รูปที่ 3-33 กราฟแสดงผลการทดสอบความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพของเครื่องขนาด 128 kW.

จากรูปกราฟจะเห็นว่าการเดินเครื่องปั่นไฟที่กำลังผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าร้อยละ 50 ลงมา การผลิตไฟฟ้าต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากก๊าซชีวภาพไปเป็นไฟฟ้าลดลงอย่างมาก ดังนั้นผู้ออกแบบควรจะแนะนำให้ผู้ประกอบการเลือกขนาดเครื่องให้เหมาะสม กล่าวคือ การใช้งานจริงควรจะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ70-85 ของกำลังผลิตจะได้ประสิทธิภาพที่ดีและสามารถใช้เครื่องปั่นไฟได้คุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

ง. ปล่องเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง (Flare)

Flare ใช้สำหรับระบายก๊าซในระบบทิ้งโดยเผาไหม้ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ เมื่อปริมาณก๊าซมากเกินความต้องการใช้งานโดยจะมีชุดควบคุมและตรวจจับแรงดันของก๊าซเพื่อสั่งให้ปล่องเผาก๊าซทำงาน รวมถึงมีอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับเข้าไปในระบบในขณะมีการทำงานของปล่องเผาก๊าซด้วย Flare ที่ผลิตในประเทศหรือนำเข้าจากต่างประเทศจะต้องมีวิศวกรเซ็นรับรองการออกแบบและติดตั้งตามกฎกระทรวง กำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ. 2550

- ติดตั้งห่างอย่างน้อย 30 เมตรจากแหล่งกำเนิดก๊าซชีวภาพหรือเก็บก๊าซชีวภาพ
- ความสูงไม่น้อยกว่า 4 เมตร
- มีหัวเผานำ
- สามารถเผาไหม้ในกรณีที่ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำกว่า 400 BTU./ลบ.ฟุต
- มีระบบป้องกันการไหลย้อน ลงด้านล่างเพื่อป้องกันลม ซึ่งไม่ควรเป็นแบบปลายท่อจุ่มน้ำ
- การเผาไหม้แบบวอร์เท็กซ์ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้
- ระบบจุดไฟควรเป็นแบบ non-spark และไม่ควรใช้เชื้อเพลิงอื่นในการจุด
- ในการเผาจะต้องเหมาะสมกับอัตราการที่ขึ้นในแต่ละรอบชั่วโมง

- สามารถจุดไฟแบบอัตโนมัติ และ สามารถจุดไฟซ้ำ
- ระบบหัวเผานำต้องสามารถทำงานที่ต่ำกว่า 23 mbar (องค์ประกอบมาตรฐาน)
- เผาไหม้เร็ว และง่ายในการดูแลรักษา
- ติดตั้งก่อนท่อส่งก๊าซ Generator (FFG)
- ต้องมีระบบป้องกันไฟย้อนกลับ ในขณะเผาไหม้
- ต้องมีชุดควบคุมการจ่ายก๊าซอัตโนมัติ
- ต้องออกแบบให้เผาไหม้ก๊าซเพียงพอกับปริมาณก๊าซที่ระบายทิ้ง

รูปที่ 3-34 ปล่องเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง

จ. ส่วนอุปกรณ์หรือพื้นที่อื่นที่มีผลต่อความปลอดภัย

จ-1 ระบบป้ายสัญญาณเตือนเพื่อความปลอดภัยและระบบถังดับเพลิง

ในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพนั้น เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานของพนักงานในหลายจุด ดังนั้น นอกเหนือจากการออกแบบและการดูแลระบบที่เหมาะสมดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ทางผู้ประกอบการสามารถนำระบบป้ายสัญญาณเตือนเพื่อความปลอดภัยมาใช้ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพได้ตามความเหมาะสม ทั้งนี้ บริเวณที่ควรมีการติดป้ายเตือนความปลอดภัยควรมีอย่างน้อยดังนี้

(1) บริเวณถังหมักและถังเก็บก๊าซชีวภาพ

- ควรติดป้าย ห้ามจุดไฟ ห้ามสูบบุหรี่ ห้ามใช้โทรศัพท์และห้ามเข้าก่อนได้รับอนุญาต

(2) บริเวณพื้นที่ส่วนเครื่องปั่นไฟ และหัวเผา

- ควรติดป้าย ห้ามจุดไฟ ห้ามสูบบุหรี่ ห้ามใช้โทรศัพท์และห้ามเข้าก่อนได้รับอนุญาต
- สวมหมวกนิรภัย สวมรองเท้านิรภัย สวมปลั๊กอุดหูลดเสียง

(3) บริเวณอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบก๊าซชีวภาพ

- ควรติดป้าย ห้ามจุดไฟ ห้ามสูบบุหรี่ และห้ามเข้าก่อนได้รับอนุญาต

นอกจากนี้ในบริเวณที่เกี่ยวข้องควรมีการนำอุปกรณ์ดับเพลิงและติดตั้งป้ายถังดับเพลิงให้ทั่วถึง คือ ติดตั้งเครื่องดับเพลิงแบบมือถือ 1 เครื่องต่อพื้นที่ไม่เกิน 1,000 ตารางเมตร ทุกระบบไม่เกิน 45 เมตร สูงจากพื้นไม่เกิน 1.5 เมตร ทั้งนี้ให้ยึดกับมาตรฐานการติดตั้งถังดับเพลิง ตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (พ.ศ. 2522) และกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้อง ตาม พรบ. ดังกล่าว (กฎกระทรวงฉบับที่ 33 พ.ศ. 2535 และกฎกระทรวงฉบับที่ 55 พ.ศ. 2543) ลักษณะการติดตั้งถังดับเพลิงใกล้ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 3-35 การติดตั้งถังดับเพลิงใกล้กับถังเก็บก๊าซชีวภาพ

ฉ. อุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้อง

ฉ-1 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ (Biogas analyzer)

เป็นอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ความเข้มข้นขององค์ประกอบต่างๆในก๊าซชีวภาพ เช่น ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไข่เน่า (H_2S) และ สามารถส่งสัญญาณไปเตือนภัย หรือ ส่งสัญญาณไปหยุดการทำงานของหัวพ่นไฟ เมื่อคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพผิดปกติเช่น

- เมื่อความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (CH_4) สูงเกินกำหนดต้องส่งสัญญาณไปเตือนภัยและหยุดการทำงานของหัวพ่นไฟ เพื่อป้องกันการ Over heat ในห้องเผาไหม้
- เมื่อความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (CH_4) ต่ำกว่ากำหนดต้องส่งสัญญาณไปเตือนภัยเพื่อป้องกันการตัดดับของหัวพ่นไฟ
- เมื่อความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (O_2) มากกว่าร้อยละ 4 ต้องส่งสัญญาณไปเตือนภัยและหยุดการทำงานของหัวพ่นไฟ เพื่อป้องกันการระเบิดในระบบ
- เมื่อความเข้มข้นของก๊าซไข่เน่า (H_2S) มากกว่า 1,500 ppm. ต้องส่งสัญญาณไปเตือนภัยเพื่อป้องกันการกัดกร่อนอุปกรณ์ต่างๆ โดยเฉพาะอุปกรณ์ควบคุมความปลอดภัย รายละเอียดของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ ควรมีคุณสมบัติดังนี้

รูปที่ 3-36 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ

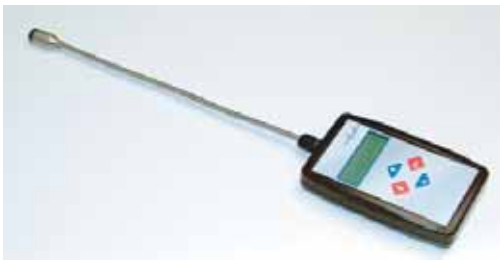
Biogas analyzer

- ต้องสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมงและอ่านค่าได้ แม่นยำ
- ต้องมีปั๊มเก็บก๊าซตัวอย่าง ชุดหล่อเย็น ไส้กรองฝุ่นและอุปกรณ์ดักน้ำ
- ต้องสามารถใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์และมีโปรแกรม ประมวลผล
- ต้องสามารถส่งสัญญาณไปเตือนภัยและหยุดการทำงานของหัวทนไฟ
- ต้องสามารถตรวจสอบการทำงานได้เอง(Self - test) และแสดงสัญญาณ เตือนในกรณีไม่พร้อมใช้งาน (Error display)

ฉ-2 เครื่องวัดการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ (Biogas leakage detector)

เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจหาการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ ณ จุดต่างๆ เช่น ข้อต่อ หน้าแปลน และผ้าใบ เพื่อความปลอดภัย คุณสมบัติของเครื่องวัดควรมีรายละเอียดดังนี้

.



- ต้องอ่านค่าได้แม่นยำ
- ต้องสามารถปรับเทียบได้เอง (Self -calibrate)
- ต้องสามารถแสดงค่าสูงสุดของการวัด

รูปที่ 3-37 เครื่องวัดการการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ

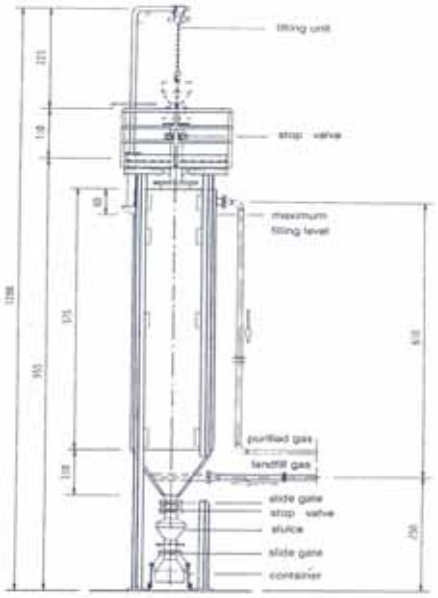
นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอีกหลายชนิดที่นำมาใช้ตรวจวัดก๊าซชีวภาพ

3.5 ส่วนของระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพและกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

การปรับลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพนั้นมีคุณสมบัติเป็นก๊าซพิษ และเมื่อสัมผัสกับน้ำหรือไอน้ำจะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดซัลฟิวริค (H_2SO_4) ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรดหรือไอกรดที่สามารถกัดกร่อนโลหะและวัสดุอุปกรณ์ได้ ดังนั้นการลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในก๊าซชีวภาพก่อนการนำไปใช้ประโยชน์นั้นจะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปและจะช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ใช้ก๊าซด้วย

สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการปรับลดไฮโดรเจนซัลไฟด์นั้น สามารถทำได้ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

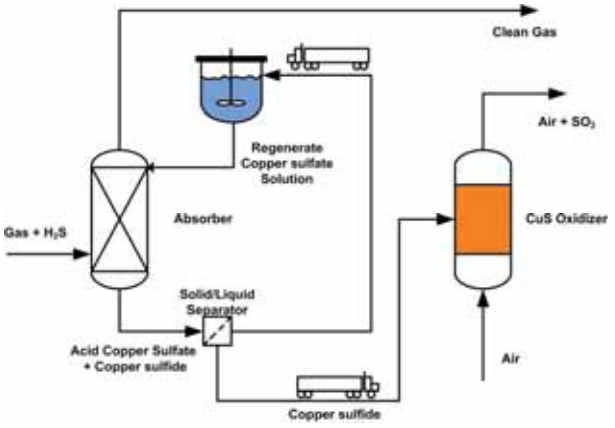
1) **การฉีดสารละลายเหล็กออกไซด์ (Iron Cholride Injection)** วิธีการนี้จะเป็นการใช้สารละลายเหล็กออกไซด์ฉีดเข้าไปในถังที่มีก๊าซผสมที่มีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่มากโดยตรง เพื่อให้เหล็กออกไซด์เข้าไปทำปฏิกิริยากับ H_2S เกิดเป็นตะกอนของเหล็กขึ้นมา วิธีการนี้จะสามารถลดปริมาณก๊าซ H_2S ได้เป็นจำนวนมาก แต่ก็ยังไม่มากพอที่จะลดปริมาณได้ถึงระดับที่สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ได้



รูปที่ 3-38 การกำจัด H_2S โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีในการกำจัดและปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) ด้วยวัสดุเหล็ก (Ferrous)

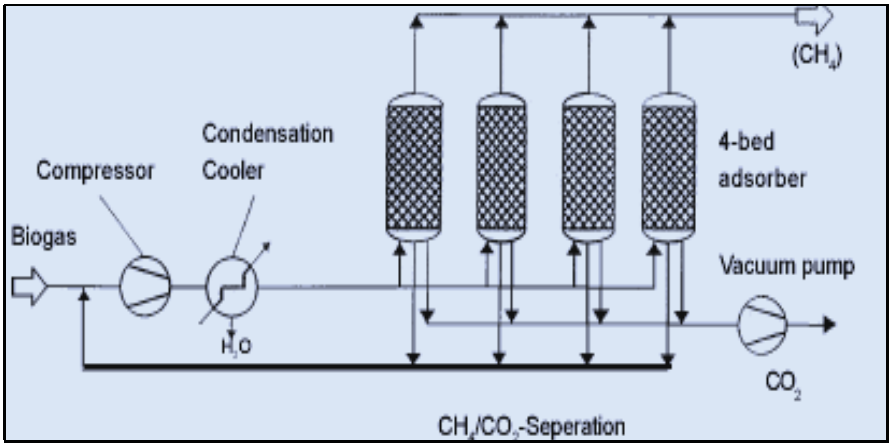
2) **การใช้เบดร่วมกับเหล็กออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ (Iron Oxide or Hydroxide Bed)** วิธีการนี้จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการดักจับ H_2S ของเหล็กออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ด้วยการใช้เบดเข้ามาช่วย โดยสารละลายเหล็กจะเข้าไปเคลือบที่ผิวของเบด ทำให้เกิดการเพิ่มพื้นที่สัมผัสมากขึ้นได้ จากการทดลองกับปริมาณก๊าซ H_2S ที่มีมากถึง 1,000 ถึง 4,000 ppm ในก๊าซชีวภาพ ที่ผลิตได้ พบว่าเบด 100 กรัม สามารถเก็บซัลไฟด์ไว้ได้มากถึง 50 กรัม อย่างไรก็ตาม ราคาของเบดที่เป็นพลาสติกจะมีราคาที่ค่อนข้างแพงกว่า เมื่อเทียบกับเบดที่เป็นชิ้นไม้หรือวัสดุอื่นๆ

สำหรับวิธีการรีเจนเนอเรทสารละลายเหล็ก เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่นั้น จะใช้การฉีดพ่นอากาศเข้าไป ซึ่งจากวิธีการนี้พบว่าจะเกิดปัญหาขึ้นได้ กล่าวคือ ปฏิกิริยาการรีเจนเนอเรท สารละลายเหล็กแบบนี้จะเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน จึงต้องใช้ความระมัดระวังในการดำเนินกระบวนการเป็นอย่างมาก



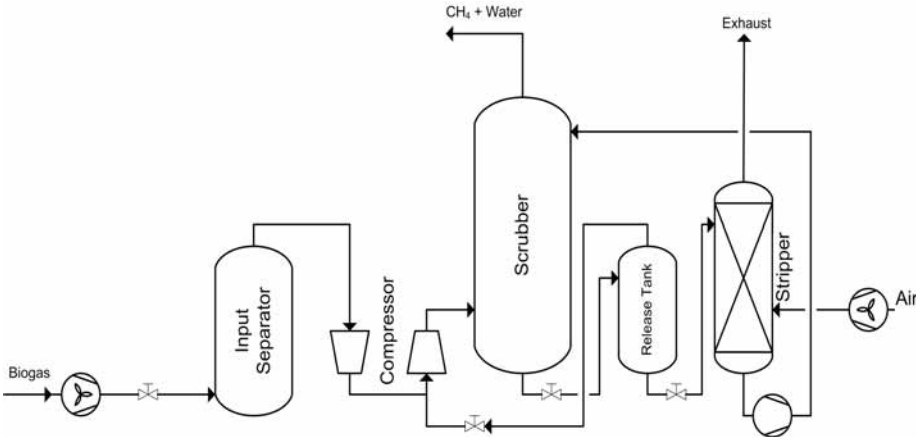
รูปที่ 3-39 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารละลายเหล็ก

3) **การใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon Sieve)** วิธีการนี้มักจะนำไปใช้ในเพื่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ผ่านทางกระบวนการ pressure swing โดยโมเลกุลของ H_2S จะถูกดักจับโดยรูพรุนที่มีอยู่ในถ่านกัมมันต์ โดยการใช้ความดันจากระบบ pressure swing เป็นตัวเสริม โดยผงถ่านกัมมันต์จะถูกบรรจุอยู่ในเพลท ที่วางขวางอยู่ในถังแยกก๊าซ โดยทั่วไปเพลทที่ใช้บรรจุถ่านกัมมันต์จะมีทั้งหมด 4 เพลท และเมื่อถ่านกัมมันต์ดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถึงระดับอิ่มตัวแล้ว ก็จะถูกนำออกมาเพื่อบรรจุถ่านกัมมันต์รุ่นใหม่ลงไป วิธีการนี้ยังสามารถใช้ได้กับการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพอีกด้วย



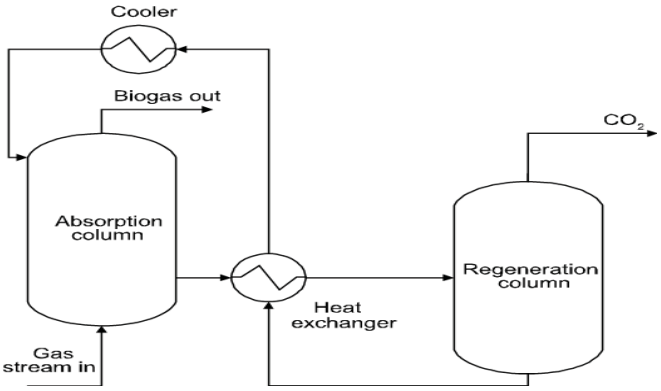
รูปที่ 3-40 กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธี Pressure swing adsorption

4) **Water Scrubbing** เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กำจัดก๊าซไฮโรเจนซัลไฟด์ที่ใช้มาเป็นระยะเวลานานแล้ว หลักการคือ การใช้ละอองน้ำฉีดเป็นฝอยจากยอดหอ เพื่อดักจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้จะทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ก็คือ น้ำที่จับกับก๊าซ H2S จะกลายเป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งยากต่อการกำจัด เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมสำหรับการกำจัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นด้วย



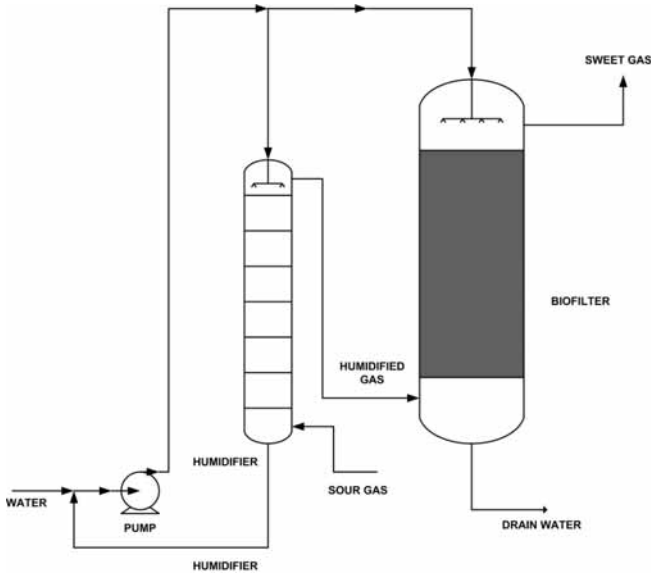
รูปที่ 3-41 ผังกระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยน้ำภายใต้ความดันสูง (High pressure water scrubbing)

5) **Selexol Scrubbing** สารละลาย Selexol คือสารละลายของ polyethylene glycol ซึ่งถูกนำมาใช้ในการกำจัดก๊าซ H_2S และ CO_2 สารเคมีที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มากกว่าน้ำ เช่น พวกด่างหลายชนิด เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[Ca(OH)_2]$ โซเดียมไฮดรอกไซด์ [NaOH] เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ เช่น Polyethylene glycol scrubbing ซึ่งมีบริษัทได้จดทะเบียนเครื่องหมายการค้าชื่อว่า “Selexol” ซึ่งสารละลายโพลีเอทิลีน ไกลคอลนี้ เป็นสารละลายที่มีลักษณะคล้ายกับน้ำ มีคุณสมบัติสามารถดูดซับก๊าซ CO_2 และ H_2S ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสารละลายนี้สามารถดูดซับก๊าซทั้งสองชนิดได้ดีกว่าน้ำมาก ทั้งยังดูดซับมีเทนน้อยกว่าน้ำ จึงสามารถใช้ได้ในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำ



รูปที่ 3-42 กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยสาร “Selexol”ภายใต้ความดันสูง

6) **Biological Filter** เป็นการใช้ตัวกรองทางชีวภาพร่วมกันกับน้ำ หลักการคือ เมื่อน้ำจับกับก๊าซ H_2S แล้วเกิดเป็นน้ำเสียขึ้นมาแล้วนั้น น้ำเสียเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียบางชนิด ที่ติดอยู่ในตัวกรองที่ก้นหอ เป็นการกำจัดกลิ่นออกจากน้ำเสีย เพื่อสามารถนำน้ำไปใช้ในทางการเกษตรต่อไปได้



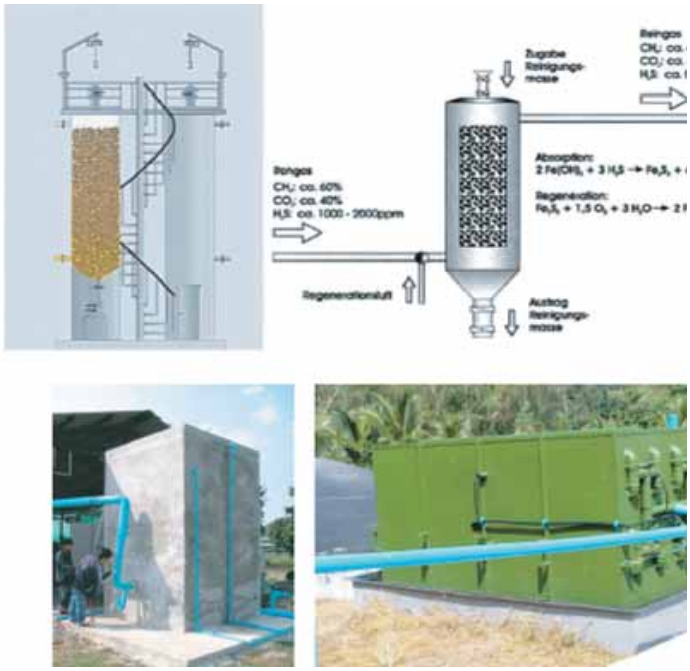
รูปที่ 3-43 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบต่อเนื่องด้วยปฏิกรณ์ชนิด Bio-Filter

การเลือกประเภทชุดกรองก๊าซชีวภาพ

ระบบกำจัดกำมะถันจากก๊าซชีวภาพ (Desulphurization Unit)

ระบบกำจัดกำมะถันหรือระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ H_2S (ก๊าซไข่เน่า) ออกจากก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ H_2S (ก๊าซไข่เน่า) นี้จะเป็นสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบก๊าซชีวภาพเกิดความเสียหาย

- การเติมสารเพื่อกำจัดกำมะถัน (Using Of an Additive)
- การเติมออกซิเจน (Adding Of Oxygen)
- ระบบทริกเกิ้ลเบด (Trickle Bed Reactive)
- ระบบกำจัดโดยสารเคมี (Chemical Desulphurization Reactor)



รูปที่ 3-44 ชุดฟอกก๊าซชีวภาพต่าง ๆ

หมายเหตุ : วัสดุที่ใช้ทำชุดฟอกก๊าซหากทำด้วยคอนกรีตหรือก่ออิฐฉาบปูนจะมีอายุการใช้งานสั้น ประมาณ 3-4 ปี ปูนภายในบ่อจะเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว

เอกสารอ้างอิง

1/ " Upgrading biogas to biomethane and other fuel"

2/ www.suscon.org/news/biomethane_report/Chapter_3.pdf

3/ สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สนับสนุนโดย กองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน

บทที่ 4
การกำหนดบริเวณอันตราย (Hazardous Zone)

4.1 การจำแนกบริเวณอันตราย

การจำแนกบริเวณอันตรายของระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ โดยบริเวณอันตรายของระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพแบ่งออกเป็น 2 โซน ดังนี้

1 **บริเวณอันตราย โซน 0** ได้แก่บริเวณดังต่อไปนี้

ก. สถานที่ซึ่งมีก๊าซอย่างต่อเนื่องและมีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้

ข. สถานที่ซึ่งมีก๊าซตลอดเวลาและมีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้

2 **บริเวณอันตราย โซน 1** ได้แก่บริเวณดังต่อไปนี้

ก. สถานที่ซึ่งในภาวะการทำงานปกติอาจมีก๊าซที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้

ข. สถานที่ซึ่งอาจมีก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดระเบิดได้บ่อยๆ เนื่องจากการซ่อมแซมบำรุงรักษาหรือรั่ว

ค. สถานที่ซึ่งเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหายหรือทำงานผิดพลาดอาจทำให้เกิดก๊าซที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดระเบิดได้และในขณะเดียวกันอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งเป็นสาเหตุให้อุปกรณ์ไฟฟ้าดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดของการระเบิดได้

ง. สถานที่ซึ่งอยู่ใกล้บริเวณอันตรายโซน 0 และอาจได้รับการถ่ายเทก๊าซที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดระเบิดได้ ถ้าไม่มีการป้องกันโดยการระบายอากาศโดยดูดอากาศเข้ามาและมีระบบรักษาความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพ หากระบบระบายอากาศทำงานผิดพลาด

4.2 ระยะห่างของบริเวณอันตรายของระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ

ระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ ต้องมีระยะห่างของบริเวณอันตรายตาม **ตารางที่ 4.1**

ตารางที่ 4.1 ระยะห่างของบริเวณอันตราย

ตำแหน่ง	ขอบเขตระยะห่าง	ประเภทของบริเวณอันตราย
1. บ่อ/ถังผลิต/ถังสำรองหรือบ่อ/บ่อเก็บก๊าซ	ภายในระยะ 7.50 เมตร ทุกทิศทางรอบบริเวณบ่อหมัก/บ่อหมักก๊าซ	โซน 0
2. ปลายท่อของชุดควบคุม แรงดัน	ก. ภายในเส้นทางที่ก๊าซผ่าน ข. ภายในระยะ 1.50 เมตร ทุกทิศทางจากจุดที่ระบายก๊าซ ค. ภายในระยะ 1.50 เมตรขึ้นไปถึง 4.00 เมตร ในแนวตั้งเหนือระดับ	โซน 0 โซน 0 โซน 1
3. เครื่องสูบอัดก๊าซชีวภาพ (ในอาคาร)	ก. ภายในห้องที่มีเครื่องดังกล่าว ข. ภายในระยะ 5.00 เมตร ภายนอกห้องที่มีเครื่องดังกล่าว หรือภายในระยะ 5.00 เมตรของช่องเปิดภายนอกใดๆ	โซน 0 โซน 1

ตารางที่ 4.1 ระยะห่างของบริเวณอันตราย (ต่อ)

ตำแหน่ง	ขอบเขตระยะห่าง	ประเภทของบริเวณอันตราย
4. ระบบท่อส่งก๊าซ	ภายในระยะ 1.50 เมตร ทุกทิศทาง	โซน 1
5. จุดนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	ก. ภายในระยะ 1.50 เมตร ทุกทิศทางจากจุดที่มีการนำก๊าซชีวภาพใช้ประโยชน์	โซน 1

4.3 ระบบไฟฟ้า เครื่องไฟฟ้า อุปกรณ์ ที่ใช้ในบริเวณอันตรายในระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ

1) ระบบไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้า บริภัณฑ์และอุปกรณ์ ที่ใช้ในบริเวณอันตรายโซน 0 โซน 1 ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลอันเป็นที่ยอมรับ เช่น NFPA* หมายเลข 70 NEC IEC*

2) อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด ที่จะนำมาใช้ในบริเวณอันตรายโซน 0 โซน 1 จะต้องได้รับการรับรองจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ส่วนราชการหรือรัฐวิสาหกิจที่เกี่ยวข้องหรือได้รับการรับรองจากสถาบันต่างประเทศ เช่น สถาบัน UL แห่ง ประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ สถาบัน BASEEFA แห่งประเทศอังกฤษ หรือสถาบัน PTB แห่งประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน เป็นต้น

4.4 บริเวณเขตอันตรายสำหรับระบบก๊าซชีวภาพในหลุมฝังกลบขยะ

การดำเนินโครงการด้านก๊าซชีวภาพจากหลุดฝังกลบขยะมีความเป็นอันตรายมากกว่าระบบก๊าซชีวภาพประเภทอื่น เนื่องจากสภาพพื้นที่การทำงานที่เสี่ยงต่ออันตรายมากกว่าพื้นดินปกติ ในการออกแบบด้านความปลอดภัยนั้น จำเป็นต้องทราบถึงสภาวะเสี่ยงอันตรายต่างๆ ทั้งนี้แต่ละโครงการควรได้รับการออกแบบให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ เพื่อประโยชน์ในการใช้งานและมีความปลอดภัยสูงสุด ดังนี้

4.4.1 อันตรายจากสภาพการทำงานบนกองขยะ

ระบบก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบต้องมีการก่อสร้างระบบท่อรวบรวมก๊าซบนหลุมฝังกลบ ซึ่งส่วนมากยังไม่มีการปิดทับด้วยดิน หรือหากมี ในขั้นตอนการก่อสร้างก็มักจะต้องมีการเปิดหน้าดิน หรือขุดหลุมบนกองขยะทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องทำงานอยู่บนขยะ และอยู่ใกล้กับเครื่องจักรกลหนักตลอดเวลา จึงควรระวังอันตรายดังต่อไปนี้

(1) <u>อันตรายจากการใช้เครื่องจักรกลหนัก</u> ตามปกติเมื่อต้องทำงานกับเครื่องจักรกล ผู้ปฏิบัติงานต้องปฏิบัติตามมาตรฐานความปลอดภัยอยู่แล้ว แต่การปฏิบัติงานบนกองขยะต้องเพิ่มความระมัดระวังมากขึ้นเพราะสภาพบนกองขยะมีการทรุดตัวมากกว่าพื้นดินปกติ เช่นการใช้รถเครน อาจต้องเพิ่มขนาดของแผ่นฐานรองขาเครนให้มีขนาดใหญ่กว่าปกติ นอกจากนี้มักเกิดปัญหาการคุมงานไม่ทั่วถึง เพราะผู้คุมงานระดับสูงมักหลีกเลี่ยงการลงพื้นที่หน้างาน

(2) <u>**อันตรายจากสภาพพื้นที่บนกองขยะ**</u> การปฏิบัติงานบนกองขยะควรคำนึงถึงความปลอดภัยด้านต่างๆ ดังนี้

• ***อันตรายจากวัสดุแปลกปลอมและของมีคม*** สภาพกองขยะเมื่อขุดเปิดหน้าดินขึ้นมามักประกอบด้วยเศษสิ่งปฏิกูล และวัสดุที่มีความแหลมคม เช่นเศษแก้ว เศษเหล็ก ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานควรมีอุปกรณ์ความปลอดภัยส่วนบุคคลต่างๆ ให้ครบถ้วน เช่นรองเท้านิรภัย ถุงมือ หมวก แว่นตา เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจมีวัสดุอันตรายนอกเหนือความคาดหมาย เช่นวัตถุระเบิดปะปนมากับขยะ ดังนั้นควรปฏิบัติงานในตำแหน่งที่มีความปลอดภัยหากมีการระเบิดเกิดขึ้น และไม่ควรแกะหรือทุบทำลายวัตถุต้องสงสัย

• ***อันตรายจากการเข้าทำงานในพื้นที่อับอากาศ (confine space)*** *และสภาพพื้นที่ไวไฟ* บนพื้นที่กองขยะมีก๊าซหลายประเภทเกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลาย นอกเหนือจากก๊าซพิษที่จำเป็นต้องใช้หน้ากากป้องกันก๊าซแล้ว การทำงานในหลุมหรือท้องร่องที่ขุดขึ้นบนกองขยะมักมีสภาพอับอากาศได้ง่ายกว่าปกติ เนื่องจากมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมาไล่อากาศออกอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นหากจำเป็นต้องเข้าปฏิบัติงานในพื้นที่ดังกล่าวควรมีอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย รวมทั้งผู้ที่ลงไปต้องผูกเชือกโรยตัวลงไปโดยมีผู้ร่วมงานคอยอยู่ด้านบน ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน เช่นผู้ที่ลงไปในหลุมเกิดหมดสติ ให้ช่วยเหลือโดยการสาวเชือกดึงตัวขึ้นมา ไม่ควรส่งคนลงไปในหลุมเพื่อให้การช่วยเหลือ เพราะอาจได้รับก๊าซและหมดสติตามกันไปได้ ในกรณีที่ต้องทำงานที่ก่อให้เกิดประกายไฟ เช่นงานเชื่อมต่างๆ ควรมีการตรวจวัดปริมาณก๊าซที่อาจติดไฟได้ก่อนเริ่มงานและขณะปฏิบัติงาน

• ***อันตรายจากการพังทลาย*** ในกรณีที่มีการขุดหลุมหรือร่องบนกองขยะจะพบว่ามุมกองขยะจะชันมาก เนื่องจากองค์ประกอบขยะประกอบไปด้วยวัสดุประเภทเส้นใย เช่นถุงพลาสติกต่างๆ สานกันอยู่อย่างหนาแน่น จนดูเหมือนกับว่าไม่สามารถพังทลายได้ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความประมาท ทั้งที่ความจริงแล้วขอบหลุมต่างๆ ก็มีโอกาสพังทลายได้เช่นเดียวกัน

4.4.2 อันตรายจากก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะมีองค์ประกอบหลักคือ ก๊าซมีเทน 40-70 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30 – 60 %ที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ ในปริมาณน้อยกว่า 2 % อย่างไรก็ตามมีความเป็นไปได้ในการเกิดอันตรายเนื่องจากก๊าซชีวภาพเองดังต่อไปนี้

• ***อันตรายในด้านความเป็นพิษต่อสุขภาพเนื่องจากการสูดดมก๊าซโดยตรง*** โดยทั่วไปก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะปกติมักไม่มีปริมาณก๊าซพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายแบบเฉียบพลันสูงถึงในระดับที่เป็นอันตรายเมื่อสูดดมเข้าไปโดยตรง ส่วนมากอันตรายมักเกิดจากการเข้าไปทำงานในสถานที่อับอากาศ และอาจมีอาการแสบตา น้ำตาไหลเนื่องจากถูกก๊าซรมเป็นเวลานาน ซึ่งในกรณีหลังนี้สามารถป้องกันได้โดยการสวมแว่นตาสำหรับว่ายน้ำขณะปฏิบัติงาน

• ***อันตรายจากการระเบิดเนื่องจากการอัดแรงดัน*** ก๊าซทุกชนิดเมื่อได้รับการอัดแรงดันให้สูงกว่าภาชนะที่บรรจุก็สามารถเกิดการระเบิดเนื่องจากแรงดันได้ ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะก็เช่นเดียวกัน โดยเฉพาะภาชนะหรืออุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อการใช้งานเฉพาะด้าน เช่นถังดักน้ำ ระบบกรองก๊าซ การออกแบบต่างๆ จึงต้องคำนึงความปลอดภัย ดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อเทคนิคการออกแบบ

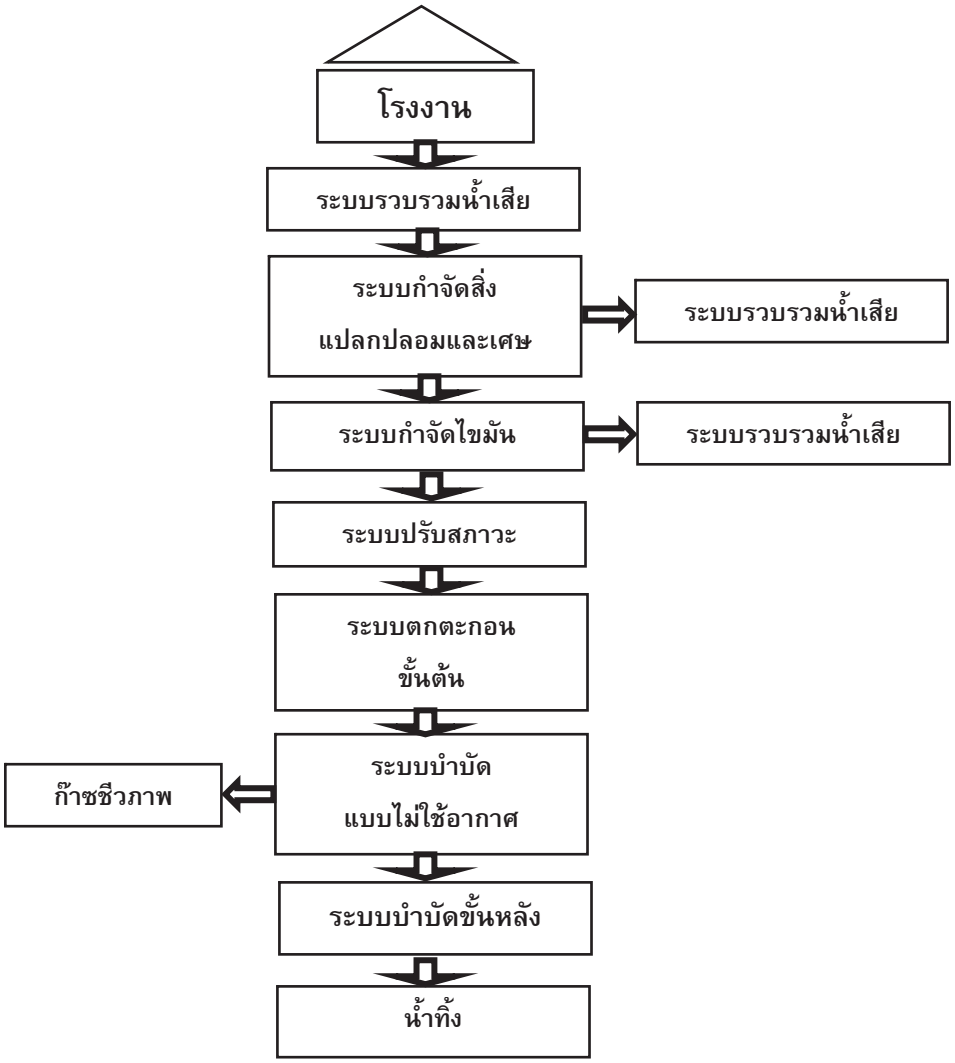
- ***อันตรายจากการระเบิดเนื่องจากการติดไฟแล้วลุกไหม้หรือระเบิด*** การที่มีก๊าซมีเทนที่มีคุณสมบัติติดไฟได้เป็นส่วนประกอบหลักในก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะทำให้มีโอกาสเกิดอันตราย 2 รูปแบบคือ

1. ถ้าเกิดการติดไฟในพื้นที่เปิด ก็เป็นสาเหตุให้เกิดอัคคีภัย
2. ถ้าเกิดการติดไฟในสภาวะปริมาตรคงที่ การติดไฟของก๊าซชีวภาพจะทำให้เกิดการขยายตัวและเพิ่มแรงดันประมาณ 7 เท่าของแรงดันเริ่มต้น หากภาชนะไม่สามารถทนแรงดันสุดท้ายนี้ได้ ก็จะเกิดการระเบิดขึ้นได้เช่นเดียวกับการระเบิดเนื่องจากการอัดแรงดัน

บทที่ 5

การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสียอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปใช้เป็นพลังงานทดแทน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมการทำงานของระบบให้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ ดังนั้นต้องมีการรักษาและตรวจสอบการทำงานของหน่วยบำบัดย่อยต่าง ๆให้ทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต้องมีการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ อยู่อย่างสม่ำเสมอทั้งนี้รายละเอียดของหน่วยย่อยต่าง ๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศสามารถเขียนได้ดังแสดงในรูปที่ 6.1 ซึ่งจะแยกองค์ประกอบของระบบเป็นสองกลุ่มคือหน่วยบำบัดทั่วไป กับหน่วยบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพหน่วยบำบัดทั่วไปคือระบบบำบัดน้ำเสียในส่วนที่ไม่ก่อให้เกิดกระบวนการหมักและผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ระบบรวบรวมน้ำเสีย ระบบถังตกตะกอนขั้นต้น ระบบบำบัดขั้นหลัง เป็นต้น ส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพคือส่วนของกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศซึ่งมีการสร้างก๊าซชีวภาพ



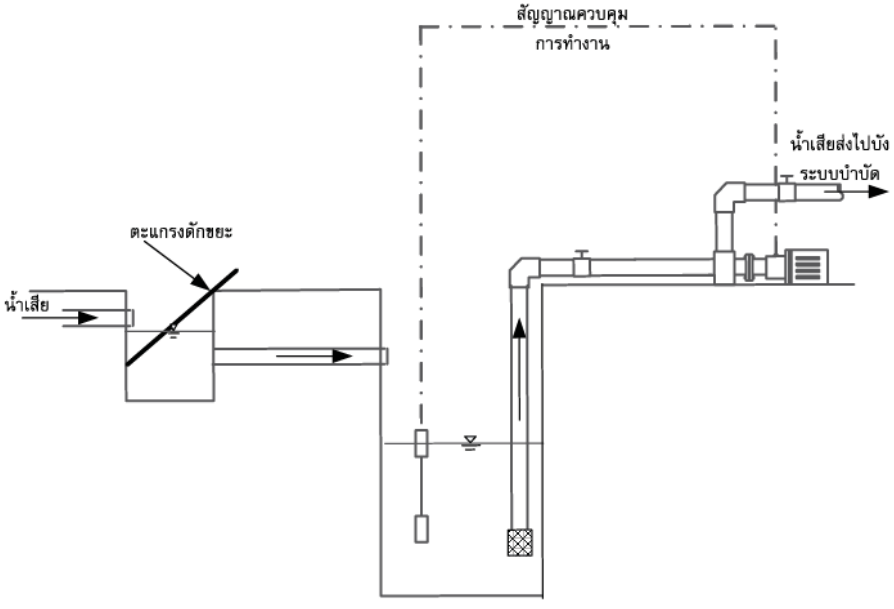
รูปที่ 5-1 ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

5.1 ระบบประกอบระบบผลิตก๊าซชีวภาพและอุปกรณ์

- **ระบบรวบรวมน้ำเสีย**

เป็นระบบที่ทำการรวบรวมน้ำเสียจากส่วนต่างๆของโรงงานมายังระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งอาจใช้การไหลในรางระบายน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity flow) แล้วติดตั้งเครื่องสูบน้ำ เพื่อสูบน้ำเสียมายังระบบบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 5-2 โดยเครื่องสูบน้ำเสียซึ่งทำหน้าที่รวบรวมน้ำเสียจากจุดต่างๆภายในโรงงานสามารถเลือกใช้ได้ทั้งแบบหอยโข่ง (Centrifugal) หรือแบบจุ่ม (Submersible) ซึ่งทั่วไปจะควบคุมการทำงานด้วยลูกลอยหรืออาจใช้แท่งอิเล็กโทรด ดังรูปที่ 5-3

รูปที่ 5-2 บ่อสูบน้ำเสียและเครื่องสูบน้ำ



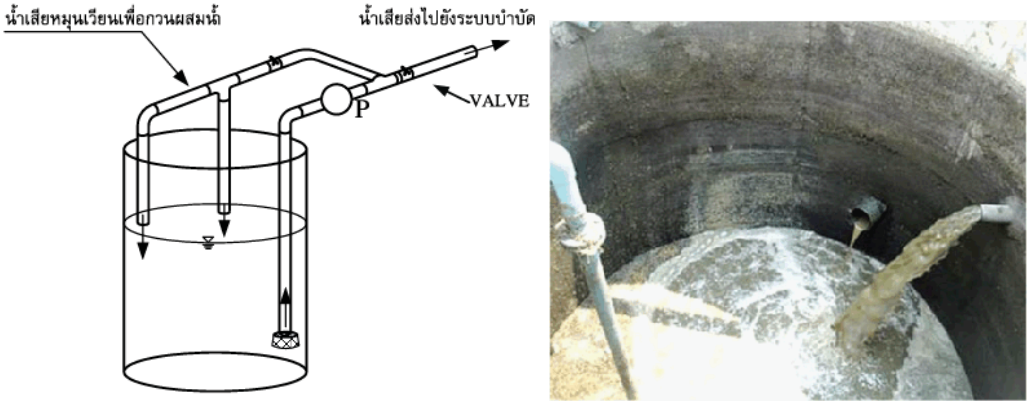
รูปที่ 5-3 รายละเอียดของส่วนประกอบในระบบบ่อรวบรวมน้ำเสีย

การบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำ

1. ในกรณีที่บ่อสูบน้ำเสียขนาดไม่ใหญ่นัก เครื่องสูบน้ำจะทำงานไม่ต่อเนื่อง การทำงานจะสั่งการโดยลูกลอยในบ่อสูบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหมั่นตรวจสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีที่น้ำเสียเข้าบ่อน้ำเสียมีปริมาณที่สูง อาจมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำมากกว่า 1 ตัว นอกจากนี้ควรจะติดตั้งเครื่องสูบน้ำรองไว้ในกรณีที่มีการเสียหายของเครื่องสูบน้ำหลัก

2. ในกรณีที่บ่อสูบมีขนาดใหญ่มีพื้นที่หน้าตัดมาก น้ำในบริเวณผิวน้ำในบ่อสูบจะค่อนข้างที่จะนิ่งเกิดการสะสมของชั้นไขมันขึ้น ดังนั้นจะต้องมีการติดตั้งชุดกวนน้ำเพื่อให้น้ำมีการผสมกัน ไม่เกิดการตกตะกอนในบ่อสูบ โดยชุดกวนน้ำที่ใช้อาจเป็นใบกวนในกรณีที่พื้นที่บ่อสูบกว้างมาก แต่ที่นิยมใช้ในกรณีที่บ่อสูบมีพื้นที่กว้างไม่มากนัก คือการหมุนเวียนน้ำเสียกลับมาฉีดลงสู่ผิวน้ำในบ่อสูบดังตารูปที่ 5-4

ส่วนที่ต้องการดูแลเป็นพิเศษคือการอุดตันของท่อดูด เนื่องจากมีเศษขยะเข้ามาอุดตัน สำหรับเครื่องสูบน้ำเสียแบบหอยโข่ง (Centrifugal) การดูแลรักษาเครื่องสูบน้ำจะทำได้ง่ายกว่าแบบจุ่ม (Submersible) เนื่องจากตั้งอยู่บนพื้นด้านบน ดังนั้นเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มควรมีการติดตั้งรอกในการช่วยดึงเครื่องสูบน้ำขึ้นมาตรวจสอบและบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 5-4 วิธีการหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อกวนผสมในบ่อสูบ

ในกรณีที่น้ำเสียมีสารแขวนลอยสูง ดังตัวอย่างในรูปที่ 5-5 ซึ่งเป็นรางรวบรวมน้ำเสียและบ่อสูบน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำเสียจะมีปริมาณของแป้งหลุดออกมาเป็นปริมาณมาก ซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมแป้งในบ่อสูบ การดูแลรักษาระบบจำเป็นที่จะต้องเพิ่มการสูบตะกอนแป้งที่สะสมในระบบออกดังรูป 5-6 ซึ่งแป้งที่ได้สามารถนำไปขายเพื่อเป็นอาหารสัตว์ได้

รูปที่ 5-5 ระบบรวบรวมน้ำเสีย

รูปที่ 5-6 ตะกอนแป้งในบ่อสูบที่สามารถตักรวบรวมได้

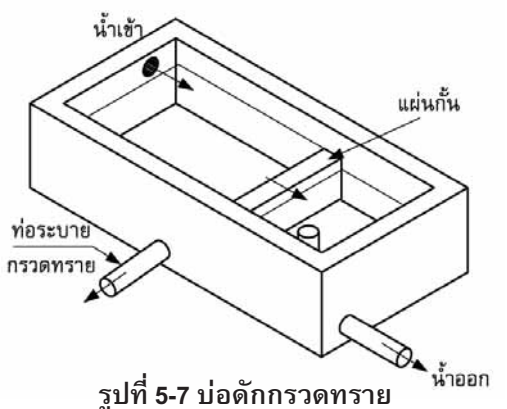
นอกเหนือจากการดูแลเรื่องอุปกรณ์ในการสูบน้ำเสีย ระบบรางหรือท่อรวบรวมน้ำเสียก็มีความสำคัญเช่นกัน โดยการออกแบบระบบที่ดีนั้นจะต้องไม่มีการปะปนระหว่างน้ำเสียกับน้ำฝน น้ำเสียที่เข้ามาสู่ระบบจะต้องเป็นน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่ตรวจสอบได้ ไม่ปะปนกับน้ำเสียที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย เนื่องจากในบางอุตสาหกรรมมีกระบวนการผลิตที่ใช้สารเคมีบางชนิด อันเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ เช่น NaOCl หรือ $CaOCl_2$ เป็นต้น ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้ควรต้องแยกไปบำบัดต่างหากหรือแยกไปทำการบำบัดขั้นต้นก่อน

- **ระบบกำจัดสิ่งแปลกปลอม**

บางครั้งในน้ำเสียอาจมีเศษขยะชิ้นส่วนของวัตถุดิบที่หลุดหรือทิ้งมาจากกระบวนการผลิต ขยะ กรวด ทราย ปนเข้ามาได้ ระบบกำจัดสิ่งแปลกปลอมจะมีหน้าที่ ในการกำจัดเศษขยะเหล่านี้ โดยจะเป็นระบบการตกตะกอนกรวด ทราย การใช้ตะแกรงหยาบและละเอียด เป็นต้น

ตัวอย่างของระบบกำจัดสิ่งแปลกปลอมในระบบก๊าซชีวภาพที่สำคัญมีดังนี้

1. **บ่อดักกรวดทราย** มักเป็นหน่วยบำบัดน้ำเสียหน่วยแรกที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ซึ่งจะทำหน้าที่ในการดักอนุภาคขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนได้ง่าย เช่น เศษกรวด ทราย เป็นต้น ตะกอนที่ตกตะกอนอยู่ก้นรางจะทำการระบายทางท่อระบายตะกอนด้านล่างของราง รูปแบบของบ่อดักทรายอย่างง่ายแสดงได้ดังรูปที่ 5-7



รูปที่ 5-7 บ่อดักกรวดทราย

การดูแลระบบดักกวดทราย ต้องมีการหมั่นตรวจสอบคือปริมาณทรายที่สะสมอยู่ในรางดักทราย ถ้าหากมีปริมาณมากต้องมีการระบายทิ้ง เพื่อป้องกันไม่ให้ทรายหลุดไปยังหน่วยบำบัดลำดับต่อไป โดยทั่วไปน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมไม่ค่อยมีกรวดทรายในปริมาณที่สูง การใช้รางดักกรวดทรายชนิดที่ต้องระบายตะกอนทรายโดยอาศัยแรงงานคนจึงเป็นที่นิยมมากกว่า โดยความถี่ของการระบายตะกอนจะขึ้นกับปริมาณทรายที่มีอยู่ในน้ำ

2. ตะแกรงดักขยะ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำจัดของแข็งหรือเศษขยะที่ปะปนมากับน้ำทิ้ง ลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้มีทั้งซี่เหล็กที่วางขนานกัน ตะแกรงลวดช่องสี่เหลี่ยม หรือแผ่นโลหะเจาะรู โดยทั่วไปสามารถแบ่งตามลักษณะขนาดช่องเปิดออกเป็น 2 ชนิด คือ ตะแกรงหยาบและ ตะแกรงละเอียด โดยตะแกรงหยาบ (Coarse Screen) ทำด้วยเหล็กไร้สนิม หรือวัสดุอื่นที่ทนทานต่อการกัดกร่อน ขนาดช่องเปิดของตะแกรงประมาณ 6-20 มม. มักใช้ในการดักขยะขนาดใหญ่ที่ไหลมากับน้ำเสีย ตัวอย่างเช่น ตะแกรงซี่ (Bar Screen) โดยตะแกรงซี่มีลักษณะเป็นซี่เหล็กวางขนานกันเป็นมุมเอียง ขวางทิศทางการไหลของน้ำเสีย เว้นช่องห่างประมาณ 25 มม. หรือมากกว่า การทำความสะอาดตะแกรงใช้ได้ทั้งแรงงานคนและเครื่องจักร ดังรูปที่ 5-8

รูปที่ 5-8 ตะแกรงหยาบแบบซี่ทำงานโดยใช้ระบบอัตโนมัติ

ส่วนตะแกรงละเอียด (Fine Screen) จะมีขนาดช่องเปิดเล็กกว่าตะแกรงหยาบ โดยจะมีขนาดรูปเปิดต่ำกว่า 1 มม. มักใช้งานในสองลักษณะคือ ใช้กำจัดกรวดทรายแทนถังตกตะกอนขั้นแรกที่นิยมใช้ได้แก่ แบบ Inclined Screen และ Rotary Drum screen ดังรูปที่ 5-9 และ 5-10 ตามลำดับโดยสามารถแยกขยะและสิ่งแปลกปลอมออกได้ประมาณ 80-90% แยกของแข็งแขวนลอยได้15-30% และยังใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถังตกตะกอนขั้นแรก โดยจะใช้ตะแกรง

ละเอียดบำบัดน้ำเสียก่อนส่งไปยังถังตกตะกอนขั้นแรก ในกรณีที่ระบบมีการทำงานเกินกำลังและมีอัตราภาระบรรทุกของแข็งหรืออัตราการไหลล้นผิวสูงเกินกว่าที่ได้ออกแบบ

รูปที่ 5-9 ตะแกรงละเอียดแบบ Static Screen

รูปที่ 5-10 ตะแกรงละเอียดแบบ Rotary Drum Screen

การดูแลตะแกรงดักขยะ

ให้หมั่นตรวจดูการสะสมของขยะที่ค้างอยู่บนตัวตะแกรง หากเป็นตะแกรงแบบที่ต้องใช้คนในการทำความสะอาด ต้องมีการดูแลอย่างใกล้ชิด ไม่ควรให้เศษขยะต่างๆ ค้างบนตะแกรงมากเกินไป เนื่องจากจะทำให้เกิดการอุดตันของตะแกรงได้ หากเป็นตะแกรงแบบอัตโนมัติ ควรหมั่นดูแลอุปกรณ์จำพวกมอเตอร์และเฟืองต่างๆ อยู่เสมอ ตะแกรงดักขยะที่เป็นตะแกรงสเตนเลสจะไม่ค่อยมีปัญหาเกี่ยวกับการเป็นสนิมและการสึกกร่อน สำหรับขยะที่ได้จากการดักขยะและกรวดทราย จะเก็บบรรจุใส่ถุงเพื่อรอการนำไปกำจัดต่อไป ดังนั้นในระบบบำบัดแบบอัตโนมัติดังในรูปที่ 5-11 จึงควรมีการตรวจสอบและเปลี่ยนถุงบรรจุเป็นปะจำเพื่อป้องกันการล้นของขยะ

รูปที่ 5-11 การรวบรวมขยะจากตะแกรงดักขยะแบบ rotary Drum Screen

- **ระบบกำจัดไขมัน**

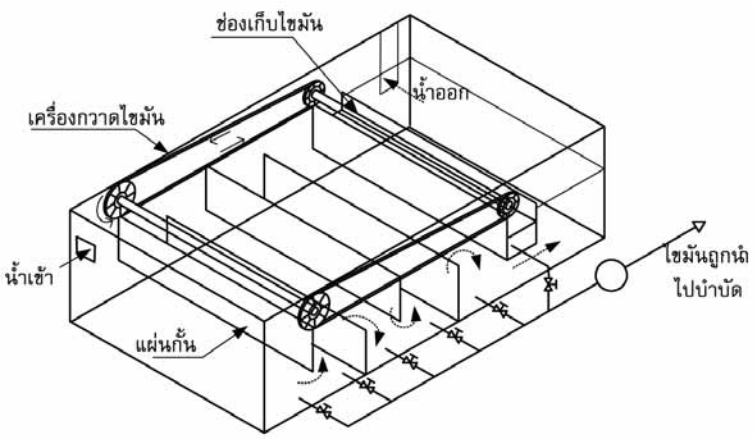
ในน้ำเสียอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอาหารหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับเนื้อสัตว์จะมีไขมันปนอยู่ในน้ำเสีย จึงต้องมีการสร้างบ่อดักไขมันเพื่อทำหน้าที่แยกน้ำมัน หรือไขมันออกจากน้ำเสีย หลักการทำงานของบ่อดักไขมันจะใช้เป็นถังพักน้ำ เพื่อให้น้ำมีความเร็วในการไหลที่ช้า เพียงพอที่จะให้ไขมันที่อยู่ในน้ำ มีเวลาในการลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ จากนั้น จึงทำการรวบรวมไขมันที่ลอยขึ้นไปกำจัด โดยจะออกแบบได้ทั้งเป็นแบบถังกลมและถังเหลี่ยม

นอกจากระบบบ่อดักไขมันที่ให้เกิดไขมันลอยขึ้นสู่ผิวน้ำเอง จะใช้วิธีการเติมสารเคมี และอากาศเข้าไปกับน้ำเสียเพื่อไล่ไขมันให้ลอยขึ้นมาเร็วขึ้น ซึ่งจะเรียกระบบนี้กว่าระบบ Dissolved-Air floatation (DAF) ทั้งนี้ลักษณะการไหลของน้ำและองค์ประกอบของบ่อดักไขมันแสดงได้ดัง รูปที่ 5-12 ส่วนการทำงานของถัง Dissolved-Air floatation แสดงในรูปที่ 5-13

การดูแลระบบกำจัดไขมัน

โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ต้องดูแลเป็นพิเศษในบ่อดักไขมัน ได้แก่เครื่องกวาดไขมัน และเครื่องสูบไขมัน ทั้งนี้ใบกวาดไขมันเป็นส่วนที่ต้องดูแลเป็นประจำ เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ต้องเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาการใส่น้ำมันล่อลื่นเพื่อให้การเคลื่อนที่ของเฟืองและโซ่ไม่ติดขัดควรทำอย่างเสมอตามตารางการบำรุงรักษา นอกจากนี้ยังต้องตรวจดูประสิทธิภาพในการกวาดไขมันของใบกวาด เนื่องจากต้องใช้งานเป็นเวลานาน มักเกิดการเกาะสะสมของไขมันบนใบกวาด ทำให้ประสิทธิภาพการกวาดไขมันก็จะลดลง

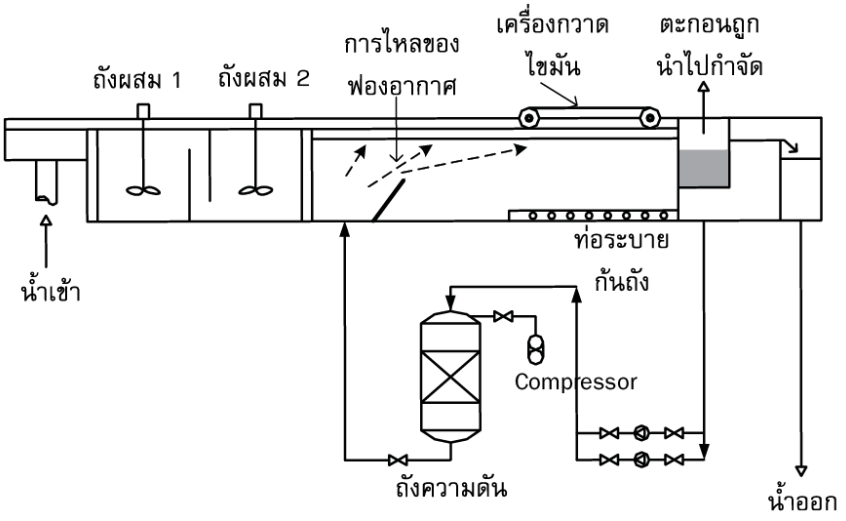
นอกเหนือจากหน้าที่ในการกำจัดน้ำมันหรือไขมันแล้ว ที่ก้นของบ่อดักไขมันก็จะเกิดการตกตะกอนได้ ดังนั้นควรมีวาล์วเพื่อระบายตะกอน และทำหน้าที่เป็นวาล์วระบายน้ำในกรณีที่ต้องทำการล้างและทำความสะอาดบ่อ



รูปที่ 5-12 ระบบดักไขมัน

โดยทั่วไปการทำงานของเครื่องสูบไขมันจะเป็นการสั่งงานโดยใช้แท่งอิเลคโทรดเพื่อวัดระดับของไขมันในบ่อพักไขมัน ดังนั้นควรมีการตรวจสอบความถูกต้องในการส่งสัญญาณระหว่างอิเลคโทรดและเครื่องสูบไขมัน หากปริมาณไขมันที่จะต้องสูบในแต่ละวันมีปริมาณน้อย เครื่องสูบไขมันอาจมีการติดตั้งเพียงชุดเดียวแต่ควรมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาอยู่อย่างเสมอ เนื่องจากหากเครื่องสูบไขมันทำงานไม่เป็นปกติ จะทำให้เกิดปัญหาขึ้นทำให้เกิดการสะสมของไขมันในบ่อพักไขมัน และเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในกรณีที่เครื่องสูบไขมันเสีย บ่อดักไขมันควรติดตั้งจุดระบายไขมันฉุกเฉิน เพื่อให้รถดูดสิ่งปฏิกูลสามารถเข้ามาดูดไขมันออกไปทิ้งได้

ส่วนกรณีที่ใช้ระบบ DAF ในการกำจัดไขมัน ต้องดูแลเครื่องเติมสารเคมีและเครื่องเติมอากาศ (Air Blower) และเพิ่มการดูแลอุปกรณ์ที่ต้องรับแรงดันต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมทำงานอยู่เสมอ



รูปที่ 5-13 ระบบ Dissolved-Air Floatation

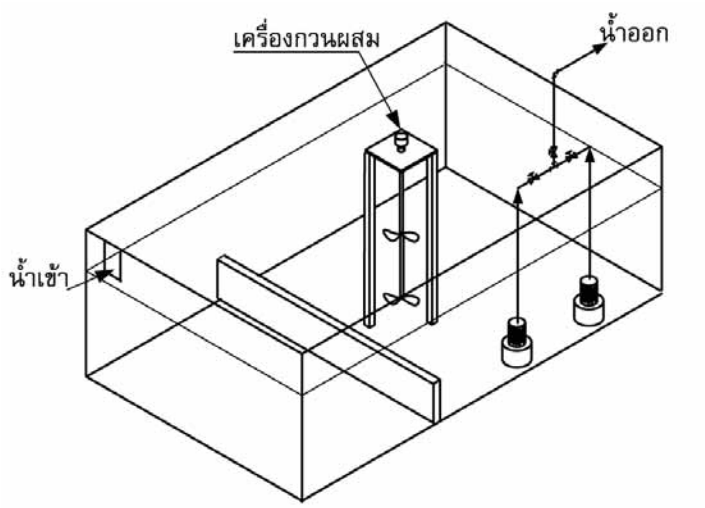
บ่อปรับสภาพหรือบ่อปรับสมดุล (Equalization Tank, EQ Tank)

การปรับสภาพของน้ำเสียมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมให้อัตราการไหลและความเข้มข้นของน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบคงที่และสม่ำเสมอมากที่สุด โดยลักษณะของบ่อปรับสภาพจะมีลักษณะเป็นบ่อกักหรือบ่อพักน้ำ สำหรับปริมาตรของบ่อปรับสภาพจะขึ้นอยู่อัตราการไหลของน้ำเสียและความผันผวนของอัตราการไหล หากระบบมีความผันผวนมาก ขนาดของบ่อปรับสภาพจะมีขนาดใหญ่มากกว่าในระบบที่มีความผันผวนน้อย

นอกจากนี้ภายในบ่อปรับสภาพมีการใช้เครื่องมือกลช่วยในการทำให้เกิดการผสมของน้ำภายในบ่อ เพื่อให้ความเข้มข้นของน้ำเสียมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้เป็นเครื่องกวนน้ำแบบ Jet Aerator ดังรูปที่ 5-14 และ 5.15 รูปแบบของบ่อปรับสภาพอาจแบ่งออกได้ด้วยกันสองแบบใหญ่ๆได้แก่

- แบบที่มีระดับน้ำภายในบ่อคงที่ อัตราการไหลของน้ำที่ออกจากบ่อจะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้ามาสู่บ่อดังนั้นในกรณีนี้บ่อปรับสภาพจะมีหน้าที่ในการปรับค่าความเข้มข้นของสารในน้ำเสียมากกว่าใช้ควบคุมอัตราการไหล ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมน้ำออกจากบ่อ ส่วนใหญ่เป็นแบบเวียร์รับน้ำล้น

- แบบที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในบ่อ มีวัตถุประสงค์ทั้งในการปรับอัตราการไหลให้คงที่และปรับความเข้มข้นของสารต่างๆในน้ำเสียด้วย โดยอุปกรณ์ที่ควบคุมอัตราการไหลจะเป็นเครื่องสูบน้ำ



รูปที่ 5-14 แบบเครื่องกวนน้ำผสม

รูปที่ 5-15 การกวนผสมน้ำเสียภายในบ่อปรับสภาพ

การดูแลบ่อปรับสภาพ

เป็นการดูแลรักษาทั่วไป เนื่องจากมีลักษณะเป็นบ่อเก็บน้ำไม่มีเครื่องมือกลใดๆเข้ามาเกี่ยวข้อง ยกเว้นอาจมีเครื่องผสมน้ำ และเครื่องสูบน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง การดูแลรักษาจึงเป็นการดูแลเกี่ยวกับเครื่องกลที่ใช้ในการผสมน้ำและเครื่องสูบน้ำที่จะส่งต่อไปยังหน่วยบำบัดถัดไป

บ่อปรับสภาพที่นิยมใช้กันจะใช้เครื่องสูบน้ำในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสีย เพื่อให้สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นต่อไป ผู้ดูแลระบบจำเป็นที่จะต้องคอยสังเกตความสม่ำเสมอของลักษณะของน้ำออกจากบ่อปรับสภาพ หากคุณลักษณะของน้ำที่ผ่านบ่อปรับสภาพไม่สม่ำเสมอแสดงว่าปริมาตรของบ่อปรับสภาพหรือลักษณะการไหลของน้ำเสียในบ่อปรับสภาพไม่เหมาะสม ทำให้การผสมกันของน้ำเสียเข้ามาใหม่และน้ำเสียเก่าภายในบ่อไม่ดีพอ น้ำเสียที่เข้ามาใหม่สามารถไหลออกจากบ่อปรับสภาพไปได้ง่าย ส่งผลให้ลักษณะของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงสูง แต่หากอัตราการไหลของน้ำเสียที่ไปยังหน่วยบำบัดต่อไปไม่สม่ำเสมอแสดงว่ามีปัญหาที่การทำงานของเครื่องสูบน้ำ หรือเกิดการตกตะกอนที่ก้นบ่อ

ในบ่อปรับสภาพที่มีขนาดที่ใหญ่มักมีการตกตะกอนของแข็งในบ่อ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการขุดลอก ทำความสะอาดอย่างน้อยปีละหนึ่งหรือสองครั้ง หรือตามปริมาณตะกอนที่สะสมในบ่อ ซึ่งความถี่ในการขุดลอกขึ้นอยู่กับปริมาณสารแขวนลอย ตะกอน หรือสิ่งแปลกปลอมเจือปนที่มากับน้ำเสีย

- **ระบบตกตะกอนขั้นต้น**

ถังตกตะกอนขั้นแรกเป็นการแยกของแข็งที่สามารถตกตะกอนได้ง่ายออกจากน้ำ เพื่อจะลดของแข็งแขวนลอย และสารอินทรีย์บางส่วนออกจากน้ำเสียก่อนที่จะจ่ายน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งประสิทธิภาพของการแยกของแข็งขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของถังและเวลากักเก็บในถังตกตะกอน ดังนั้นในกรณีที่พื้นที่ผิวของถังตกตะกอนมีจำกัดจะต้องติดตั้งแผ่นเอียง (Inclining Plate) เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ในการตกตะกอน รูปแบบถังตกตะกอนขั้นต้นมีทั้งแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งมีส่วนล่างของถังเป็นบริเวณที่มีการเก็บตะกอน โดยตะกอนภายในถังตกตะกอนขั้นแรกจะต้องได้รับการบำบัดก่อนจะทิ้ง ทั้งนี้วิธีการบำบัดตะกอนจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของตะกอน เช่น ตะกอนจากน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลัง หรือแป้งข้าวเจ้า ตะกอนที่ได้จากถังตกตะกอนขั้นแรกจะเป็นตะกอนแป้ง และมีปริมาณมาก

ซึ่งตะกอนดังกล่าวเป็นสารอินทรีย์ ที่สามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์อย่างอื่นได้ เช่น นำไปขายเพื่อเป็นอาหารสัตว์ หรือในกรณีที่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพยังสามารถรับสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นได้ ก็จะนำตะกอนส่วนนี้ไปหมักและทำให้เกิดกระบวนการสร้างกรด เพื่อย่อยสลายโมเลกุลให้มีขนาดเล็กลงแล้วจ่ายเข้าสู่ระบบก๊าซชีวภาพ แต่หากตะกอนที่ได้มีปริมาณน้อยจะทำการต่อท่อระบายไปยังถังทำข้น (Sludge Thickener) แล้วจึงนำเข้าไปถังย่อยสลายตะกอน (Sludge Digester) ต่อไป

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเอง เนื่องจากขั้นตอนนี้ยังไม่มีการเติมสารเคมีหรือย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย รูปแบบของถังตกตะกอนจะสอดคล้องกับลักษณะของสารแขวนลอยในน้ำเสียและพื้นที่ที่ใช้ในการก่อสร้าง สำหรับรูปที่ 5-16 ในรูป A เป็นถังตกตะกอนแบบมี Plate Settle ที่ใช้โรงงานผลิตปลากระป๋อง ส่วนรูป B เป็นถังตกตะกอนในโรงงานผลิตแป้ง ซึ่งนอกจากชนิดบ่อตกตะกอนทั้งสองแบบแล้ว

พบว่ามีการใช้บ่อดินดาดคอนกรีตเพื่อตกตะกอนและมีการทำทางลาดเพื่อให้รถตักสามารถลงไปตักตะกอนขึ้นมาทิ้งได้ ในกรณีที่น้ำเสียมีตะกอนของแข็งแขวนลอยจำพวกดินและทรายอยู่จำนวนมาก เช่น ในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น

A-ถังแบบมีแผ่นเอียงช่วยตกตะกอน **B-ถังแบบถังกลม**

รูปที่ 5-16 ถังตกตะกอนขั้นต้น

การดูแลระบบถังตกตะกอน

ควรมีการระบายตะกอนออกอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนสะสมอยู่ในปริมาณที่มากจนเกินไปซึ่งหากตะกอนสะสมอยู่ในปริมาณที่มากจนเกินไปจะทำให้สารแขวนลอยหลุดออกไปกับน้ำออกส่งผลให้ระบบบำบัดขั้นหลังรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ปริมาณสูงขึ้น สำหรับระบบที่มีการใช้ Plate Settle ควรตรวจสอบมุมของการวางตัวของแผ่นเอียง (Plate) ให้ทำมุมตามที่มีการออกแบบไว้หรือไม่ เพราะการมีตะกอนสะสมบนแผ่น Plate มากเกินไปทำให้กดแผ่น Plate ทำมุมผิดไปดังนั้นประสิทธิภาพของถังกรองจึงลดลง

➢ **ระบบบำบัดขั้นหลัง**

เป็นส่วนของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดไม่ใช้อากาศ เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะยังคงมีค่าบีโอดีและซีโอดีสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นจึงต้องทำการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำ โดยเลือกใช้ระบบบ่อเติมอากาศแบบตะกอนเร่ง หรือสำหรับโรงงานที่มีพื้นที่จำนวนมาก จะใช้ระบบบำบัดขั้นหลังแบบบึงประดิษฐ์และบ่อผึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5-17 โดยน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบบ่อไม่ใช้อากาศ จากนั้นจึงจะไหลต่อไปยังบ่อเติมอากาศและบึงประดิษฐ์ก่อนที่จะปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

สำหรับในน้ำเสียบางชนิดเช่นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำจะมีโปรตีนในน้ำสูง จะส่งผลมีไนโตรเจนในน้ำทิ้งสูงโดยมี TKN มากกว่า 300 มก./ล. ดังนั้นในการออกแบบที่ดี กระบวนการบำบัดขั้นหลังต้องมีกระบวนการกำจัดไนโตรเจนร่วมด้วย ดังรูปที่ 5-18 ซึ่งกระบวนการกำจัดไนโตรเจนประกอบด้วยสองขั้นตอนที่สำคัญได้แก่ Nitrification และ Denitrification โดย Nitrification เป็นขั้นตอนที่มีการใช้อากาศ โดยจะเกิดการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนได้เป็นไนเตรทควบคู่กับการกำจัดซีโอดีโดยปกติ

ระบบ Nitrification จะสามารถลดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนให้เหลือต่ำกว่า 10 มก./ล. แต่ยังคงมีปริมาณไนเตรทสูง ในขั้นตอน Denitrification จะเป็นกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน กระบวนการนี้ไนไตรท์และไนเตรทจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซไนโตรเจนกลไกการบำบัดไนเตรทไนโตรเจนที่สมบูรณ์ จำเป็นที่จะต้องมีแหล่งของคาร์บอน (บีโอดี) ที่เพียงพอ ดังนั้นต้องมีการนำน้ำเสียบางส่วนจ่ายลงมายังระบบบำบัดไนโตรเจนโดยตรง (Bypass) เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารแก่แบคทีเรียซึ่งโดยทั่วไประบบบำบัดแบบใช้อากาศสัดส่วนของBOD:N:P=100:5:1

บ่อไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Pond) | บ่อเติมอากาศ (Aerobic Pond) | บึงประดิษฐ์ (Wetland)

รูปที่ 5-17 ระบบบ่อเติมอากาศและบ่อผึ่ง

รูปที่ 5-18 ระบบบำบัดขั้นหลังแบบตะกอนเร่ง

เนื่องจากระบบบำบัดขั้นหลังสามารถเลือกใช้ได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับพื้นที่และความต้องการของเจ้าของกิจการดังนั้นการดูแลรักษาระบบจึงแตกต่างกันไป ในกรณีที่ระบบบำบัดขั้นหลังเป็นแบบบ่อผึ่งรวมกับบึงประดิษฐ์ การดูแลรักษาจะทำได้ง่ายกว่ากรณีของระบบตะกอนเร่ง เนื่องจากไม่ต้องการเครื่องมือกลในการควบคุมการทำงานของระบบหากการออกแบบระบบดังกล่าวมีพื้นที่และความจุของบ่อเพียงพอ ตลอดจนไม่จ่ายน้ำเสียในปริมาณที่เกินขีดความสามารถของระบบ น้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการในการดูแลระบบบึงประดิษฐ์ ผู้ดูแลจำเป็นต้องดูแลและเก็บเกี่ยวพืชน้ำไม่ให้มีปริมาณที่มากหรือน้อยเกินไป เพราะหากพืชน้ำมีมาก ทำให้ระบบเกิดการขาดออกซิเจนในช่วงเวลากลางคืน แต่ถ้ามีปริมาณพืชน้ำน้อยเกินไปประสิทธิภาพในการบำบัดก็จะลดลง

- **ระบบกำจัดตะกอน**

วัตถุประสงค์ของระบบกำจัดตะกอนเพื่อลดปริมาตรและเพื่อสะดวกในการขนย้ายหรือกำจัดตะกอน โดยตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบ่งออกได้เป็นสามส่วนได้แก่ ตะกอนจากระบบตกตะกอนขั้นแรก ตะกอนจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ และตะกอนจากระบบบำบัดขั้นหลัง ซึ่งปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นแต่ละส่วนขึ้นอยู่กับชนิดของหน่วยบำบัดที่ใช้ เมื่อพิจารณาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นทั้งสามขั้นตอน พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีปริมาณการเกิดขึ้นต่อวันน้อย และนิยมหมุนเวียนตะกอนกลับเข้าไปในระบบ ยกเว้นตะกอนที่หลุดออกมากับน้ำออกหรือเมื่อเดินระบบไปเป็นเวลานานและมีการสะสมของตะกอนมาก จึงมีการกำจัดเป็นครั้งคราว

ปริมาณตะกอนจากการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ ตะกอนจากบ่อดักไขมัน ตะแกรงดักขยะจะมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียและการจัดการระบบ โดยทั่วไปตะกอนจากระบบดักขยะ มักเป็นของแข็งขนาดใหญ่จึงเก็บรวบรวมได้ง่าย จึงทิ้งรวมกับขยะทั่วไปให้รถเก็บขยะมูลฝอยนำไปกำจัดร่วมกับขยะมูลฝอยทั่วไป ส่วนตะกอนจากระบบดักไขมันอาจจะต้องทำการหมักย่อยก่อนทิ้ง เช่น การสร้างถังหมักไขมันหรือหมักร่วมกับตะกอนอินทรีย์ที่มาจากส่วนอื่นๆ ของระบบ เมื่อหมักย่อยจนตะกอนสมบูรณ์ ไม่สามารถย่อยสลายต่อได้ จึงนำไปทำให้แห้งโดยการตากหรือรีดผ่านเครื่องรีดตะกอนก่อนถูกนำไปกำจัดต่อไป

สำหรับระบบบำบัดขั้นหลังตะกอนจะมีมากหากใช้ระบบตะกอนเร่ง แต่หากเป็นระบบบึงประดิษฐ์หรือบ่อผึ่งจะมีตะกอนที่ต้อง จัดการน้อยมาก โดยตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบตะกอนเร่งจะต้องสร้างระบบกำจัดตะกอนที่ประกอบได้ด้วยถังทำข้น (Sludge Thickener) และถังหมักย่อยตะกอน (Sludge Digester) ถังทำข้นมีลักษณะเป็นถังตะกอนเพื่อให้ตะกอนมีความเข้มข้นสูงขึ้นลดปริมาตรของตะกอน ช่วยให้ถังหมักย่อยตะกอนมีขนาดเล็กลง โดยมีระบบระบายน้ำส่วนบนกลับไปทำการบำบัดอีกครั้ง ส่วนตะกอนข้นด้านล่างจะนำไปหมักย่อยตะกอน รูปแบบของถังทำข้นมีลักษณะดังรูปที่ 5-19 โดยทั่วไปเมื่อตะกอนที่อยู่ในถังมีความเข้มข้นประมาณ 3-4% TS จึงทำการดูดตะกอน ส่งไปยังถังหมักย่อยตะกอน

รูปที่ 5-19 ถังทำข้นแบบต่าง ๆ (Sludge Thickener)

เมื่อผ่านระบบการทำตะกอนให้ข้น ตะกอนจะถูกสูบไปยังถังย่อยตะกอนเพื่อลดปริมาณตะกอนและทำให้ตะกอนอยู่ในสภาวะที่เสถียรไม่เกิดการย่อยสลายต่อไป แล้วจึงนำตะกอนดังกล่าวไปรีดน้ำออกหรือทำให้ตะกอนแห้ง ทั้งนี้ถังย่อยตะกอนนอกจากจะทำให้ตะกอนที่ได้มีปริมาณลดลงแล้วยังใช้เป็นถังเก็บตะกอนสำรอง ซึ่งจะใช้ในกรณีที่ระบบหมักแบบไม่ใช้อากาศมีปัญหาเนื่องจากตะกอนในระบบลดลง จะทำการดึงตะกอนจากระบบย่อยตะกอนไปเติม เนื่องจากในถังหมักย่อยตะกอนมีสภาพเป็นถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ ลักษณะของถังหมักย่อยตะกอนมีลักษณะดังรูปที่ 5-20 โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ในการกวนผสมในถัง เพื่อให้เกิดการย่อยสลายที่เร็วขึ้น

รูปที่ 5-20 ระบบย่อยตะกอน (Sludge Digester)

การทำให้ตะกอนแห้ง (Dewatering)

จะใช้การรีดน้ำออกหรือการตากแดดขึ้นอยู่กับพื้นที่และงบประมาณในการลงทุน โดยเครื่องรีดตะกอนที่นิยมใช้ในขณะนี้มีสองแบบได้แก่ Belt Press หรือ Filter Press ในขั้นตอนการรีดตะกอนต้องมีการเติมโพลีเมอร์เพื่อช่วยให้ตะกอนรวมตัวกันดีขึ้น โดยตะกอนที่ผ่านเครื่องรีดจะไม่แห้งสนิทยังคงมีความชื้นเหลืออยู่บ้าง โดยมีปริมาณของแข็งอยู่ประมาณ 20-30%-TS ซึ่งสามารถเก็บใส่ภาชนะหรือถุงบรรจุแล้วนำกลับไปกำจัดต่อไป แต่ส่วนใหญ่นิยมสร้างถังเก็บตะกอนมากกว่าการบรรจุลงถุงทันที เนื่องจากเป็นการประหยัดแรงงาน ทั้งนี้ตะกอนที่ได้สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยหรืออาหารสัตว์ ดังแสดงได้รูปที่ 5-21 แสดงตัวอย่างของเครื่องรีดตะกอนแบบ Belt Press

ในกรณีที่โรงงานมีพื้นที่มากเพียงพอ การบำบัดตะกอนควรเป็นเพียงลานตากตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 5-22

รูปที่ 5-21 ระบบรีดตะกอน

รูปที่ 5-22 ลานตากตะกอน

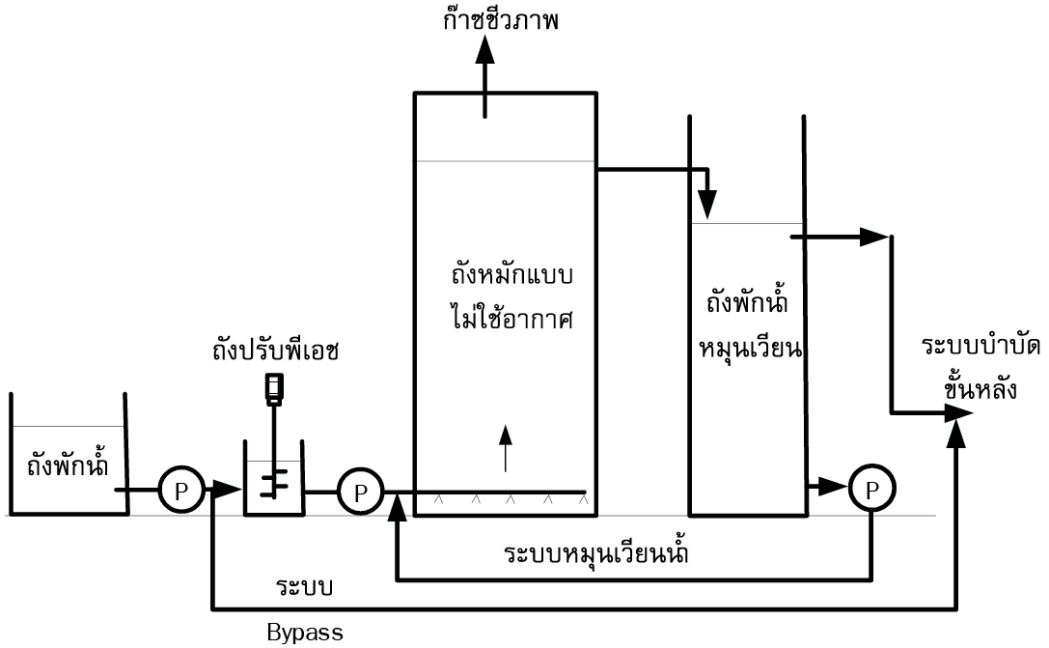
กระบวนการกำจัดตะกอนโดยการใช้ลานตากตะกอนเหมาะกับโรงงานที่มีพื้นที่มากและมีปริมาณตะกอนที่ต้องกำจัดต่อวันไม่มากนัก การดูแลรักษาระบบลานตากจะต้องควบคุมไม่ให้กากตะกอนเข้าไปสู่ลานตากมากเกินขีดความสามารถของลานตากที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องจากจะทำให้ตะกอนแห้งช้า มีระยะเวลาในการตากตะกอนนานเกินไป และ จะต้องมีการตักตะกอนแห้งออกเป็นประจำ สำหรับตะกอนที่มีการทำให้ข้นด้วยถังทำข้นก่อน จะทำให้ตกตะกอนแห้งเร็วขึ้น รวมถึงประหยัดพื้นที่ในการสร้างลานตากตะกอน ในพื้นที่ที่มีฝนตกชุก ตะกอนจะแห้งช้าและอาจเปียกฝนได้ จึงควรสร้างหลังคาเพื่อป้องกันฝน

5.2 ถังปฏิกรณ์และบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสียหลักที่ใช้ในการผลิตก๊าซ ซึ่งรูปแบบของระบบบำบัดมีได้หลากหลาย ทั้งแบบเป็นเชื้อแบคทีเรียแขวนลอยในระบบ เช่น ถังหมักแบบกวนสมบูรณ์ หรือชนิดแบคทีเรียเกาะกับตัวกลาง เช่น ถังกรองไม่ใช้อากาศ รวมไปถึงแบบผสม เช่น ยูเอเอสบี เป็นต้น สำหรับการการเลือกใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศชนิดใดนั้น จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยจะพิจารณาจากปริมาณน้ำเสีย ความเข้มข้นสารอินทรีย์ สารเคมีที่ต้องเติม ความเหมาะสมกับพื้นที่และระบบเดิม แนวท่อรวบรวมน้ำเสีย ค่าก่อสร้างและเงินลงทุน รวมถึงค่าดำเนินการ ค่าซ่อมบำรุง และความพร้อมของบุคลากร สำหรับในส่วน ของหน่วยบำบัดที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการดูแลของระบบยูเอเอสบีและระบบถังกรองโดยไม่ใช้อากาศแบบไหลขึ้น เนื่องจากเป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย

โดยทั่วไปหน่วยบำบัดย่อยในระบบยูเอเอสบีและระบบถังกรองไม่ใช้อากาศจะมีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกันซึ่งจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักดังรูปที่ 5-23 และมีรายละเอียดดังนี้

- บ่อพักน้ำ
- ระบบปรับพีเอช
- ระบบการจ่ายน้ำเสีย
- ตัวถังปฏิกิริยาหรือถังหมักไม่ใช้อากาศ (UASB,AF)
- ระบบหมุนเวียนตะกอน



รูปที่ 5-23 หน่วยบำบัดที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิตก๊าซชีภาพ

บ่อพักน้ำ เป็นถังที่รับน้ำที่ได้จากระบบบำบัดขั้นต้น น้ำเสียจะถูกสูบส่งต่อไปยังระบบบำบัดขั้นต่อไปได้ ดังกล่าวจึงมีปริมาตรไม่มากนัก ปกติจะให้มีเวลากักเก็บในบ่อพักนี้ไม่เกิน 1 ชั่วโมง ภายในถังจะมีชุดลูกลอยเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องสูบ ทั้งแบบ Centrifugal หรือ Submersible แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้แบบ Centrifugal เนื่องจากมีความสะดวกในการบำรุงรักษามากกว่า โดยเครื่องสูบน้ำต้องสามารถให้แรงดันน้ำที่ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำใต้บ่อพักน้ำหรือสูงกว่าบ่อพักน้ำก็ได้ แต่โดยทั่วไปมักติดเครื่องสูบน้ำไว้ด้านข้างของบ่อเพื่อให้ระดับน้ำในบ่อพักสูงกว่าเครื่องสูบน้ำ ลดการใช้ Foot Valve และเป็นการช่วยลดการอุดตันของท่อดูด รูปแบบการติดตั้งเครื่องสูบน้ำจากบ่อพักแสดงในรูปที่ 5-24

รูปที่ 5-24 ลักษณะการติดตั้งเครื่องสูบน้ำด้านข้างบ่อพักน้ำ

กรณีที่น้ำเสียมีเศษขยะปนเข้ามามาก จะมีการติดตั้ง Strainer เพื่อดักขยะเป็นการป้องกันตัวเครื่องสูบน้ำโดย เครื่องสูบน้ำที่ใช้ต้องมีมากกว่า 1 ตัวเสมอ เพื่อใช้เป็นเครื่องสูบน้ำสำรองในกรณีที่เกิดปัญหาขึ้น การทำงานของเครื่องสูบน้ำจะต้องหมุนเวียนกันทำงาน โดยกำหนดรอบการทำงานเป็น 12 หรือ 24 ชั่วโมง/ครั้ง ขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำแต่ไม่ควรให้เครื่องสูบน้ำมีช่วงการทำงานและหยุดงานที่ถี่เกินไปเนื่องจากจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและเกิดความเสียหายแก่ตัวมอเตอร์ได้ง่าย

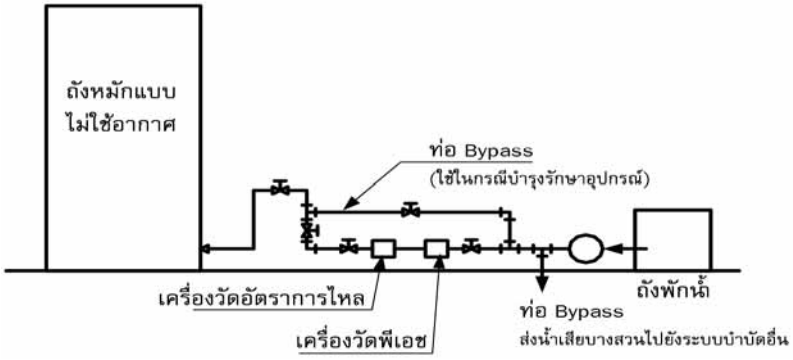
ระบบปรับพีเอช เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถปรับพีเอชได้ในช่วงที่แคบ ดังนั้นในกรณีที่พีเอชของน้ำเสียต่ำเกินไปจำเป็นจะต้องปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบสำหรับการปรับพีเอชสามารถทำได้โดยการเติมโซดาไฟหรือปูขาวโดยวิธีเติมในเส้นท่อหรือการสร้างถังผสมขึ้นมาปกติในการปรับพีเอชด้วยโซดาไฟจะนิยมให้ผสมในเส้นท่อเนื่องจากโซดาไฟเป็นสารละลายจึงเข้าทำปฏิกิริยาได้หมด แต่กรณีของปูนขาวโดยมากจะสร้างถังผสมแยกออกมาอีกชุดหนึ่งหรือใช้ถังพักน้ำเป็นถังผสมเนื่องจากปูนขาวมีความสามารถในการละลายต่ำ ก่อให้เกิดการอุดตันได้ง่าย จึงต้องมีการทำถังผสมเพื่อปรับพีเอชแยกจากระบบ โดยอุปกรณ์รูปแบบการเติมด่างแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 5-25 ถึง รูปที่ 5-27

รูปที่ 5-25 ถังเก็บสารละลายโซดาไฟและเครื่องสูบละลายโซดาไฟ (NaOH)

รูปที่ 5-26 ท่อจ่ายสารละลายโซดาไฟ

รูปที่ 5-27 ไซโลเก็บปูนขาว

ระบบการจ่ายน้ำเสีย ขั้นตอนการทำงานของระบบการจ่ายน้ำเสียเริ่มตั้งแต่น้ำเสียที่ได้รับการปรับพีเอชแล้วจะส่งต่อไปยังถังปฏิกิริยาหรือถังหมัก โดยนิยมใช้ท่อ HDPE เนื่องจากความทนทานและมีราคาไม่แพง ในการจ่ายน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะต้องมีการตรวจวัดปริมาณและคุณภาพของน้ำเสียเบื้องต้น โดยจะติดตั้งมิเตอร์วัดค่าต่างๆ ระบบท่อส่งน้ำเสียที่ดี จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหล เพื่อใช้ในการควบคุมการจ่ายน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด เป็นสิ่งที่อันตรายต่อระบบบำบัดเป็นอย่างมาก เนื่องจากผู้ควบคุมระบบไม่สามารถควบคุมปัจจัยใดๆได้ เช่น ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อัตราการไหลของน้ำเสีย เวลากักเก็บน้ำ หรืออัตราความเร็วน้ำไหลขึ้น เป็นต้น



รูปที่ 5-28 ลักษณะของระบบการจ่ายน้ำเสีย

นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งท่อ Bypass น้ำเสียในกรณีฉุกเฉิน โดยท่อ Bypass นี้ มีสองลักษณะคือ

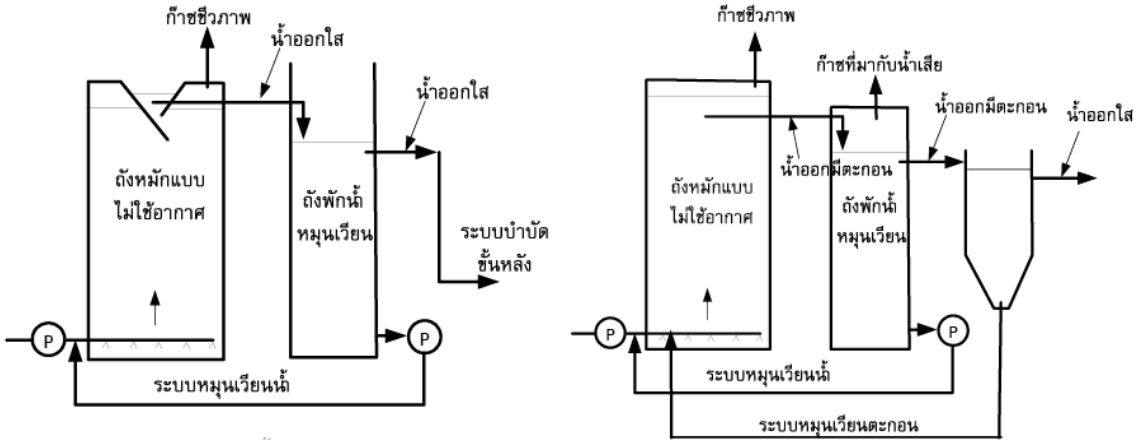
-ท่อ Bypass น้ำเสียเพื่อใช้ในการซ่อมอุปกรณ์ จะเป็นท่อที่มีขนาดเท่ากับท่อส่งน้ำเสียปกติ ติดตั้งขนานกับท่อจ่ายน้ำเสียปกติ ใช้งานเมื่อต้องการซ่อมหรือสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัด

-ท่อ Bypass น้ำเสียไปยังระบบบำบัดขั้นหลัง จะเป็นท่อที่มีขนาดเล็กกว่าท่อส่งน้ำเสียปกติโดยจะใช้งานเพื่อส่งน้ำเสียไปยังระบบบำบัดขั้นหลังในกรณีที่สารอินทรีย์ไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายไนโตรเจน (ใช้เป็นแหล่งของคาร์บอน) หรือใช้ในกรณีที่น้ำเสีย มีปริมาณมากกว่าที่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศรองรับได้

ถังปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศ

ก) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket,UASB)

หลักการทำงานของระบบยูเอเอสบีคือจะทำการจ่ายน้ำเสียเข้าจากด้านล่างให้ไหลขึ้นผ่านชั้นแบคทีเรียภายในถัง จากนั้นน้ำที่ผ่านการบำบัดรวมถึงผลผลิตที่ได้คือก๊าซชีวภาพจะออกมาทางด้านบนของถังการรักษาตะกอนภายในระบบทำด้วยการทำให้ตะกอนแบคทีเรียรวมตัวกันเป็นเม็ดและมีน้ำหนักมากขึ้น ทำให้จมตัวอยู่ภายในถังไม่หลุดออกไปพร้อมกับน้ำออก รวมถึงได้มีการออกแบบโซนตกตะกอนด้านบนของถังเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาตะกอน การที่ระบบมีเวลากักเก็บตะกอนที่นานจึงทำให้มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงจึงนิยมใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง แต่ในบางครั้งน้ำเสียบางชนิดจะเกิดการสร้างเม็ดตะกอนได้ยาก เช่น น้ำเสียที่มีโปรตีนสูงจึงได้มีการปรับปรุงระบบยูเอเอสบีให้มีถังตกตะกอนด้านนอกเพื่อที่จะได้มีการหมุนเวียนตะกอนกลับเข้ามายังระบบได้ ดังนั้นลักษณะของยูเอเอสบีทั้งสองแบบจึงแตกต่างกันดังรูปที่ 5-29

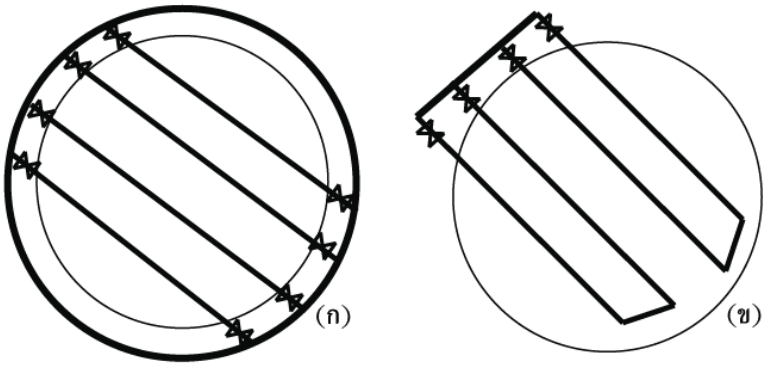


ก) ระบบยูเอเอสบีแบบไม่มีการหมุนเวียนตะกอน ข) ระบบยูเอเอสบีแบบมีการหมุนเวียนตะกอน

รูปที่ 5-29 ลักษณะของระบบยูเอเอสบี

การกระจายน้ำที่ด้านล่างของถังเพื่อการกระจายของน้ำเสียเป็นไปอย่างทั่วถึงกัน ควรจะมีจุดป้อนน้ำเข้าอย่างน้อย 1 จุด จุดต่อพื้นที่ก้นถัง 2 ม.^{2} และจุดป้อนน้ำเข้าควรอยู่สูงจากก้นถัง 20 ซม. ลักษณะการจัดวางระบบกระจายน้ำ

สามารถทำได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะของถังปฏิกิริยา โดยมีวิธีวางท่อหลักรอบถังแล้ววางท่อกระจายน้ำทะลุหัวท้าย ดังรูปที่ 5-30 (ก) หรือวางท่อหลักด้านเดียวแล้ววางท่อกระจายน้ำเป็น Loop ดังรูปที่ 5.30 (ข)



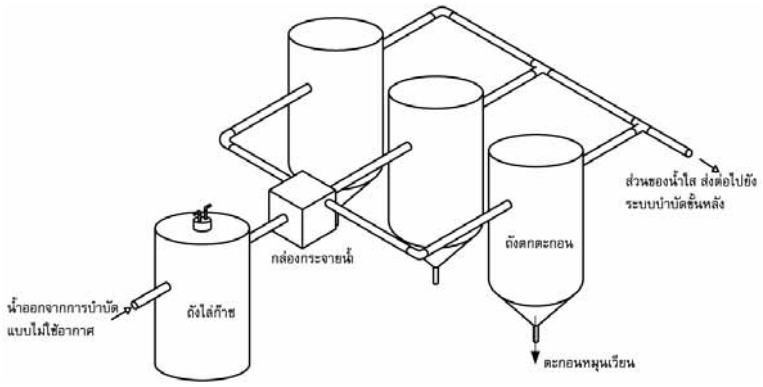
รูปที่ 5-30 ลักษณะการวางท่อกระจายน้ำระบบยูเอเอสบี

สิ่งที่สำคัญที่สุดของระบบการกระจายน้ำคือการทำให้การไหลของน้ำในทุกๆจุดภายในถังมีความสม่ำเสมอ กระจายได้อย่างทั่วถึงและต้องสามารถทำการดูแลไม่ให้หัวกระจายน้ำเกิดการอุดตัน การป้องกันการอุดตันที่ดีควรมีการติดตั้งวาล์วไว้ในท่อทุกเส้นและทำการสลับทิศทางการไหลของน้ำในท่อเป็นประจำทุกวัน เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวของสิ่งสกปรกในเส้นท่อทำให้สามารถลดการอุดตันของเศษสิ่งสกปรกในบริเวณปลายท่อและรูเจาะได้ สำหรับการตรวจสอบการอุดตันของท่อนั้นทำได้โดยปิดท่อกระจายน้ำทั้งหมด แล้วเปิดเส้นท่อทีละเส้นเพื่อตรวจสอบอัตราการไหลและแรงดันในเส้นท่อ หากเส้นท่อไหนอัตราการไหลต่ำมากหรือใกล้ศูนย์และให้แรงดันที่สูงแสดงว่าท่อเส้นนั้นอุดตัน ดังนั้นการแก้ไขอย่างง่ายที่สุดคือหยุดเดินระบบ จากนั้นเปิดเฉพาะวาล์วของเส้นท่อที่อุดตัน เพื่อที่จะใช้แรงดันของน้ำในถังดันสิ่งสกปรกให้ไหลย้อนกลับออกมา

ปริมาณตะกอนแบคทีเรียในระบบมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นควรมีการตรวจสอบปริมาณตะกอนในถัง โดยการเก็บตัวอย่างตะกอนในระดับถังต่างๆ โดยใช้ Sampling Valve ที่เจาะติดกับด้านข้างของถัง ดังรูปที่ 5.31 ซึ่งปกติตะกอนแบคทีเรียจะมีมากในช่วงด้านล่างของถัง สูงไม่เกิน 2-3 ม. ดังนั้นในช่วงดังกล่าวจะมีการติดท่อเก็บตัวอย่างถี่มากกว่าด้านบน โดยทำการติดทุกๆ 50 ซม. ในขณะที่ด้านบนจะติดทุก 1.5-2.0 ม.แล้วนำน้ำตะกอนตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่า MLSS หรือ MLVSS

รูปที่ 5-31 ถังยูเอเอสบีและท่อเก็บตัวอย่างตะกอนข้างถัง

สำหรับระบบยูเอเอสบีที่สามารถสร้างตะกอนให้เป็นเม็ดได้น้ำที่ออกจากระบบจะไม่มีตะกอนปนออกมาแต่อาจมีลักษณะขุ่นบ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสีย ซึ่งน้ำส่วนนี้สามารถปล่อยออกไปได้เลยหรือการหมุนเวียนกลับมาใช้ในระบบบางส่วนแต่สำหรับถังยูเอเอสบีแบบที่ไม่สามารถสร้างเม็ดตะกอนขึ้นมาได้จะต้องมีระบบตกตะกอนก่อนเพื่อที่จะปล่อยออกไปทำให้มีระบบบำบัดเพิ่มมากขึ้นอีกสองส่วนคือส่วนไล่ก๊าซและส่วนตกตะกอนดังรูปที่ 5-32 และรูปที่ 5-33 ซึ่งเป็นรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์และภาพจากระบบภาพจากระบบใช้งานจริงตามลำดับ



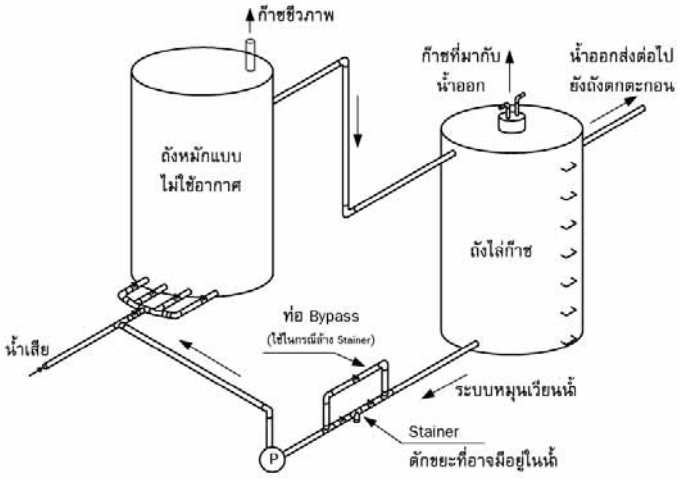
รูปที่ 5-32 การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน

สำหรับระบบยูเอเอสบีที่ตะกอนแบคทีเรียมีลักษณะเป็นฟ้อค

รูปที่ 5-33 ถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน

ถังไล่ก๊าซมีไว้เพื่อกำจัดก๊าซที่มีสะสมอยู่ในตัวตะกอนให้หลุดออกไปเพื่อที่จะทำให้ตะกอนสามารถตกตะกอนได้ง่าย เพราะถ้าหากตะกอนมีก๊าซสะสมอยู่ การตกตะกอนจะทำได้ยาก สำหรับการดูแลถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอนไม่มีจุดที่ควรระวังเป็นพิเศษสิ่งที่ควรดูแลคือการสะสมของตะกอนภายในถังต้องไม่มากเกินไปควรหมุนเวียนตะกอนกลับเข้ามาในระบบให้มากที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ

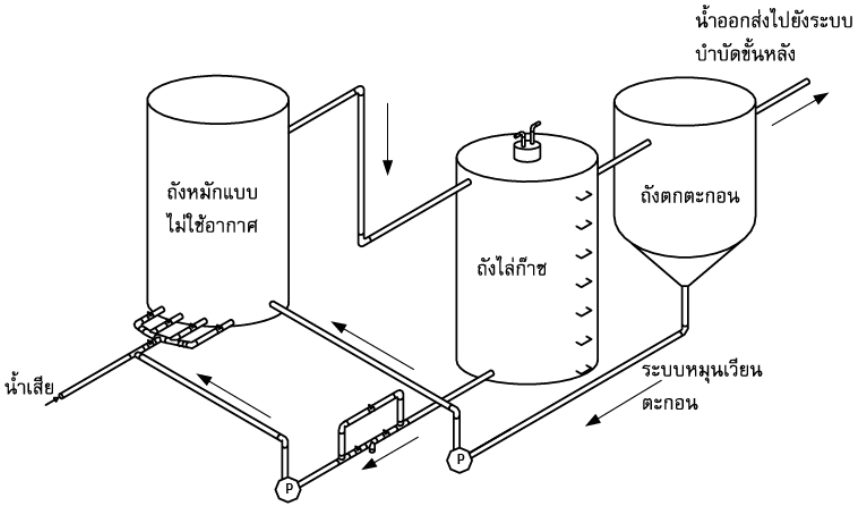
สำหรับการหมุนเวียนน้ำกลับเข้ามาในระบบจะต้องมีการควบคุมอัตราการไหลให้สัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำเสียและค่าความเร็วไหลขึ้นของน้ำภายในถังเนื่องจากหากความเร็วไหลขึ้นของน้ำสูงเกินไปจะทำให้ตะกอนฟุ้งและหลุดออกมามากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปของระบบยูเอเอสบี จะควบคุมไม่ให้อัตราการไหลของน้ำเกิน 1 ม./ชม. ดังนั้นจึงควรมีการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนไว้ด้วย สำหรับการผสมน้ำหมุนเวียนทำได้สองแบบคือ ผสมในเส้นท่อเข้ากับท่อน้ำเสียหรือทำท่อกระจายน้ำหมุนเวียนแยกต่างหากนอกจากนี้อาจใช้วิธีการนำน้ำเสียเข้าไปผสมในถังน้ำหมุนเวียนเพื่อผสมก่อนที่จะจ่ายเข้าสู่ถัง เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนจะมีขนาดใกล้เคียงหรือใหญ่กว่าเครื่องสูบน้ำเสีย ทั้งนี้ขึ้นกับสัดส่วนการหมุนเวียนน้ำ รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ในการหมุนเวียนเข้าสู่ถังยูเอเอสบีแสดงดังรูปที่ 5-34 และรูปที่ 5-35



รูปที่ 5-34 การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน

รูปที่ 5-35 การหมุนเวียนน้ำ

สำหรับระบบที่ต้องมีการหมุนเวียนตะกอนเข้าสู่ถังยูเอเอสบี เครื่องสูบตะกอนที่ใช้จะต้องเป็นแบบที่ไม่ทำให้ตะกอนเสียหายโดยการเติมตะกอนเข้าสู่ถังไม่จำเป็นต้องทำการผสมตะกอนเข้ากับน้ำเสีย เนื่องจากตะกอนดังกล่าวทำให้เกิดการอุดตันในเส้นท่อได้ดังนั้นจึงใช้การต่อท่อเติมตะกอนที่บริเวณด้านข้างของถังประมาณ 3-4 จุดก็ได้ โดยมีรูปแบบดังรูปที่ 5-36 และ รูปที่ 5-37



รูปที่ 5-36 การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน

รูปที่ 5-37 การหมุนเวียนตะกอนและการเติมตะกอนเข้าถัง

ข) ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศ

ลักษณะของถังกรองไม่ใช้อากาศมีทั้งชนิดถังกลมและถังสี่เหลี่ยมซึ่งภายในบรรจุวัสดุตัวกลางไว้เพื่อให้แบคทีเรียได้อาศัยเกาะดังรูปที่ 5-38 จะเป็นถังกรองแบบไม่ใช้อากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมภายในบรรจุวัสดุตัวกลางแบบตาข่ายไว้ สำหรับการดูแลรักษาและเดินระบบถังกรองไม่ใช้อากาศควรมีการจัดการน้ำเสีย การหมุนเวียนน้ำเสีย การหมุนเวียนน้ำ และการปรับปรุงคุณสมบัติน้ำเช่นเดียวกับระบบยูเอเอสบี รวมถึงการกระจายน้ำด้านล่างของถัง โดยสิ่งที่ต้องมีการดูแลเพิ่มเติมในระบบถังกรองไม่ใช้อากาศคือการตรวจสอบการอุดตันของตัวกลางในระบบ เพื่อป้องกันการไหลลัดทางเนื่องจากหากเกิดการอุดตันขึ้นจะทำให้น้ำไหลออกจากระบบไม่สม่ำเสมอเกิดการไหลลัดทางขึ้นได้ ดังรูปที่ 5-39

สำหรับระบบถังกรองไม่ใช้อากาศจะไม่มีการหลุดออกมาของตะกอนจากระบบเนื่องจากตะกอนจะติดอยู่กับตัวกลาง แต่อาจมีตะกอนหลุดออกมาบ้างจากแรงเฉือนที่เกิดจากการไหลของน้ำ ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีระบบการหมุนเวียนตะกอนหรือระบบป้องกันการหลุดออกของตะกอนอย่างไรก็ตามยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการหมุนเวียนน้ำออก นอกจากจะทำให้การควบคุมสมดุลระหว่างความเป็นกรดและความเป็นด่างของระบบทำได้ยากแล้ว ยังสิ้นเปลืองด่างอีกด้วย

การดูแลเรื่องการไหลลัดทางของน้ำภายในถังเป็นสิ่งที่ผู้ดูแลระบบบำบัดแบบถังกรองไม่ใช้อากาศต้องให้ความสนใจเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบทำงานไปได้มากกว่า 5 ปี เนื่องจากมีโอกาสที่ตัวกลางจะอุดตันได้สูง ถ้าหากเกิดการไหลลัดทางขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้นลดลงตามไปด้วย การแก้ไขจะต้องเปิดฝาระบบบำบัดเพื่อนำเอาตัวกลางมาล้าง แต่หากการออกแบบก่อสร้างดีโดยมีการยกชั้นตัวกลาง ให้สูงจากด้านล่างของถัง ทำเป็นช่องว่างสำหรับการระบายตะกอนไว้ด้านล่างของถัง เมื่อเกิดการอุดตันของชั้นตัวกลางสามารถที่จะทำการระบายตะกอนออกเพื่อลดปริมาณตะกอนในถัง โดยจะทำการจ่ายน้ำจากบนลงล่างเพื่อช่วยไล่ตะกอน ซึ่งจะช่วยลดการอุดตันลงได้บ้างโดยไม่ต้องทำการเปิดฝาถัง ซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้ควรตรวจสอบอายุการใช้งานของตัวกลางและจะต้องเปลี่ยนตัวกลางตามเวลาที่กำหนด

รูปที่ 5-38 ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศ

รูปที่ 5-39 น้ำออกไม่สม่ำเสมอเกิดการอุดตันของตัวกลาง/ การทรุดของเวียร์

5.3 การบำรุงรักษาในส่วนก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถผลิตขึ้นใช้เองได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ สามารถชดเชยหรือทดแทนการใช้เชื้อเพลิงต่างๆ กับอุปกรณ์ที่ต้องการความร้อนจากเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี เช่น เครื่องอบแห้ง หม้อต้มไอน้ำ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนใช้กับเครื่องยนต์สำหรับสูบน้ำหรือผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ในการใช้ก๊าซชีวภาพจำเป็นต้องให้ความใส่ใจเรื่องความปลอดภัยถึงแม้ว่าก๊าซธรรมชาติจะไม่สามารถลุกไหม้ขึ้นเองตามธรรมชาติแต่หากใช้อย่างไม่ระมัดระวังอาจเกิดอุบัติเหตุทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้การใช้ก๊าซชีวภาพในภาคอุตสาหกรรมจะใช้ในสองรูปแบบคือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าและใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนใน Burner หรือ Boiler ดังรูปที่ 5-40 ถึงรูปที่ 5-42

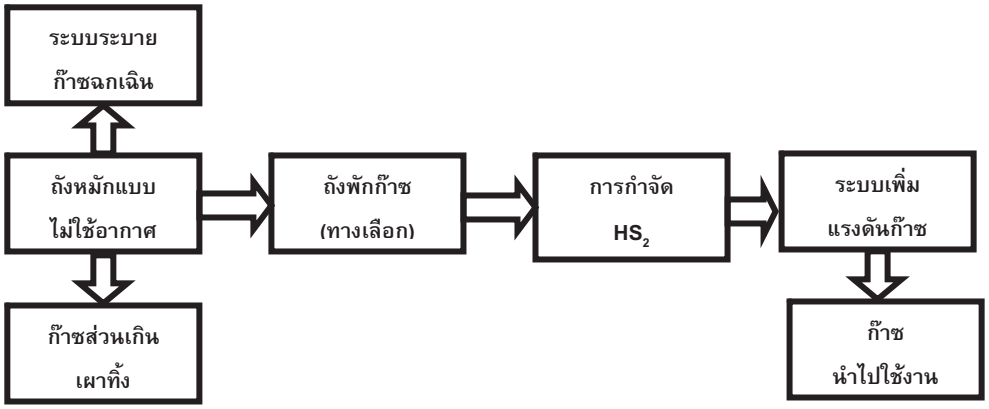
รูปที่ 5-40 เตาน้ำมันร้อน (Hot Oil Burner) และหัวเผา

รูปที่ 5-41 หม้อไอน้ำ (Stream Boiler)

รูปที่ 5-42 ชุดเครื่องปั่นไฟใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซชีวภาพ

ก) ขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

สำหรับขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานสามารถอธิบายเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 5-43



รูปที่ 5-43 ขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

การติดตั้งท่อส่งก๊าซชีวภาพ

ชนิดของท่อส่งในระบบท่อก๊าซชีวภาพควรใช้ท่อที่ทำจาก Stainless steel และมีการทาสีเหลือง หรือติดสัญลักษณ์ไว้ทุกๆ 2 เมตร ดังรูปที่ 5-44 เพื่อแสดงให้เห็นว่าเป็นท่อก๊าซ แต่ก็มีหลายแห่งที่นิยมใช้ท่อพีวีซีกับก๊าซชีวภาพ ซึ่งการใช้ท่อพีวีซี จะต้องคอยตรวจสอบการรั่วซึมบริเวณรอยต่อของท่อก๊าซอยู่เสมอ

รูปที่ 5-44 ท่อส่งก๊าซชีวภาพ

อุปกรณ์ดักน้ำ

เป็นชุด Cyclone สำหรับดักและลดสิ่งแปลกปลอมรวมถึงความชื้นและน้ำในก๊าซชีวภาพ ก่อนที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 5.45 ซึ่งโดยปกติแล้วก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มักจะมีความชื้นสูงเกือบถึงจุดอิ่มตัวท่อส่งก๊าซที่วางตัวอยู่ในดินมักจะทำให้ไอน้ำในก๊าซชีวภาพกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและสะสมจนอาจเกิดเป็นอุปสรรคในการส่งก๊าซควรให้มีความลาดเอียงประมาณ 1% ลงไปหาจุดดึกน้ำที่สามารถระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซได้ ซึ่งการวางท่อส่งก๊าซดังกล่าวจะช่วยลดปริมาณน้ำที่ค้างอยู่ในท่อส่งก๊าซลงได้จำนวนหนึ่ง

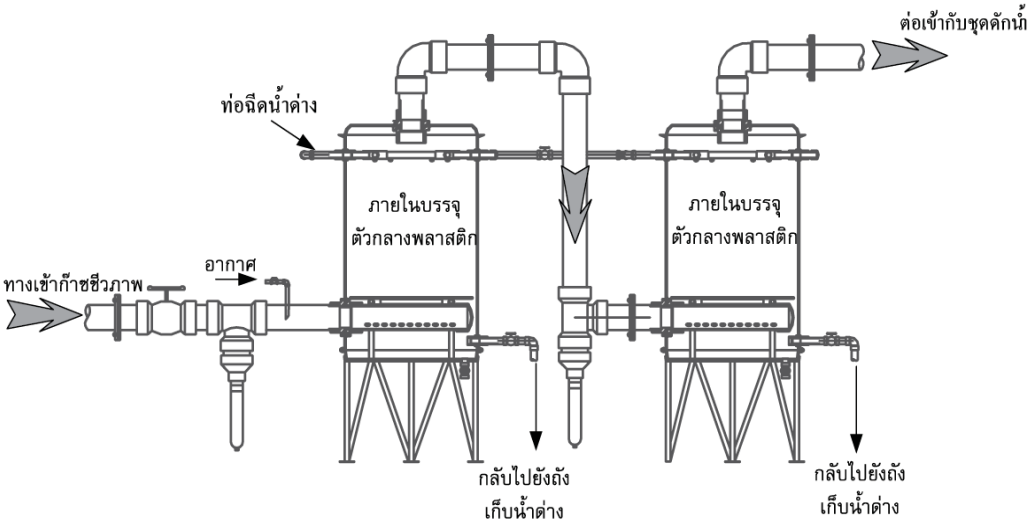
รูปที่ 5-45 ชุดไซโคลนดักน้ำก่อนเข้าไปในอุปกรณ์ใช้งาน

ในการใช้อุปกรณ์ดักน้ำและระบายก๊าซ ในท่อต้องหมั่นระบายน้ำที่สะสมอยู่เป็นประจำทุกวัน โดยต้องระบายน้ำทิ้งมากกว่าวันละ 1-2 ครั้ง ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศในวันนั้นๆ ข้อสังเกตคือในวันที่ฝนตก หรืออากาศเย็นจะมีการควบแน่นไอน้ำในเส้นท่อได้สูงกว่าปกติ จึงต้องมีการระบายน้ำบ่อยขึ้น แต่หากใช้ระบบระบายน้ำอัตโนมัติจะช่วยการทำงานสะดวกมากขึ้นแต่ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างก็จะสูงขึ้น นอกจากนี้ต้องทำการตรวจสอบการทำงานของระบบระบายน้ำอัตโนมัติด้วยว่าสามารถทำงานได้อย่างเป็นปกติ ดังแสดงในรูปที่ 5-46

รูปที่ 5-46 จุดระบายน้ำที่ควบแน่นในเส้นออกจากท่อส่งก๊าซ

อุปกรณ์ดักไฮโดรเจนซัลไฟด์

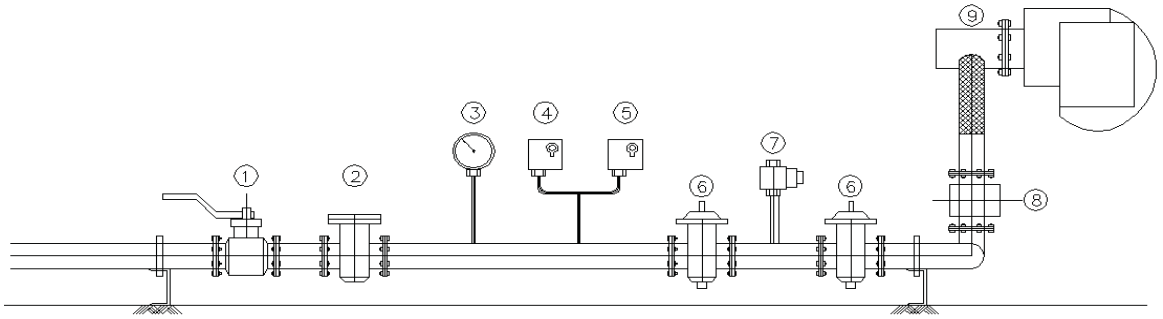
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่สร้างปัญหาให้กับเครื่องยนต์ที่นำก๊าซชีวภาพไปใช้งานโดยทั่วไปในก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ประมาณ 1% แม้ว่าจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่หากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดปฏิกิริยากับไอน้ำที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพจะทำให้เกิดสารละลายกรดซัลฟูริค (Sulfuric Acid,H_2SO_4) ซึ่งคุณสมบัติเป็นกรดทำให้เกิดการกัดกร่อนวัสดุต่างๆรวมไปถึงภายในเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ วิธีการกำจัดมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายและนิยมใช้ในประเทศไทยคือการฉีดสารละลายด่าง (NaOH หรือ $Ca(OH)_2$) เข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้การฉีดสารละลายด่างจากด้านบนของถัง ในขณะที่ให้ก๊าซชีวภาพไหลขึ้นจากทางด้านล่างเพื่อให้สารละลายด่างเกิดปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้งนี้ผู้ควบคุมระบบจะต้องมีการตรวจสอบพีเอชของสารละลายด่างเสมอ หากมีพีเอชที่ลดลงต่ำกว่า 8.0 ควรเปลี่ยนสารละลายใหม่ซึ่งลักษณะการทำงานของระบบแสดงในรูปที่ 5-47 และ รูปที่ 5-48



รูปที่ 5-47 แผนผังการทำงานของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

รูปที่ 5-48 ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือการควบคุมการไหลและแรงดันของก๊าซที่จะเข้าสู่เครื่องจักรกลให้มีความสม่ำเสมอเพื่อให้เครื่องจักรกลเดินได้เรียบไม่สะดุด โดยในการปรับแรงดันของก๊าซนอกจากจะใช้ Blower ในการควบคุมแรงดันที่ต้นทาง ยังมีการควบคุมแรงดันและอัตราการไหลของก๊าซก่อนจะเข้าไปยังเครื่องจักรกลอีกด้วยซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่ Pressure Switch หรือ Pressure Regulator เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 5-49



เมื่อ

1. วาล์ว
2. Filter
3. Gas Regulaor
4. Pressure Switch
5. Pressure Switch
6. Safety Shut Off Valve
7. Solenoid Vent Valve
8. Flame Arrestor
9. หัวเผา Burmer

รูปที่ 5-49 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Burner

ข) อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย

1. Pressure Release Valve (PRV)

เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมความดันในถังปฏิกิริยาไม่ให้เกินระดับที่เป็นอันตรายต่อโครงสร้างของถัง โดยหากระดับแรงดันในถังสูงเกินกว่าที่กำหนดและไม่มีการระบายก๊าซออก ก๊าซจะถูกดันออกมาทาง Pressure Release Valve โดยวิธีการติดตั้งจะติดตั้งส่วนที่เป็นถังดังรูปที่ 5-50 ซึ่งระดับแรงดันที่จะเริ่มทำงานขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับแรงดันที่วิศวกรออกแบบไว้ ปกติจะควบคุมแรงดันในถังไม่ให้เกิน 25 มิลลิบาร์

รูปที่ 5-50 การติดตั้ง Pressure Release Valve

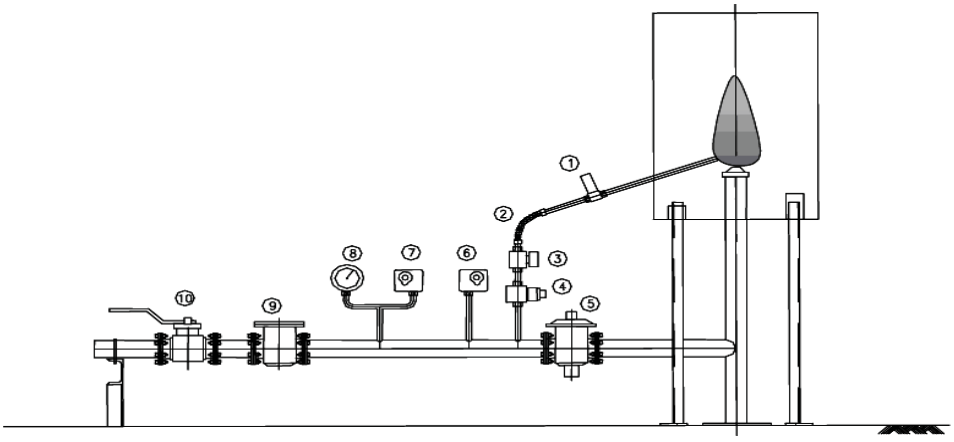
2. อุปกรณ์เผาก๊าซทิ้งอัตโนมัติ (Biogas Flare)

ในกรณีที่ปริมาณของก๊าซชีวภาพมีมากเกินความต้องการเนื่องจากบางครั้งความต้องการใช้พลังงานของโรงงานลดลง ดังนั้นระบบ Gas Flare หรือระบบการเผาก๊าซส่วนเกินทิ้ง ซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์ความปลอดภัยชนิดหนึ่งที่ต้องมีไว้

การทำงานของระบบ Gas Flare จะควบคุมด้วยแรงดันของก๊าซชีวภาพที่สะสมอยู่ในระบบ โดยในกรณีที่ไม่ได้ใช้ก๊าซหรือใช้ก๊าซน้อยกว่าก๊าซที่ผลิตได้ ทำให้แรงดันของก๊าซชีวภาพในระบบสูงขึ้น เมื่อมีแรงดันระบบสูงถึงค่าที่กำหนด ระบบเผาก๊าซจะทำการจุดและเผาก๊าซชีวภาพส่วนเกินทิ้งและหยุดทำงานเมื่อความดันระบบลดลงจนถึงระดับที่ปลอดภัย แต่หากปริมาณก๊าซมีมากเกินกว่าที่จะเผาได้ทัน และความดันในระบบยังเพิ่งสูงขึ้น ระบบความปลอดภัยอีกระดับคือ Pressure Release Valve จะทำงานโดยการระบายก๊าซชีวภาพออกสู่บรรยากาศโดยตรง

ลักษณะของอุปกรณ์เผาก๊าซทิ้งอัตโนมัติและชุดควบคุมความดันในระบบแสดงดังรูปที่ 5-51 โดยมีขั้นตอนในการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของ Biogas Flare ดังรูปที่ 5-52

รูปที่ 5-51 Gas Flare และระบบวัดความดันในท่อก๊าซ



เมื่อ

1. หัวจุด
2. สายอ่อน
3. Gas Regulator
4. Solenoid Vent Valve
5. Safety Shut Off Valve
6. Pressure Swich
7. Pressure Switch
8. Pressure Gauge
9. Gas Filter
10. Vale

รูปที่ 5-52 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Biogas Flare แบบเปิด

ค. อุปกรณ์อื่น ๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานก๊าซชีวภาพ

ค-1 อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน

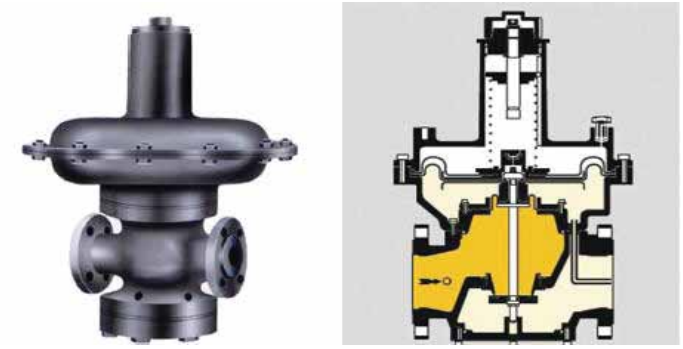
(1) Pressure Switch

มีลักษณะทั่วไปดังรูปที่ 5-53 เป็นตัวควบคุมการทำงานของวาล์วด้วยแรงดันในท่อ โดยมีการตั้งค่าแรงดันในระบบที่จะให้มีการส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุม เพื่อทำการเปิดหรือปิดอุปกรณ์

รูปที่ 5-53 Pressure Switch และรูปแบบการติดตั้ง

(2) Pressure Regulator

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมระดับแรงดันของก๊าซในเส้นท่อ โดยหลังจากผ่าน Regulator ความดันในเส้นท่อจะมีค่าคงที่ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการใช้งาน โดยภายในจะมีสปริงหรือไดอะแฟรมติดตั้งอยู่ เมื่อแรงดันก๊าซที่ไหลเข้ามามีแรงดันมากกว่าที่ตั้งไว้ ก๊าซจะดันสปริงให้ยกขึ้นทำให้แรงดันก๊าซในระบบลดลง หากแรงดันที่ส่งมาลดลงสปริงก็จะกดตัวกลับลงมา ทำให้แรงดันในระบบเพิ่มขึ้น โดยจะมีลักษณะดังรูปที่ 5-54



รูปที่ 5-54 ลักษณะของ Pressure Regulator

ค-2 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นนอกจากจะทำให้ทราบถึงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ยังสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและปริมาณก๊าซที่ได้ซึ่งจะทำให้ทราบสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์เปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ ถ้าหากสัดส่วนดังกล่าวสูงหรือต่ำกว่าสัดส่วนทางทฤษฎีจะต้องมีการตรวจสอบว่าความแตกต่าง

นั้นเกิดจากความผิดพลาดของระบบหรือเกิดจากเครื่องมือการตรวจวัดซึ่งจะสามารถช่วยให้แก้ไขปัญหาได้ทัน นอกจากนี้ยังนำไปใช้เพื่อประเมินความสามารถของอุปกรณ์ที่ใช้ก๊าซว่ามีประสิทธิภาพหรือไม่

สำหรับเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันสองแบบคือ แบบ Thermal Mass Flow Meter และแบบที่วัดจากปริมาตรการไหลของก๊าซโดยตรง ดังในรูปที่ 5-55 ซึ่งเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซแบบ Thermal Mass Flow Meter จะอาศัยความร้อนในการวัดอัตราการไหลของก๊าซ หลักในการวัดสองรูปแบบ

- รูปแบบที่หนึ่งจะวัดอัตราการไหลโดยรักษาอุณหภูมิที่วัดได้ให้คงที่ โดยเมื่อมีมวลอากาศไหลผ่านแท่งความร้อนจะทำให้ความร้อนลดลง การวัดปริมาณก๊าซที่ไหลผ่านจะเป็นการเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้า ที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมิความร้อนให้คงที่

- แบบที่สองจะเป็นการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิสองจุด โดยจุดแรกจะเป็นตัวส่งความร้อน เมื่อก๊าซไหลผ่านก็จะนำเอาความร้อนไปด้วย ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองจุดจะถูกนำไปเปลี่ยนให้เป็นอัตราการไหลของก๊าซ

รูปที่ 5-55 เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซแบบ Thermal Mass Flow Meter และแบบวัดปริมาตรของก๊าซที่ไหลผ่าน

5.4 การเริ่มต้นเดินระบบ

ในการเริ่มต้นเดินระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพทุกแบบ มีหลักการในการเริ่มต้นเดินระบบที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งในการเริ่มต้นด้วยระบบจะต้องปรับให้แบคทีเรียมีความคุ้นเคยกับน้ำเสียและสภาพสภาวะแวดล้อมที่ต้องการให้แบคทีเรียทำงาน โดยการเริ่มต้นเดินระบบสามารถแบ่งออกได้เป็นสองรูปแบบหลักได้แก่

การเริ่มต้นเดินระบบครั้งแรก

เป็นการเริ่มต้นเดินระบบหลังจากที่มีการก่อสร้างเสร็จ ความยากง่ายในการเริ่มต้นเดินระบบ ในกรณีนี้ จะขึ้นอยู่กับตะกอนหัวเชื้อที่นำมาใส่ในระบบ ในบางระบบจะไม่มีการเติมตะกอนหัวเชื้อซึ่งจะให้การพัฒนาตะกอนแบคทีเรียขึ้นมาเอง ซึ่งทำให้ใช้เวลาในการเดินระบบนานกว่าหกเดือน ทั้งนี้ในการเริ่มต้นเดินระบบนั้นจะต้องวัดค่า MA ของแบคทีเรียที่มีอยู่ในระบบก่อน เพื่อจะให้ทราบความสามารถในการรับสารอินทรีย์ของแบคทีเรียการเริ่มต้นจ่ายน้ำเสียครั้งแรกจะต้องไม่ให้สารอินทรีย์เข้าไปสูงเกินกว่าที่แบคทีเรียจะรับได้ จากนั้นจึงค่อย ๆเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์เข้าไป สำหรับการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์นิยมเพิ่มครั้งละ 5-10% ซึ่งในช่วงแรกของการเดินระบบอาจต้องมีการเติมด่างช่วยในการปรับพีเอช เนื่องจากในระบบยังมีความเป็นด่างไม่เพียงพอขณะที่ทำการเพิ่มสารอินทรีย์ต้องมีการวิเคราะห์น้ำเสีย

ทั้งน้ำเสียก่อนเข้าระบบ น้ำเสียภายในระบบ และน้ำเสียออกจากระบบให้ถี่ขึ้น ซึ่งพารามิเตอร์ที่มักจะทำการตรวจวัดได้แก่ พีเอช ความเป็นด่าง-กรด ระเหยง่าย เนื่องจากได้ผลการวิเคราะห์ที่เร็ว

สิ่งสำคัญที่สุดในการเดินระบบครั้งแรก

คือต้องใจเย็นและคอยสังเกตผลและประสิทธิภาพของระบบแบบวันต่อวัน เนื่องจากแบคทีเรียต้องการปรับตัวในการที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากผู้ดูแลระบบเห็นว่าในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานที่สูง โดยอาจสูงถึง 90% และต้องการเริ่มต้นระบบให้เสร็จอย่างรวดเร็ว จึงเพิ่มสารอินทรีย์เข้าไป 10-15% ติดต่อกัน 2-3 วัน ด้วยเข้าใจว่าระบบมีประสิทธิภาพสูง แต่ไม่ได้ติดตามผลอย่างต่อเนื่อง แบคทีเรียในระบบอาจตาย และทำให้การเริ่มต้นเดินระบบล้มเหลวได้ ซึ่งจะต้องมีการเริ่มต้นเดินระบบใหม่ทั้งหมดอีกครั้ง ยิ่งจะเป็นการเสียเวลาที่ทำมา

การเดินระบบใหม่หลังจากที่มีการหยุดการผลิต

ในกรณีโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องมีการหยุดกิจการเป็นช่วงๆ เนื่องจากฤดูการผลิตและเก็บเกี่ยววัตถุดิบ จะส่งผลให้ไม่มีน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้ต้องหยุดเดินระบบ ซึ่งโดยทั่วไประบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศสามารถทนทานต่อการขาดสารอาหารได้เป็นเวลานาน เนื่องจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีค่าอัตราการสร้างเซลล์ใหม่ (Y) และการย่อยสลายต่ำ (kd) ดังนั้นถึงแม้จะหยุดการเดินระบบเป็นเวลานาน 1-2 เดือนก็สามารถกลับมาเดินระบบได้ตามปกติ ในการเริ่มต้นเดินระบบอีกครั้ง ควรมีการหมุนเวียนน้ำในระบบเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวและตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆว่ายังทำงานได้ตามปกติ นอกจากนี้ยังเป็นการกระตุ้นและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแบคทีเรียประมาณ 1-2 วัน จากนั้นจึงเริ่มจ่ายน้ำเสียเข้าไปในระบบโดยควรจ่ายให้ระบบรับสารอินทรีย์ประมาณ 60-70% ของสารอินทรีย์ที่สามารถรับได้ก่อนจะหยุดเดินระบบ จากนั้นก็สามารถเพิ่มสารอินทรีย์ได้ครั้งละ 10 % ต่อ 2-3 วัน และในการเดินระบบอีกครั้งก็ยังจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบสภาพการทำงานของแบคทีเรียเช่นเดิม ดังนั้นหากการหยุดเดินระบบมีช่วงเวลาไม่นาน เช่น ไม่เกิน 1 สัปดาห์ ไม่ควรปล่อยให้ระบบหยุดนิ่งควรมีการหมุนเวียนน้ำในระบบ เพื่อให้สามารถกลับมาเดินระบบได้ทันที

บทที่ 6

รายละเอียดระยะเวลาและความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษา

รายละเอียด ระยะเวลาและความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษาแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ การตรวจสอบรายวัน การตรวจสอบรายเดือน และ การตรวจสอบรายปี รายละเอียดการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพดังตารางที่ 6-1 สำหรับการตรวจสอบและบำรุงรักษาในแต่ละส่วนมีดังนี้

6.1 การตรวจสอบรายวัน

เป็นการตรวจสอบระบบโดยทั่วไปเพื่อตรวจหาความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งปัญหาที่พบบางอย่างอาจต้องรีบแก้ไข เช่น การปรับอัตราการไหลของน้ำเสีย บางอย่างอาจต้องทำการวางแผนเพื่อที่จะแก้ไขในอนาคต ในกรณีที่การแก้ไขต้องมีการวางแผนเพื่อที่จะแก้ไขในอนาคต ในกรณีที่การแก้ไขต้องมีการวางแผนและใช้งบประมารมาก เช่น การเพิ่มเติมหน่วยบำบัดต่างๆ การตรวจสอบรายวันจะช่วยให้ทราบถึงความผิดปกติในระบบและทราบถึงความสามารถในการบำบัดของระบบได้เป็นอย่างดี โดยสามารแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน

ก. การดูแลระบบบำบัด อุปกรณ์ ตรวจความผิดปกติของอุปกรณ์ต่าง ๆ

การตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรจะตรวจสอบในสองลักษณะคือ

- การตรวจเช็คเครื่องจักรประจำวัน เพื่อเป็นการตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักร สภาพการทำงาน เพื่อให้ทราบถึงสภาวะการทำงานโดยรวมของเครื่องจักร
- ตรวจสอบสภานะการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นๆ มีสภาพการทำงานเป็นอย่างไร เช่น เปิด ปิด หรือ ส่งซ่อม เป็นต้น เพื่อให้ทราบถึงชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรแต่ละตัว จะได้นำไปวางแผนในการตรวจซ่อมโดยละเอียดตามชั่วโมงการทำงานต่อไป

ตารางที่ 6-1 รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพ

ลำดับ	รายละเอียดอุปกรณ์/ระบบที่ต้องตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	ชิ้นส่วน/อุปกรณ์ที่ต้องตรวจ	สถานภาพระบบ	หมายเหตุ
1.	**รางระบายน้ำ**				
	- ตรวจสอบขยะหรือสิ่งแปลกปลอมตกค้างในราง	รายวัน			
	- ตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของราง รอยแตก/รั่ว	รายเดือน			
2.	**บ่อสูบน้ำเสีย**				
	- สภาพโดยทั่วไปเช่น รอยรั่ว การทำงานของปั๊มน้ำเสีย ฯลฯ	รายวัน			
	- ตรวจสอบตะกอนตกค้างในบ่อสูบน้ำเสีย	รายเดือน			
3.	**ตะแกรงดักขยะ**				
	- สภาพการทำงานทั่วไป/สภาพตะแกรง	รายวัน			
4.	**บ่อดักไขมัน**				
	- สภาพการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน			
	- ตรวจสอบอุปกรณ์ที่เป็นส่วนเคลื่อนไหว/บำรุงรักษา	รายเดือน			
5.	**บ่อปรับเสถียรภาพ**				
	- สภาพการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน			
	- ตรวจสอบอุปกรณ์ที่เป็นส่วนเคลื่อนไหว/บำรุงรักษา	รายเดือน			

ตารางที่ 6-1 (ต่อ)

ลำดับ	รายละเอียดอุปกรณ์/ระบบที่ต้องตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	ชิ้นส่วน/อุปกรณ์ที่ต้องตรวจ	สถานภาพระบบ	หมายเหตุ
6.	**ถังตกตะกอน**				
	- สภาพการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน			
7.	**ถังปฏิกิริยา**				
	- สภาพการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน			
	- สภาพการทำงานของอุปกรณ์ประกอบเช่น เกจ์วัดความดัน	รายวัน			
8.	**ระบบจ่ายสารเคมี**				
	- ตรวจสอบปริมาณในถังเก็บ	รายวัน			
	- ตรวจสอบสภาพการทำงานโดยทั่วไป การรั่วซึมต่างๆ	รายวัน			
9.	**ลานตากตะกอน**				
	- ตรวจสอบการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน			
	- การขังของน้ำ	รายวัน			
	- ตะกอนแห้งช้า	รายวัน			
10.	**Gas Blower**				
	- ตรวจชุดควบคุมแรงดัน	รายวัน			
	- ตรวจสอบอุปกรณ์รองรับการสันสะเทือนของ Blower และมอเตอร์	รายวัน			
11	**Gas Flare**				
	- ตรวจสอบชุดควบคุมและตรวจจับแรงดันของก๊าซ	รายวัน			
	- ตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับเข้าในระบบ	รายวัน			
12	**การวิเคราะห์น้ำเสียในห้องปฏิบัติการ**				
	- ตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำเสียที่จำเป็น	รายวัน			

คำแนะนำ : สถานภาพของระบบ หมายถึง ให้ระบุวันสุดท้ายที่พบปัญหาและระบุสาเหตุที่ต้องซ่อมแซม

นอกจากตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักร เจ้าหน้าที่ที่ตรวจสอบระบบจะต้องทำการตรวจสอบสภาพทางกายภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถสัมผัสได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของมนุษย์ เช่น สีและกลิ่น ของน้ำในหน่วยบำบัดต่างๆ ลักษณะของตะกอน เสียงของเครื่องจักร เป็นต้น เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสภาพ วันก่อนๆ รวมถึงทำการตรวจวัดจดบันทึกพารามิเตอร์ที่ต้องทำการตรวจวัดที่แหล่งกำเนิดทันที เช่น พีเอช อุณหภูมิ เป็นต้น ตัวอย่างของรายการที่ต้องทำการตรวจสอบระบบได้แก่

1) **รางระบายน้ำ** โดยสังเกตถึง
   - ปริมาณขยะและตะกอนตกค้างในรางระบายน้ำเสีย
   - เศษขยะหรือสิ่งตกค้าง

2) บ่อสูบน้ำเสีย

- สภาพของบ่อสูบ เช่น รอยรั่ว รอยแตกร้าว
- สภาพของเครื่องสูบน้ำเสีย ได้แก่ จุดรั่วซึมต่างๆ ระดับน้ำมันเครื่อง สภาพรอยแตก ของสายพาน สภาพการทำงานของมอเตอร์ จะต้องอยู่ในสภาพปกติ
- วาล์วต่างๆจะต้องทำงานโดยไม่มีเสียงดัง
- เกจ์วัดความดัน (Pressure Gage) จะต้องทำงานโดยที่เข็มชี้บอกความดัน จะต้องไม่มีการสั่น และสามารถอ่านค่าได้เมื่อเครื่องสูบน้ำทำงาน โดยความดันที่อ่านได้ต้องไม่สูงเกินกว่าที่กำหนด
- ท่อและข้อต่อต่างๆจะต้องไม่มีรอยรั่วซึม ลูกลอยจะต้องทำความสะอาดไม่ให้มีคราบไขมันเกาะติด และตรวจสอบสายไฟไม่ให้พันกัน
- สถานการณ์ทำงานของเครื่องและไฟแสดงสภานะการทำงานที่ตู้ควบคุม รวมถึงในจุดต่างๆต้องสัมพันธ์กัน

3) ตะแกรงดักขยะ

- ปริมาณขยะและตะกอนอุดตันที่ช่องของตะแกรง
- สภาพของตะแกรงดักขยะ ได้แก่ จุดชำรุด สนิม ความแข็งแรงของจุดยึดกับผนังจะต้องไม่มีจุดชำรุดใดๆ

4) บ่อดักไขมัน

- ไขมันที่ลงบนผิวน้ำ
- การอุดตันภายในท่อของไขมัน
- สภาพของบ่อสูบ เช่น รอบรั่วและรอยแตกร้าว
- การทำงานของเครื่องสูบไขมัน
- สภาพการทำงานของเครื่องกวาดไขมัน

5) บ่อปรับเสถียร

- สภาพโครงสร้างของบ่อปรับเสถียร และจุดรั่วซึมของท่อต่างๆ ที่เชื่อมกับโครงสร้างถัง
- สภาพของมอเตอร์ของเครื่องกวนต้องอยู่ในสภาพที่ดี เช่นต้องไม่มีรอยขีดข่วนบนตัวมอเตอร์ สายไฟฟ้าที่เข้าสู่มอเตอร์ต้องอยู่ในสภาพดี
- ลักษณะการหมุนและความเร็วในการหมุนของเครื่องกวนจะต้องมั่นคงปราศจากการสั่น
- จุดยึดเครื่องกวนกับฐานรองรับต้องมั่นคง

6) ถังตกตะกอน

- ตรวจสอบระดับตะกอนในถัง
- ตรวจสอบการทำงานของเครื่องสูบตะกอน
- ลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านถังตกตะกอน

7) ถังปฏิกิริยา

- สีและสภาพของตะกอนจุลชีพ
- สภาพของเครื่องสูบน้ำเสียทุกชนิด ได้แก่ จุดรั่วซึมต่างๆ ระดับน้ำมันเครื่อง สภาพรอยแตกของสายพาน สภาพการทำงานของมอเตอร์จะต้องอยู่ในสภาพปกติ
- วาล์วต่างๆจะต้องทำงานไม่มีเสียง
- การไหลจะต้องควบคุมให้การไหลสลับกัน (เปิด-ปิด วาล์วสลับวันเว้นวัน) เพื่อป้องกันการอุดตันภายในท่อ
- เกจ์วัดความดัน (Pressure Gage) จะต้องทำงานโดยที่เข็มชี้บอกความดันจะต้องไม่มีการสั่นและสามารถอ่านค่าได้เมื่อเครื่องสูบน้ำทำงาน โดยความดันที่อ่านได้จะต้องไม่สูงเกินกว่าที่กำหนด
- ท่อและข้อต่อต่างๆจะต้องไม่มีการรั่วซึม
- สีและลักษณะของน้ำออก
- ลักษณะการไหลของน้ำ
- สภานะการทำงานของเครื่องสูบน้ำและไฟแสดงสถานการณ์ทำงานของตู้ควบคุม รวมถึงในจุดต่างๆ ต้องสัมพันธ์กัน

8) ระบบจ่ายสารเคมี

- ตรวจสอบปริมาณสารเคมีที่อยู่ในถังเตรียมสารเคมีทุกถัง จะต้องมีปริมาณเพียงพอต่อการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง
- ตรวจสอบระบบท่อบริเวณรอยต่อระหว่างท่อสารเคมีกับถังเตรียมสารเคมีว่ามีจุดรั่วซึมหรือไม่ หากพบจะต้องทำการแก้ไขทันที
- ตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของเครื่องสูบจ่ายสารเคมีทุกชุด (Auto-Manual)
- บริเวณข้อต่อต่างๆจะต้องไม่มีสารเคมีรั่วซึม
- ตัวเครื่องสูบจ่ายจะต้องไม่มีน้ำหรือสารเคมีหรือกรดท่วม
- สายไฟสายควบคุมจะต้องไม่มีรอยฉีกขาด
- หน้าปิดตัวเครื่องจะต้องไม่มีรอยแตกร้าว

9) ลานตากตะกอน

- ตรวจสอบปริมาณตะกอนในถังเก็บตะกอนอยู่ในระดับใด
- ตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของเครื่องสูบตะกอน
- ตรวจสอบสภาพของเครื่องสูบตะกอน
- ปริมาณตะกอนแห้ง (Sludge Cake) ในถังเก็บตะกอนแห้ง (Sludge Hopper) หากมีค้างมากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาตรถัง จะต้องขนถ่ายไปกำจัด

10) Gas Blower

- ตรวจสอบชุดควบคุมแรงดัน สำหรับส่งจ่ายก๊าซว่าสามารถส่งก๊าซได้เพียงพอกับปริมาณการใช้จริงหรือไม่
- ตรวจสอบอุปกรณ์รองรับการสันสะเทือนของ Blower และมอเตอร์

11) Gas Flare

- ตรวจสอบชุดควบคุมและตรวจจับแรงดันของก๊าซ เพื่อส่งให้ปล่องเผาก๊าซทำงาน
- ตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับเข้าไปในระบบ

ทั้งนี้รายละเอียดที่ต้องทำการตรวจวัดอาจมากหรือน้อยกว่านี้ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และระบบที่ใช้ ผู้ที่จะทำการควบคุมระบบจึงต้องศึกษารายละเอียดของอุปกรณ์ตลอดจนวิธีการตรวจสอบอุปกรณ์อย่างถี่ถ้วน

ตารางที่ 6-2 การตรวจสอบอุปกรณ์การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

ลำดับ	รายละเอียดอุปกรณ์/ระบบที่ต้องตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	ชิ้นส่วน/อุปกรณ์ที่ต้องตรวจ	สถานภาพระบบ	หมายเหตุ
1	**Burner**				
	- ตรวจสอบการฉีดน้ำมันของหัวฉีด	รายวัน			
	- ตรวจสอบการทำงานของชุดควบคุมการเผาไหม้	รายเดือน			
	- ตรวจสอบการทำงานของกระจังลม	รายวัน			
	- ตรวจสอบระบบและลำดับขั้นตอนการทำงานของหัวเผา	รายวัน			
	- ตรวจสอบการหมุนเวียนของเปลวไฟ และไอเสีย	รายวัน			
	- ตรวจสอบเขี้ยวสปาร์ค และระยะของอุปกรณ์ชุดหัวฉีด	รายเดือน			
	- ตรวจสอบการทำงานของระบบไฟฟ้า และระบบควบคุม	รายเดือน			
2	**เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า**				
	- ตรวจสอบน้ำมันเครื่อง	รายเดือน			
	- ตรวจสอบหัวเทียน	รายเดือน			
	- ตรวจสอบท่อนำก๊าซ	รายวัน			

(ข) การวิเคราะห์น้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

เป็นการตรวจสอบสมรรถภาพของระบบบำบัดทางเคมีและชีวภาพ โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำในจุดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความสามารถในระบบบำบัด ไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบให้เป็นไปตามที่ได้มีการออกแบบไว้

6.2 การตรวจสอบรายเดือน

สำหรับรายการในการตรวจสอบรายเดือนจะเป็นการตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือและเครื่องจักรเป็นส่วนใหญ่ รวมถึงการตรวจซ่อม การบำรุงรักษาเครื่องจักรก่อนที่จะเกิดการเสียหายขึ้น รวมถึงอาจมีการประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัด ความสามารถในการบำบัดของระบบ และตรวจสอบปัญหาที่ผ่านมา

6.3 การตรวจสอบรายปี

จะเป็นการทำความสะอาดระบบ โดยจำเป็นที่จะต้องหยุดเดินระบบเป็นเวลา 3-4 วัน เพื่อทำการขุดลอกบ่อระบายตะกอนในถังตกตะกอน เข้าไปตรวจสอบในส่วนที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ในช่วงเวลาปกติ เช่น ใบกวาดที่กันบ่อตกตะกอน เครื่องสูบน้ำที่จมน้ำ เป็นต้น

ตัวอย่างการทำตารางการตรวจสอบ

ตารางการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

วันที่	บ่อสูบ					
	การทำงานของเครื่องสูบน้ำ		พีเอช	อุณหภูมิ	อัตราการไหล ($ม^3$/ซม.)	หมายเหตุ
	NO.1	NO.2				

ตารางการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

วันที่	ถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ													
	เครื่องสูบน้ำเสีย			อัตราการไหล ($ม^3$/ซม.)	พีเอช (pH)	เติมด่าง	เครื่องสูบหมุนเวียน			พีเอชในถัง	อัตราการหมุนเวียนน้ำ ($ม^3$/ซม.)	อัตราความเร็วไหลลื่น ($ม^3$/ซม.)	ตะกอนในถัง (ม.)	หมายเหตุ
	NO.1	NO.2	NO.3				NO.1	NO.2	NO.3					
1														
2														
3														

ตารางการวิเคราะห์ผลน้ำเสีย

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

วันที่	อุณหภูมิ				พีเอช (pH)				ซีโอดี (COD) (มก./ล.)				ความเป็นกรด(มก./ล.)			ความเป็นด่าง(มก./ล.)		
	บ่อสูบ	บ่อพักน้ำเสีย	ภายในถัง	น้ำออก	บ่อสูบ	บ่อพักน้ำเสีย	ภายในถัง	น้ำออก	บ่อสูบ	บ่อพักน้ำเสีย	ภายในถัง	น้ำออก	บ่อพักน้ำเสีย	ภายในถัง	น้ำออก	บ่อพักน้ำเสีย	ภายในถัง	น้ำออก
1																		
2																		
3																		

6.4 การตรวจสอบอุปกรณ์

การตรวจสอบอุปกรณ์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องสูบน้ำ ซึ่งถือได้ว่าเป็นเครื่องจักรกลที่สำคัญที่สุดในระบบผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากการไหลของน้ำเสียในระบบจะขึ้นอยู่กับเครื่องสูบน้ำเป็นหลักดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการตรวจสอบเครื่องสูบน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาโดยจะทำการตรวจสอบและบันทึกผลลงในตารางบันทึก ผลประจำวันของเครื่องจักรแต่ละชนิดซึ่งในที่นี่จะยกตัวอย่างตารางการตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆของเครื่องสูบน้ำ(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องจักรที่สำคัญของระบบ โดยตารางการตรวจสอบมีรายละเอียดดังนี้

การตรวจวัดการใช้พลังงานของมอเตอร์

ชนิดอุปกรณ์	ชนิด AC/DC	พิกัดมอเตอร์(ค่าจากป้ายเครื่อง)				ผลการตรวจวัด						ภาระ (%)	การแก้ไขปรับปรุง		วิธีการปรับปรุง	กำลังไฟฟ้าหลังการปรับปรุง
		กำลังไฟฟ้า (kW)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)	กระแส(A) R	S	T	แรงดัน (V)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)		ไม่ปรับปรุง	ปรับปรุง		

สมการในการคำนวณ

$$PF = \frac{P_m}{\sqrt{3}xVxI}$$

$$L = \frac{P_m}{P_i} \times 100$$

เมื่อ

PF = ตัวประกอบกำลังเครื่องไฟฟ้า

P_m = กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ (kW)

V = แรงดันไฟฟ้า (V)

I = กระแสไฟฟ้า (A)

L = ภาระการใช้งาน (%)

P_1 = กำลังไฟฟ้าที่ป้ายเครื่อง (A)

ตัวอย่าง

โรงงานแห่งหนึ่งติดตั้งมอเตอร์ขนาด 22 kW 380 V 50Hz 43 A เพื่อขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำ กำลังของมอเตอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้าได้ 10.06 kW

จากสมการ $L = \frac{P_m}{P_i} \times 100$

ภาระการใช้งาน $= \frac{10.06}{22} \times 100$

$= 45.74\ \%$

จากข้อมูลการตรวจวัดดังตาราง

ชนิดอุปกรณ์	ชนิด AC/DC	ชม.การใช้งาน (ชม./วัน)	พิกัดมอเตอร์(ค่าจากป้ายเครื่อง)				ผลการตรวจวัด						ภาระ (%)	การแก้ไขปรับปรุง		วิธีการปรับปรุง	กำลังไฟฟ้าหลังการปรับปรุง
			กำลังไฟฟ้า (kW)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)	กระแส(A) R	S	T	แรงดัน (V)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)		ไม่ปรับปรุง	ปรับปรุง		
มอเตอร์เครื่องสูบน้ำ	AC	24	22	380	43	0.79	29.7	28.7	28.6	378	10.06	0.53	45.7		✓	เปลี่ยนมอเตอร์เป็นขนาด 11 kW	9.43 kW

การคำนวณค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$$PF = \frac{P_m}{\sqrt{3} x V x I}$$

$$PF = \frac{10.06 \times 1,000}{\sqrt{3 x 378 \times \left[\frac{29.7+28.7+28.6}{3}\right]}}$$

$$= 0.53$$

จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ที่ใช้มีขนาดใหญ่เกินไป สามารถทำการเปลี่ยนมอเตอร์ให้เป็น 11 kW เพื่อใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ โดยมีภาระใช้งานเป็นภาระการใช้งาน

$$= \frac{9.43}{11} \times 100$$

$$= 85.72\ \%$$

การบันทึกข้อมูลการใช้งานของเครื่องสูบน้ำ

รหัสเครื่องสูบน้ำ	ตำแหน่งที่ติดตั้ง	ขนาดมอเตอร์	กระแส(A)			แรงดัน (V)	ความดัน (บาร์)		การทำงาน		หมายเหตุ
			R	S	T		หน้า	หลัง	ทำ	หยุด	

การบันทึกข้อมูลตรวจสอบเครื่องสูบน้ำ

การบำรุงรักษา	ผลการตรวจสอบและแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
การตรวจสอบทุกวัน					
1. อุณหภูมิของร่องลื่น					
2. ความดันท่อดูดและท่อจ่าย					
3. การรั่วซึมจากกันรั่ว					
4. การหล่อลื่นกันรั่ว					
5. โหลดของปั๊มน้ำ					
6. ระดับเสียงและการสั่นสะเทือน					
7. ระดับน้ำมันหล่อลื่นที่มาหล่อเลี้ยงร่องลื่น					
การตรวจสอบทุก 6 เดือน					
1. การให้ศูนย์ระหว่างเครื่องสูบน้ำกับมอเตอร์ต้นกำลัง					
2. การเติมน้ำมันให้กับร่องลื่น					
การตรวจสอบทุก 1 ปี					
1. การรั่วตามเพลาและการซ่อมบำรุงกันรั่ว					
2. การสึกของปลอกเพลา					
3. ช่องว่างระหว่างใบพัดกับแหวนเล็ก					
4. การทดสอบและปรับแก้มิเตอร์ที่ใช้วัด					
5. การทดสอบและปรับแก้มิเตอร์ไฟฟ้า					
6. เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นของร่องลื่น					

สำหรับอุปกรณ์อื่นๆ ที่อาจมีการติดตั้งในระบบ เช่น เครื่องกวาดไขมัน ตะแกรง เครื่องเติมอากาศ เครื่องเติมสารเคมี เครื่องเติมปูนขาว หรือเครื่องกวนผสมน้ำ ตารางในการตรวจสอบอาจขอรับคำปรึกษาจากผู้ขาย หรือผู้ออกแบบ เพื่อให้การดูแลตรวจสอบเป็นไปอย่างถูกต้อง

ภาคผนวก ก

ปฐมพยาบาลเบื้องต้น

การปฐมพยาบาลบาดแผล

1. รักษาความสะอาดของแผล
2. ถ้าบาดแผลเล็กน้อยใช้น้ำต้มอุ่นกับสบู่ล้างแผล
3. ทายาฆ่าเชื้อโรครอบแผล
4. เอาผ้าสะอาดที่ฆ่าเชื้อโรคแล้วปิดแผลไว้ แล้วใช้ผ้าพันแผลพันทับอีกครั้งหนึ่ง
5. ถ้าบาดแผลลึก หรือฉีกขาดมาก ขนาดที่ต้องส่งแพทย์เย็บให้ใช้ผ้าสะอาดปิดแผลไว้ ถ้ามีเลือดออกใช้ผ้าพันหรือกดแผลไว้
6. รีบนำส่งแพทย์

เมื่อผู้ป่วยได้รับสารพิษ

1. พยายามให้ผู้ป่วยอาเจียน โดยให้ล้วงคอ ดื่มน้ำเกลืออุ่นๆ (เกลือแกง 1 ช้อนโต๊ะ ต่อ น้ำอุ่น 1 แก้ว)
2. พยายามลดความเข้มข้นของสารพิษโดยให้ดื่มน้ำ นม น้ำแป้ง หรือ ไข่ดิบที่ตีแล้ว ถ้าผู้ป่วยอายุต่ำกว่า 5 ปี ให้ดื่มราว 1-2 แก้ว ถ้าอายุตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไปให้ดื่ม 4-5 แก้ว
3. รีบนำส่งโรงพยาบาล และพยายามบอกแพทย์ว่าผู้ป่วยได้รับสารพิษใด หากสามารถนำภาชนะบรรจุหรือฉลากสารพิษนั้นๆ ติดไปด้วยจะยิ่งดี

แผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก

แผลถูกไฟไหม้หรือน้ำร้อนลวก แผลที่เกิดจากไฟ, วัตถุร้อนจัด, น้ำร้อน, ไอน้ำ หรือจากวัตถุเคมี มักจะทำลายผิวหนัง และอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแผล

1. ลดความเจ็บปวด โดยแช่ส่วนที่ถูกไฟไหม้ ในน้ำเย็นหรือน้ำแข็งนานราว 30 นาที
2. เอาผ้าวาสลินกอซบางชิ้นเดียว ปิดแล้วพันผ้าไว้
3. ก่อนนำส่งแพทย์ ต้องให้ผู้ป่วยได้รับความอบอุ่น โดยให้ใส่เสื้อผ้าแห้งและหนา
4. ให้ผู้ป่วยดื่มน้ำมากๆ เพื่อทดแทนน้ำและน้ำเหลืองที่ร่างกายเสียไป

การปฐมพยาบาลคนเป็นลมอย่างไร

การปฐมพยาบาลคนเป็นลม

1. ให้ผู้ป่วยนอนราบและพาเข้าที่ร่ม
2. พยายามลดความร้อนในร่างกาย
3. ให้ดื่มน้ำปนน้ำเกลือเล็กน้อยจำนวนมากๆ
4. ส่วนผสมอาจเป็นดังนี้

   น้ำ 1 แก้ว ปนเกลือครึ่งช้อนกาแฟ และให้ดื่มจำนวนมากๆ บ่อยๆ

ห้ามเลือด

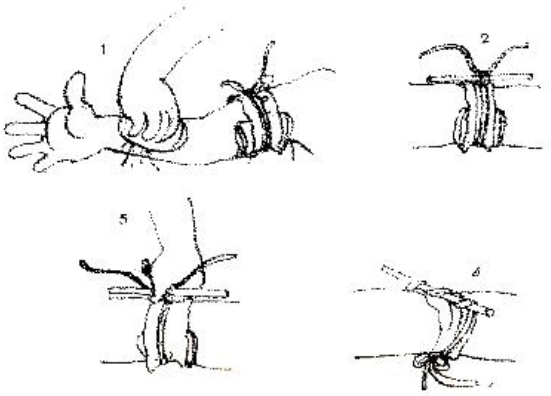
อุปกรณ์

1. ใช้ผ้าสะอาด, ลำลี ทิชชู กดบนบาดแผล ใช้ได้กับอวัยวะทุกแห่ง หรืออาจรวบขอบแผลทั้ง 2 ข้างเข้าหากันแล้วกดไว้นานประมาณ 5 นาที ถ้าบาดแผลใหญ่ให้กดจนกว่าเลือดจะหยุด
2. ใช้นิ้วมือกดลงบนแผลในกรณีที่มีการฉีดขาดของเส้นเลือดใหญ่ โดยการกดพยายามให้เส้นเลือดอยู่ระหว่างมือกับกระดูกในบริเวณนั้น ยกบริเวณนั้นให้สูงแล้วรีบนำส่งแพทย์
3. ใช้สายรัดห้ามเลือด เมื่อมีการฉีกขาดของเส้นเลือดแดง ถ้าเลือดไหลมากผู้ป่วยอาจตายได้ บาดแผลที่มือ แขน ขา เท้าหรือนิ้วเลือดจะหยุดเร็วขึ้น ถ้าใช้สายรัดช่วย ซึ่งอาจใช้เน็คไท เศษผ้า ผ้าเช็ดตัวหรือหลอดยาง ขนาดเล็ก สายรัดก็ได้

หลักการใช้สาย

1. ใช้สายรัดพันเหนือบาดแผล 2 รอบ ใช้เงื่อน Square Knot เพราะมั่นคงแข็งแรงและ แก้ออกง่าย
2. อย่ารัดแน่นเกินไป รัดพอเลือดหยุด และคลายรัดทุกๆ 15-30 นาที คลายนานประมาณ ½-2 นาที
3. บริเวณที่รัดควรใช้ผ้าหรือสำลีรองทับปิดบาดแผล

การเคลื่อนย้ายผู้ป่วย



1. **การอุ้มพยุงเดิน** มักใช้กับคนเจ็บประเภทขาแพลง กระดูกหักบริเวณขา แขนข้างใดข้างหนึ่ง ตาเจ็บ ปิดตา และใช้กับผู้ป่วยที่รู้สึกตัวดี

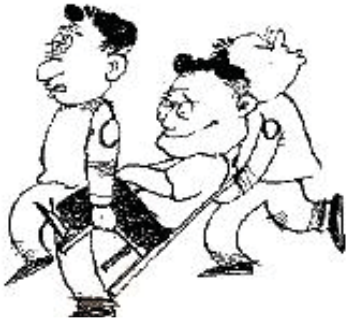
2. **อุ้มกอดด้านหน้า** ใช้คนเจ็บที่เดินไม่ได้ และน้ำหนักตัวไม่มากจนเกินไป และคนเจ็บใช้แขนข้างใดข้างหนึ่ง

3.**อุ้มทาบและกอดด้านหน้า** ใช้กับคนเจ็บที่เดินไม่ได้ ข้อเท้าเคล็ดหรือข้อเท้าแพลง

4. **อุ้มทางหลัง** ใช้กับบาดเจ็บที่เป็นเด็กหรือตัวเล็กและบาดเจ็บบริเวณขา

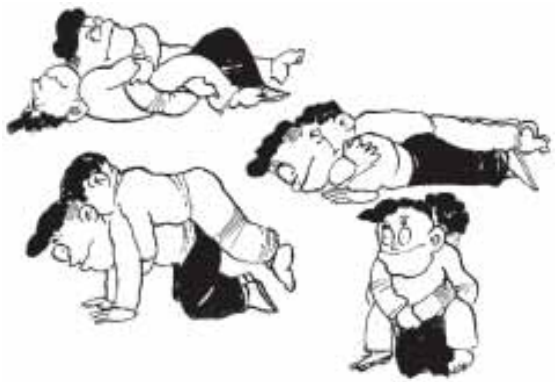
5. **อุ้มเคียง** ใช้กับคนเป็นลมหรือเท้าเจ็บ

6. **อุ้มคู่กอดหลัง** ใช้กับผู้บาดเจ็บที่เท้าเจ็บ บาดเจ็บที่ศีรษะ ตาเจ็บหรือต้องการเดิน



7. **การเคลื่อนย้ายโดยใช้เก้าอี้** ใช้กับผู้บาดเจ็บที่ขา แขน ตาเจ็บ หรือปิดตา มีบาดแผลบริเวณท้อง หรือทรวงอก

8. อุ้มกอดด้านหลัง ใช้กับผู้บาดเจ็บที่หมดสติ หรือไม่รู้สึกตัว และตัวโตกว่ามาก



9. อุ้มพยุงด้วยคน 8 คน

ใช้กับผู้บาดเจ็บที่สงสัยว่ากระดูกต้นคอหรือกระดูกสันหลังหัก หรือผู้บาดเจ็บที่ได้รับบาดเจ็บสาหัส มีวิธีปฏิบัติดังนี้

9.1 ผู้ช่วยเหลือยืนเข้าแถวเรียงกระดาน หันหน้าเข้าหากัน 2 แถว ๆละ 4 คน โดยมีผู้บาดเจ็บนอนอยู่ตรงกลาง ผู้ช่วยทั้ง 8 คนคุกเข่าลงข้างหนึ่งสอดมือประสานกันใต้ตัวของผู้บาดเจ็บ

9.2 พยายามประสานมือกันบริเวณส่วนที่สำคัญ คือ ใต้คอ ใต้ไหล่ ใต้บั้นเอว และใต้เข่า เมื่อประสานมือกันแล้วทั้ง 8 คน ยกผู้บาดเจ็บขึ้นพร้อมกันและมาพักไว้บนเข่า แล้วจึงยกขึ้นอีกทีหนึ่ง

9.3 ขณะยกผู้บาดเจ็บพยายามให้ตัวผู้บาดเจ็บอยู่ในลักษณะตัวตรงที่สุดเท่าที่กระทำได้

9.4 เมื่อวางผู้บาดเจ็บลง ให้ปฏิบัติทวนวิธีการยกขึ้น จากนั้นจึงยกลงจากเข่าวางบนไม้กระดานแข็งบานประตูหรือเปลที่รอรับอยู่

ข้อเคล็ด, ข้อเคลื่อน, กระดูกหัก

ข้อเคล็ด

- อย่านวด ให้ใช้น้ำแข็งหรือผ้าเย็นประคบ
- อย่าเคลื่อนไหวส่วนที่บาดเจ็บ
- หลักจาก 24 ชั่วโมงหมั่นแช่บริเวณที่บาดเจ็บด้วยน้ำอุ่น

ข้อเคลื่อน

- อย่าพยายามทำข้อที่เคลื่อนให้เข้าที่ด้วยตัวเอง
- อย่าเคลื่อนไหวส่วนที่บาดเจ็บ
- ใช้น้ำแข็งหรือผ้าเย็นประคบ
- รีบนำส่งโรงพยาบาล

กระดูกหัก

- ถ้าสงสัยว่าผู้ป่วยกระดูกหักต้องรีบนำส่งแพทย์
- ใช้น้ำแข็งประคบเพื่อลดความเจ็บปวด
- ให้ผู้ป่วยได้รับความอบอุ่นและให้ยาระงับปวด
- อย่าให้ส่วนของอวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บนั้นเคลื่อนไหว ถ้าทำได้ให้เข้าเฝือกส่วนที่หักไว้ชั่วคราว

การเคลื่อนย้ายด้วยเปลหาม

การเคลื่อนย้ายด้วยเปลหาม

- ใช้ในการเคลื่อนย้ายผู้บาดเจ็บนอนราบ
- ใช้กับผู้บาดเจ็บได้หลายประเภท เช่น ผู้บาดเจ็บที่หมดสติ กระดูกขาหัก ฯลฯ
- วัสดุที่อาจหาได้ในขณะที่เกิดอุบัติเหตุ ได้แก่

(1) บานประตู

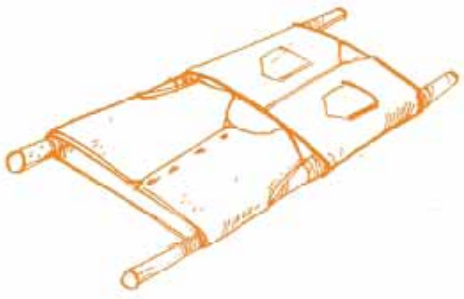
ใช้ได้ดีมาก เนื่องจากเป็นไม้กระดานแข็ง ใช้ได้ดีกับผู้บาดเจ็บที่กระดูกสันหลัง

(2) ผ้าห่ม ผ้าปูเตียง

พับผ้าห่มหรือผ้าปูเตียงบนไม้ยาวๆ 2 อัน โดยพับกลับไปมาหลายๆ ครั้ง และใช้แทนเปลหาได้

(3) เสื้อผ้า

- ใช้ไม้ยาวๆ 2 อัน สอดเข้าไปในตัวเสื้อ
- ติดกระดุมเสื้อให้เรียบร้อยหรือใช้เข็มกลัดช่วย



(4) ผ้าขาวม้า

- ใช้ผ้าขาวม้าผูกปลายผ้าเข้าด้วยกัน แล้วสอดไม้ท่อนยาวๆ 2 ท่อนเป็นเปลหาม

ภาคผนวก ข

กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ

กรณีศึกษาการระเบิดของก๊าซชีวภาพ(Biogas)

จากการเข้าตรวจสอบอุบัติเหตุของ นายศุภวัฒน์ ธาดาจารุมงคล วิศวกรเครื่องกลชำนาญการพิเศษ และคณะทำงานของสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม จำนวน 5 ครั้ง ได้แก่

ครั้งที่ 1 การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องสูบส่งก๊าซ ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อวันที่ 27 กันยายน 2549 เวลา 4.30-5.00 น.

ครั้งที่ 2 การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อวันที่ 24 กันยายน 2551 เวลา 14.00 น.

ครั้งที่ 3 การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.นครราชสีมา เมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม 2552

ครั้งที่ 4 การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2552

ครั้งที่ 5 การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จ.กาฬสินธุ์ เมื่อ วันที่ 24 มิถุนายน 2552

สำหรับกรณีศึกษาที่ดำเนินการศึกษาและตรวจสอบจะเกี่ยวข้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นจากการผลิต การจัดเก็บและการใช้ก๊าซชีวภาพ เฉพาะด้านอุบัติเหตุอันตราย มลภาวะ ประสิทธิภาพ และการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้ก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรม

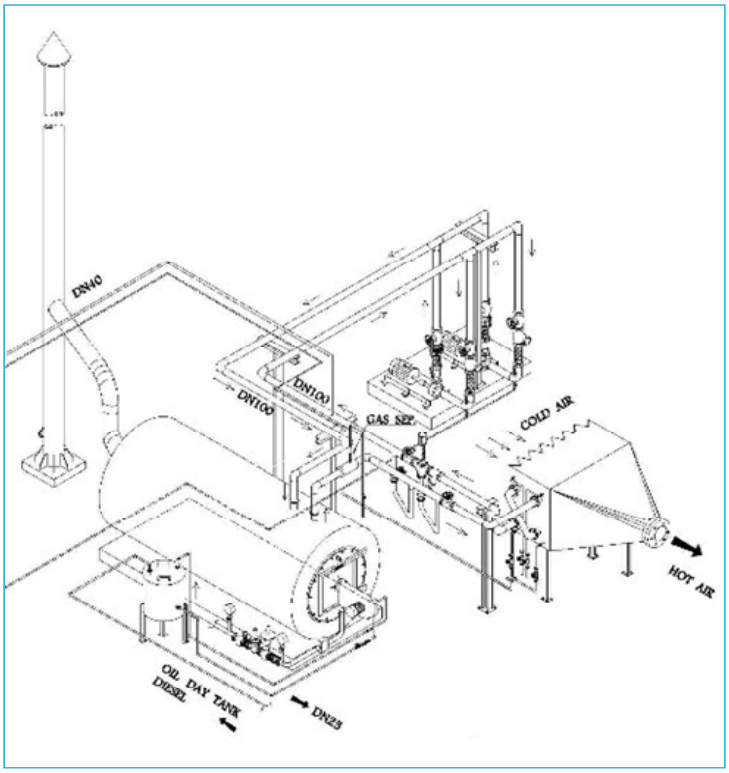
กรณีที่ 1 การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องสูบส่งก๊าซ ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เกิดขึ้นที่บ่อผลิตก๊าซแบบผ้าใบคลุมขนาด 80 x 220 m. (2 บ่อ) ดังรูป

ปัญหาที่พบ

1. ขอบผ้าใบ ยึดโยงด้วยเชือกไนล่อน ซีลด้วยน้ำ มีรอยฉีกขาดและมีก๊าซรั่วไหลโดยทั่วไป
2. มีวัชพืชที่อาจติดไฟได้ง่ายขึ้นชิดขอบบ่อ
3. มีการระบายก๊าซส่วนเกินทิ้ง โดยวิธีเปิดชายผ้าใบข้างบ่อ ยาว~1 .0 m.

เหตุการณ์ก่อนการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องสูบส่งก๊าซ (ดังรูป)

- ฝ่ายผลิตพบว่าลมร้อนที่ใช้สำหรับอบแป้งมีอุณหภูมิต่ำมากจนอบแป้งไม่แห้ง
- หัวหน้าและช่างจากฝ่ายผลิต 3 คน ตรวจพบว่าน้ำมันร้อนจากหม้อน้ำมันร้อนมีอุณหภูมิต่ำเกินไป โดย Burner ที่ใช้ Biogas ร่วมกับน้ำมันเตาได้ดับลง เนื่องจากแรงดันก๊าซชีวภาพไม่เพียงพอ



รูปหม้อน้ำมันร้อนในห้องสูบส่งก๊าซ

- ช่างทั้ง 3 คนพากันเดินมาตรวจสอบที่ห้องสูบส่งก๊าซ (Gas Station) ซึ่งผนังห้องเป็นคอนกรีตทึบทุกด้าน มีช่องระบายอากาศด้านบนติดหลังคา
- มีการรั่วไหลของ Biogas ที่ท่อส่งก๊าซอย่างรุนแรงในห้องสูบส่งก๊าซ ขณะที่ช่างทั้ง 3 คน เข้าไปในห้องก๊าซที่รั่วไหลได้เกิดการจุดระเบิดขึ้น เปลวไฟได้ลวกช่างทั้ง 3 คน บาดเจ็บสาหัส และต่อมาเสียชีวิต 2 ราย ทรัพย์สินเสียหายประมาณ 100,000.-บาท
- จุดที่ก๊าซชีวภาพรั่วไหลเกิดขึ้นที่ข้อต่อรับการขยายตัว (Expansion Joint) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ท่อทางออกของ Blower สูบส่งก๊าซ ดังรูป

สภาพข้อต่อรับการขยายตัวที่แตกรั่ว

- ข้อต่อรับการขยายตัวมีการแตกรั่วในส่วนที่เป็นลอน จุดที่แตกเป็นโลหะหนา~1 มม. ยาวครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวง
- ผิวโลหะด้านในของข้อต่อรับการขยายตัว มีการกร่อนพรุนมาก ดังรูป

สาเหตุที่ทำให้ข้อต่อรับการขยายตัวแตกรั่ว

จากการวิเคราะห์ สาเหตุการแตกรั่ว อาจเกิดได้จาก

- **การเลือกใช้และติดตั้งข้อต่อรับการขยายตัวที่ไม่เหมาะกับงาน** เนื่องจากตำแหน่งที่ติดตั้งไม่มีการขยายหรือหดตัวของท่อส่งก๊าซ แต่มีการสั่นสะเทือนจากBlower ซึ่งติดตั้งบนแท่นยึดแข็งโดยไม่มีระบบป้องกันการสั่นสะเทือน
- **ข้อต่อรับการขยายตัวเสียหายจากการล้าตัว** ข้อต่อมีการสะบัดตัวในจังหวะหยุดและจังหวะสตาร์ทของ Blower ทำให้เกิดแรงดัดตัวซ้ำๆ
- **มีการผุกร่อนและการกัดกร่อนจาก O_2 , H_2CO_3 , H_2SO_4** ภายในข้อต่อรับการขยายตัว ซึ่งเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 และไฮโดรเจนซัลไฟด์ H_2S ใน Biogas รวมตัวกับน้ำหรือความชื้น H_2O

อะไรที่เป็นแหล่งจุดระเบิด (Ignition Source)

- อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดเป็นแบบไม่ป้องกันการระเบิด เช่นมอเตอร์ ปลั๊ก สวิตช์ หลอดไฟ และอุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุม ดังรูป

- สวิตช์มอเตอร์ของ Blower บนแผงสวิตช์อยู่ห่างจากจุดที่แก๊สรั่ว~1.20 ม. ดังรูป

ก๊าซที่รั่วเกิดการจุดระเบิดได้อย่างไร

เงื่อนไขที่ทำให้ก๊าซเกิดการจุดระเบิด

- ห้องมีสภาพอับอากาศ ผนังห้องเป็นคอนกรีตทึบทุกด้าน และมีหลังคาโค้งครอบปิดอาคาร การระบายอากาศในห้องสูบส่งก๊าซไม่เพียงพอ ก๊าซที่รั่วจึงสะสมในห้อง
- ความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพผสมกับอากาศในห้อง อยู่ระหว่าง LEL กับ UEL
- มีแหล่งจุดระเบิด(Ignition Source) ภายในห้องสูบส่งก๊าซ อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิด เช่นหลอดไฟแสงสว่าง สวิตช์ปลั๊ก มอเตอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุม เป็นชนิดไม่ป้องกันหรือ ไม่ทนต่อการระเบิด
- มีการจุดระเบิด โดยประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งอาจเกิดจากพนักงานเปิดไฟแสงสว่างในห้อง Gas Station หรืออาจปิด-เปิดสวิตช์มอเตอร์ของ Blower บนแผงสวิตช์ซึ่งอยู่ห่างจากจุดที่ก๊าซรั่ว~1.20 ม. เมื่อได้กลิ่นหรือพบเห็นการรั่วของก๊าซชีวภาพ

ข้อแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข

1. ควรติดตั้งข้อต่ออ่อน (Flexible joint) ที่ท่อทางเข้าและออกของปั๊มก๊าซชีวภาพ แทนการใช้ข้อต่อรับการขยายตัว (Expansion joint)
2. ควรติดตั้งวัสดุกันการสั่นสะเทือนที่ฐานแท่นรองรับปั๊มก๊าซชีวภาพ
3. ควรติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซรั่ว (Gas Detector) พร้อมสัญญาณเตือนการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพ
4. อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่ใช้ในห้องควบคุมต้องเป็นชนิดกันระเบิด
5. ควรมี Water Seal Tank เป็นชุดควบคุมความดันก๊าซชีวภาพเกินกำหนดจากบ่อก๊าซพร้อมต่อท่อออกไปเผาทิ้งที่ปล่อง (Flare Ignition)
6. ติดตั้งเครื่องควบคุมความดันก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้งาน
7. ตู้ควบคุมไฟฟ้าต้องติดตั้งห่างจากปั๊มก๊าซชีวภาพไม่น้อยกว่า 5 เมตร
8. ห้องควบคุมและสูบส่งก๊าซควรมีการระบายอากาศอย่างเพียงพอ

กรณีที่ 2 การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว

สภาพหม้อน้ำมันร้อนภายหลังการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้ ดังรูป

เหตุการณ์ก่อนการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

- มีการดับเตาหม้อน้ำมันร้อน ~12.00 น. และเริ่มพยายามจุดเตาหม้อน้ำมันร้อนที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง เวลา~13.30 น. แต่จุดเตาไม่ได้ โดย Burner ไม่ทำงาน
- ช่างผู้ควบคุมหม้อน้ำมันร้อนและช่างไฟฟ้า ได้ตรวจสอบและพยายามซ่อมแซมระบบวาล์วจ่ายก๊าซและอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหัวเผา เพื่อให้จุดเตาได้
- เวลา ~14.00 น. ในขณะเปิดสวิตช์หัวเผาเพื่อจุดเตา หัวเผามีการทำงานโดยพัดลม มีการ Pre Purge ตามลำดับ เมื่อพัดลมหรี่ลมลงจนถึงขั้นตอนที่หัวเทียนจุดประกายไฟในห้องเผาไหม้ ปรากฏว่าทันทีที่หัวเทียนจุดประกายไฟ ก็เกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้ขึ้น (Furnace Explosion)
- แรงระเบิดทำให้ฝาหน้าของหม้อน้ำมันร้อนและคอยล์น้ำมันฝาหลังชำรุด หัวเผาหลุดร่วง ขดท่อน้ำมันที่ฝาหลังยืดตัวและแตกรั่ว และมีน้ำมันถ่ายเทความร้อนรั่วไหล

การสอบสวนและการวิเคราะห์สาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้ พิจารณาจาก

- องค์ประกอบที่ทำให้เกิดการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้
- ลักษณะของหัวเผา เชื้อเพลิงที่เกี่ยวข้องและการควบคุมการเผาไหม้
- ลำดับการทำงานของหัวเผาตามมาตรฐานความปลอดภัย
- ลำดับการทำงานของหัวเผา ในขณะเกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้
- หลักฐานการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้
- องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบที่ทำให้เกิดการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

- ต้องมีปริมาณความเข้มข้นของเชื้อเพลิงผสมกับอากาศ อยู่ระหว่าง Lower Explosive Limit (LEL) กับ Upper Explosive Limit (UEL)
- ต้องมี Ignition Source เช่นการจุดประกายไฟจาก Electrode หรือ จากเปลวไฟของ Pilot Burner
- ห้องเผาไหม้อยู่ในสภาพเป็นห้องอับอากาศ (Confine Space)

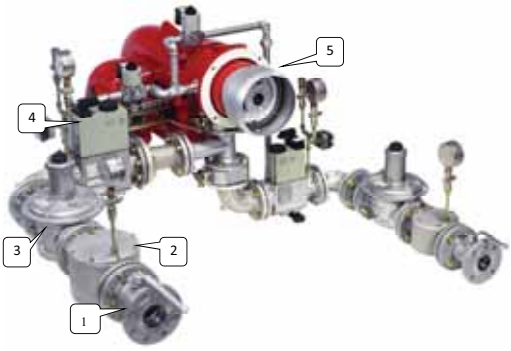
ลักษณะของหัวเผา เชื้อเพลิงที่เกี่ยวข้องและการควบคุมการเผาไหม้

- หัวเผาเป็นแบบ Rotary Cup ผลิตจากประเทศเยอรมัน และเป็น Combination Burner
- จุดเตาโดยใช้ Electrode จุด LPG ให้ไฟติดเป็น Pilot Burner ก่อน เนื่องจากน้ำมันเตาและ Biogas จะติดไฟยากในบางสภาวะ เมื่อ LPG. ติดไฟแล้ว จึงป้อนน้ำมันเตาหรือ Biogas เข้าสู่เปลวไฟ
- การควบคุมการเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นระบบเร่งหรี่เชื้อเพลิงและอากาศ ตามภาระการใช้งาน (Modulating Control)

ลักษณะของหัวเผาและการควบคุมการเผาไหม้

รูปตัวอย่าง อุปกรณ์ควบคุมก๊าซก่อนเข้าหัวเผา

1 Stop Valve 2 Strainer 3 Pressure Regulator 4 Double Solenoid Valve 5.Burner



ลำดับการทำงานของหัวเผาตามมาตรฐานความปลอดภัย

- เมื่อสวิทช์ต่อวงจร ระบบนิรภัย Valve Proving Systems (VPS) จะตรวจสอบว่า Double Solenoid Valve (DSV) มีการรั่วของ Bigas ผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้หรือไม่ ถ้า VPS ไม่พบการรั่วไหลของก๊าซที่ DSV หัวเผาจะเริ่มทำงานตามลำดับ
- Flame Detector จะตรวจสอบความมืดทันที ถ้าห้องเผาไหม้มืดจะเปิดพัดลมเป่าอากาศผ่านห้องเผาไหม้ (Pre purge) ~1-1.5 นาที เพื่อขจัดก๊าซเชื้อเพลิงออกจากห้องเผาไหม้ ถ้าพบความสว่างจะตัดระบบการทำงานทันที
- เมื่อการ Pre purge ครบตามเวลาที่กำหนด
  - กระบังลมจะค่อยๆหรี่ลง เพื่อลดปริมาณลมที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ให้ต่ำสุด
  - หัวเทียนจะเริ่มจุดประกายไฟ Solenoid Valve ของ LPG จะเปิด LPG เข้า Pilot Burner เพื่อจุดนำให้เกิดเปลวไฟ
  - Flame Detector จะตรวจสอบการติดไฟของ LPG ที่ Pilot Burner ถ้าภายใน ~3-5 sec.ไม่ติดไฟจะแสดงด้วยสัญญาณ เตือนภัยพร้อมตัดระบบการทำงานของหัวเผาทั้งหมด
  - เมื่อ Pilot Burner ติดไฟและเปลวไฟเป็นปกติ Double Solenoid Valve จะเปิด Biogas เข้าสู่ห้องเผาไหม้
  - Flame Detector จะตรวจสอบการติดไฟของ Biogas ถ้าไม่ติดไฟภายใน ~3-5 sec. หัวเผาจะหยุดระบบการทำงานทั้งหมด แต่ถ้าติดไฟ หัวเผาจะทำงานต่อเนื่องไป

ลำดับการทำงานของหัวเผา ในขณะเกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้

- ก่อนวันที่จะมีการระเบิดของห้องเผาไหม้ หัวเผามีปัญหาไม่ทำงาน โดยระบบนิรภัย VPS ได้ส่งสัญญาณเตือนภัยแสดงการรั่วของก๊าซชีวภาพผ่าน DSV หลังจากการซ่อมโดยช่างของโรงงานหัวเผาสามารถกลับมาทำงานได้
- มีการติดเตาหม้อต้มน้ำมัน และใช้งานต่อเนื่องถึงเที่ยงของวันที่เกิดอุบัติเหตุ และมีการดับเตาระหว่างเที่ยงถึงประมาณบ่ายโมงครึ่ง
- หลังบ่ายโมงครึ่ง ผู้ควบคุมหม้อต้มน้ำมันได้เริ่มจุดเตาใหม่ แต่ปรากฏว่าจุดเตาไม่ติด และพนักงานได้พยายามจุดเตาอยู่หลายครั้ง
- เวลา 14.00 น.ซึ่งเป็นช่วงบ่าย ในขณะที่กำลังจุดเตาโดยพัดลมมีการไล่อากาศ (Pre Purge) ครบตามกำหนดเวลา ขณะนั้นมีพนักงานที่เกี่ยวข้องยืนอยู่บริเวณหน้าหัวเผา พบว่าหัวเทียนมีการจุดประกายไฟแต่ในห้องเผาไหม้ไม่มีเปลวไฟ และ ในขณะนั้นก็ได้เกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้ขึ้น

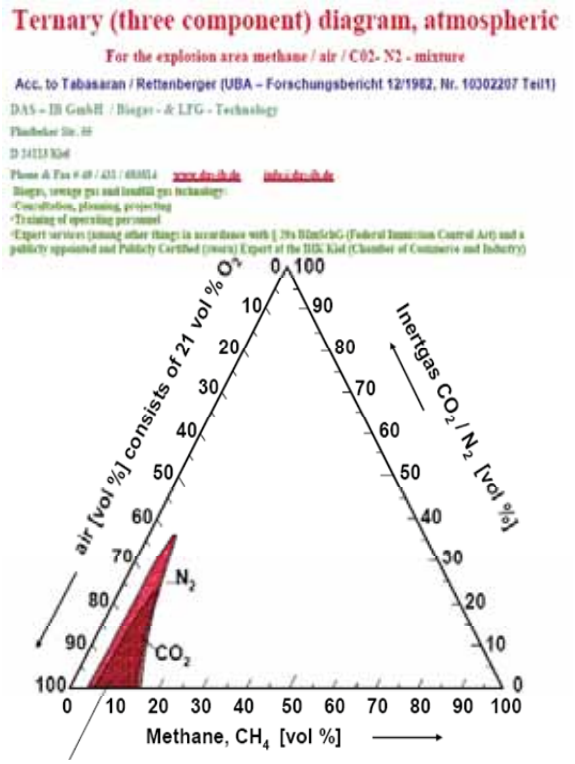
หลักฐานการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

- Biogas มีความดันจาก Blower~270-350 mbar ปริมาณการผลิต ~500-600 m^3/hr เมื่อผ่าน Regulator Valve ก่อนเข้าหัวเผา ปรับลดความดันเหลือ~150-230 mbar ขนาดท่อส่งก๊าซ และ Double Solenoid Valve Ø 100 และ 50 mm. เชื้อเพลิงมีโอกาสรั่วไหลสูง เนื่องจากอยู่ในรูปของก๊าซที่มีความดันและปริมาณสูงจึงอาจสะสมในห้องเผาไหม้ได้และมีโอกาสระเบิดได้ทั้งก่อนและหลังการ Pre Purge
- การใช้เชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำมันร้อนเครื่องนี้ ปกติสามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงร่วมระหว่าง น้ำมันเตากับ Biogas พร้อมกัน หรือเลือกใช้เชื้อเพลิงใดเชื้อเพลิงหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่ในวันที่เกิดอุบัติเหตุ โรงงานเลือกใช้เฉพาะ Biogas เพียงอย่างเดียว โดยตรวจพิสูจน์ได้จาก Burner Control ที่ติดตั้งอยู่ใน Control Panel ซึ่ง Sequence ของชุด Biogas ได้หยุดอยู่ที่ตำแหน่ง Pilot Burner กำลังจุด LPG

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพผลการตรวจวิเคราะห์ด้วย Gas Analyzer ดังรูป

- ก๊าซมีเทน (CH_4) ระหว่าง 55-66 % เป็นเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อน
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 27-45 % เป็นก๊าซเฉื่อย
- ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 2200-3300 ppm. (~0.3 %) เป็นก๊าซพิษ
- มีไนโตรเจน (N_2 เป็นก๊าซเฉื่อย) ออกซิเจน (O_2) และความชื้นหรือไอน้ำอิ่มตัวรวมอยู่ด้วย

จากรูปไดอะแกรมข้างล่างนี้แสดงถึงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ



คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (Biogas)

- **Autoignition temperature : 595 °C**
- **Flammability limits in air (STP conditions) : 5.0-15.0 vol.%**
- **ช่วงการลุกไหม้ ;** จะไม่ลุกไหม้หรือเปลวไฟดับเมื่อ CH_4ในบรรยากาศ < 5 % (Lower Explosive Limit), CH_4ในบรรยากาศ >15 % (Upper Explosive Limit)
- **Specific Hazards ;Exposure to fire may cause containers to rupture/explode.**
- **Max. ignition velocity , Biogas** (60% CH_4, 38% CO_2, 2% Other)**; 0.25 m/s**
- **General Behavior : Risk of corrosion by gas contained impurities (CO, CO2, H_2S) in presence of moisture.**

ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติของ Biogas , Natural Gas , Town Gas (LPG)

Characteristics of different fuel gases

Parameter	Unit	Natural Gas	Town Gas	Biogas (60% CH_4, 38% CO_2, 2% Other)
Calorific value (lower)	MJ/m³	36.14	16.1	21.48
Density	kg/m³	0.82	0.51	1.21
Wobbe index (lower)	MJ/m³	39.9	22.5	19.5
Max. ignition velocity	m/s	0.39	0.70	0.25
Theor. air requirement	m³air/ m³gas	9.53	3.83	5.71
Max. CO_2-conc. in stack gas	vol%	11.9	13.1	17.8
Dew point	°C	59	60	60-160

คุณภาพของก๊าซชีวภาพ มาตรฐานการใช้งานของยุโรป

Requirements to remove gaseous components depending on the biogas utilisation

Application	H_2S	CO_2	H_2O
Gas heater (boiler)	< 1000 ppm	no	no
Kitchen stove	yes	no	no
Stationary engine (CHP)	< 1'000 ppm	no	no condensation
Vehicle fuel	yes	recommended	yes
Natural gas grid	yes	yes	yes

อุปกรณ์ควบคุมก๊าซที่ใช้กับหัวเผา

- **Double Solenoid Valve** ขนาด DN 100 เป็นวาล์วไฟฟ้า สำหรับปิด-เปิดก๊าซชีวภาพเข้าสู่หัวเผาแบบอัตโนมัติ ผลิตตามมาตรฐานเยอรมัน-ยุโรป
- **Valve Proving Systems** เป็นระบบนิรภัยทำหน้าที่ตรวจสอบการรั่วของก๊าซผ่านวาล์ว
- ข้อกำหนดใช้งาน ใช้ได้กับก๊าซแห้งที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไม่เกิน 0.1% (ไม่เกิน 1000 ppm.)โดยปริมาตร

รูป Double Solenoid Valve และ Valve Proving Systems

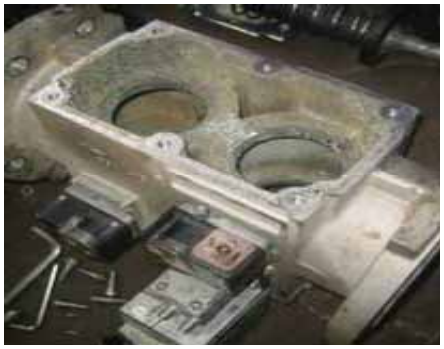
สาเหตุที่ทำให้ Biogas รั่วผ่าน Double Solenoid Valve เข้าสู่ห้องเผาไหม้

Biogas อาจรั่วผ่าน Double Solenoid Valve เข้าห้องเผาไหม้ได้ในกรณีต่อไปนี้

- เมื่อหน้าวาล์วและบ่าวาล์วสกปรก
- เมื่อหน้าวาล์วหรือบ่าวาล์วชำรุด
- เมื่อสปริงกดวาล์วสึกกร่อน แตกหัก
- เมื่อก้านวาล์วและรูสกปรก ทำให้ค้ำยัน หรือติดตายในตำแหน่งวาล์วเปิด
- เมื่อผู้เกี่ยวข้อง มีการลัดวงจรไฟฟ้า ในตำแหน่งให้วาล์วเปิด

สภาพของ Double Solenoid Valve

จากการถอดชิ้นส่วนออกตรวจสอบ พบว่าสปริงวาล์วและบ่าวาล์วของ Double Solenoid Valve มีการกัดกร่อนจากกรด โดยมีลักษณะการกัดกร่อนเป็นรูพรุน (Pitting) ดังรูป



ประวัติการชำรุด สปริงกดวาล์วมีการสึกกร่อน ผุกร่อนเป็นรูพรุน และเคยมีการแตกหักบ่อยครั้ง ซึ่งทำให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพผ่าน Double Solenoid Valve เข้าสู่ห้องเผาไหม้จนติดเตาไม่ได้หลายครั้ง

ลักษณะของวาล์วและการทำงานปกติของ Double Solenoid Valve

สภาพก้านวาล์วและรูก้านวาล์วตัวล่าง กับปัญหาการรั่วไหล

สภาพก้านวาล์วและรูก้านวาล์วตัวล่างสกปรกมาก มีเมือก ตะกอน สะสมอยู่ในรูก้านวาล์ว ทำให้ฝืดและขัดตัว ก้านวาล์วถูกตะกอนสกปรกค้ำยัน เป็นเหตุให้วาล์วเปิดค้างหรือปิดไม่สนิท ทำให้ Biogas รั่วไหลอย่างรุนแรง ดังรูป

เมื่อ Biogas รั่วไหลผ่าน Double Solenoid Valve อย่างรุนแรง เหตุใด Valve Proving Systems จึงไม่ตัดระบบการทำงานของหัวเผา

จากการตรวจสอบ พบว่า Valve Proving Systems มีการชำรุด รูส่งก๊าซเพื่ออัดทดสอบการรั่วของ Double Solenoid Valve มีการอุดตัน เมื่อทดสอบทำงาน ความดันจะถึง 20 mbar ทันที ระบบนิรภัยจึงล้มเหลว ดังรูป

จากการทดลองต่อวงจรให้ **Valve Proving Systems** ทำงาน พบว่าการอุดตันหรือติดตายของรูส่งก๊าซนี้ ทำให้ปั๊มก๊าซทำงานและหยุดทันที ซึ่งแสดงว่าเกิดความดันย้อนกลับ ~20 mbar เสมือนไม่มีการรั่วของก๊าซที่ **Double Solenoid Valve** หลังจากนั้นภายใน~10 sec. จะปรากฏไฟสีเหลืองหรือผ่านการทดสอบ และระบบนิรภัย VPS จะต่อวงจรของหัวเผา ให้สามารถทำงานต่อเนื่องไป

สรุปสาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

1. มี Bio Gas ที่ความดัน~150-230 mbar (Capacity ~500 m^3/hr)รั่วไหลอย่างมาก ผ่าน Double Solenoid Valve ขนาด DN 100 mm. เข้าสู่ห้องเผาไหม้ตลอดเวลา จนมีความเข้มข้นของมีเทนในอากาศอยู่ระหว่าง Lower Explosive Limit ; LEL กับ Upper Explosive Limit ;UEL คือ 5-15.0 vol.%

การรั่วของ **Double Solenoid Valve** เกิดจากก้านวาล์วและรูก้านวาล์ว ชุดล่างสกปรกมาก มีเมือก และตะกอนสะสมอยู่ในรูก้านวาล์ว จนทำให้ก้านวาล์วถูกตะกอนสกปรก ค้ำยัน วาล์วจึงเปิดค้างและ เป็นสาเหตุให้ Biogas รั่วไหลอย่างมากตลอดเวลา

2. มีการชำรุดของระบบนิรภัย Valve Proving Systems (VPS) ซึ่งเป็นระบบนิรภัยสำหรับตรวจสอบการรั่วของ Double Solenoid Valve การชำรุด ของ VPS นี้ ทำให้มีการต่อวงจรให้หัวเผาทำงานได้ แม้จะมีการรั่วของ Biogas เข้าสู่ห้องเผาไหม้

การชำรุดของ VPS เกิดขึ้นจาก Solenoid Valve ของ VPS ติดตาย ทำให้การปิด-เปิดของรูลิ้นด้านอัดเกิดการติดตายและอุดตัน ส่งผลให้เมื่อปั๊มก๊าซใน VPS เริ่มทำงาน เพื่ออัดความดันทดสอบการรั่วของวาล์ว จะเกิดความดันย้อนกลับทันที ~20 mbar ซึ่งทำให้ปั๊มหยุดทำงานทันที เสมือนไม่มีการรั่วของก๊าซที่ Double Solenoid Valve ระบบนิรภัยนี้จึงล้มเหลว ซึ่งหลังจากนั้นภายใน~10 sec. จะปรากฏไฟสีเหลืองหรือแสดงผลผ่านการทดสอบ และต่อวงจรของหัวเผา ให้สามารถทำงานต่อเนื่องไป

3. หัวเผามีการจุดประกายไฟ และมีการเปิด LPG เข้าสู่ Pilot Burner จุดเป็นเปลวไฟ ซึ่งทั้งประกายไฟและเปลวไฟ เป็น Ignition Source จึงทำให้เกิดการติดไฟและการระเบิดของ Biogas ซึ่งมีความเข้มข้นของมีเทนในอากาศอยู่ระหว่าง LEL กับ UEL คือ 5-15.0 vol.% จากการรั่วไหลต่อเนื่องและสะสมปริมาณมากในห้องเผาไหม้

Biogas มีความเร็วในการติดไฟ (Flame Velocity or Ignition Velocity) ~25-30 cm./sec. และมีคุณสมบัติความเป็นอันตรายเฉพาะ Specific Hazards : Exposure to fire may cause containers to rupture/explode. จึงทำให้เกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้ขึ้น

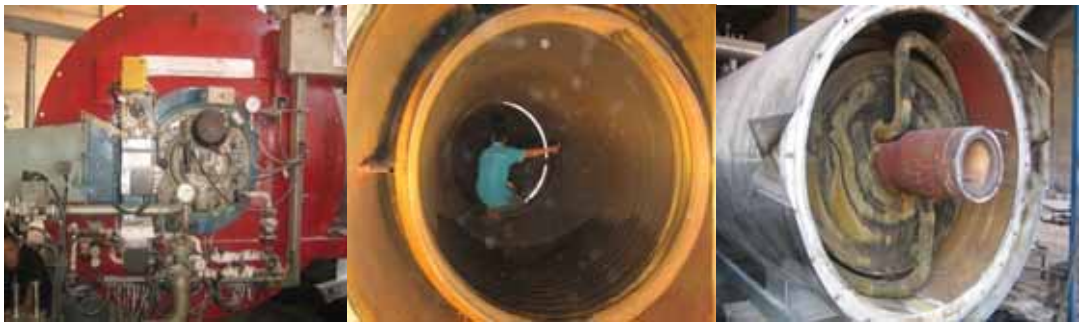
กรณีที่ 3 การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.นครราชสีมา

อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเหมือนกับกรณีที่ 2 แรงระเบิดภายในห้องเผาไหม้ ทำให้ฝาหน้าของหม้อน้ำมันหลุดออก Burner และอุปกรณ์ต่อเนื่องแตกหักชำรุดเสียหาย ดังรูป

ท่อส่งก๊าซ และ Double Solenoid Valve สกปรกมาก ทำให้วาล์วค้างและก๊าซรั่วไหลผ่านเข้าห้องเผาไหม้ตลอดเวลา และความสกปรกทำให้ Valve Proving System เกิดการชำรุดอุดตัน ส่งผลให้ระบบนิรภัยของหัวเผาล้มเหลว หัวเผาทำงานแบบลัดวงจร

กรณีที่ 4 การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา

การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน เกิดขึ้นในขณะที่ Burner กำลังทำงานโดยเผาน้ำมันร่วมกับก๊าซชีวภาพในตำแหน่ง High Fire แล้วเกิดการดับของเปลวไฟ ผู้ควบคุมหม้อน้ำมันร้อน ได้กดสวิตช์ Burner Reset ทันที หลังจากนั้น ~5 วินาที ห้องเผาไหม้ก็ระเบิดขึ้น ทำให้ขดท่อน้ำมันที่ผนังหลังถูกแรงระเบิดเคลื่อนตัวถอยหลัง~30 cm. โดยไม่มีการแตกรั่วของท่อ ฝานิรภัยที่ผนังหลังมีการเปิดระบายความดันออกจากห้องเผาไหม้ ดังรูป



การสอบสวนเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุการระเบิดของห้องเผาไหม้

1. ข้อมูลจากผู้ควบคุมหม้อน้ำมันร้อน

วันที่ 10 ธ.ค.2552 หม้อน้ำมันร้อนกำลังทำงานโดยเผาน้ำมันร่วมกับก๊าซชีวภาพในตำแหน่ง High Fire

- เวลา ~20.00 น. สัญญาณกระดิ่งที่ตู้ควบคุมดัง พร้อมหลอดไฟแดงสว่างขึ้น แสดงถึงเปลวไฟในห้องเผาไหม้ดับ
- ทันทีที่ผู้ควบคุมเห็นสัญญาณแสดงเปลวไฟดับ ได้กดสวิตช์ Burner Reset ใหม่ในทันที
- หลังจากกดสวิตช์ Burner Reset ใหม่ ~5-10 วินาที ก็ได้ยินเสียงระเบิดที่หม้อน้ำมันร้อน พร้อมมีควันไฟกระจายตัวออกด้านหลังของหม้อน้ำมันร้อน
- หลังจากเสียงระเบิด พบว่าขดท่อน้ำมันที่ผนังหลังถูกแรงระเบิดเคลื่อนตัวถอยหลัง~30 cm. แต่ไม่มีการแตกรั่วของท่อน้ำมัน โดยฝานิรภัยที่ผนังหลัง มีการเปิดระบายความดันออกจากห้องเผาไหม้
- ไม่พบความเสียหายของโครงสร้างหม้อน้ำมันร้อนในส่วนอื่นๆ และไม่มีผู้บาดเจ็บ

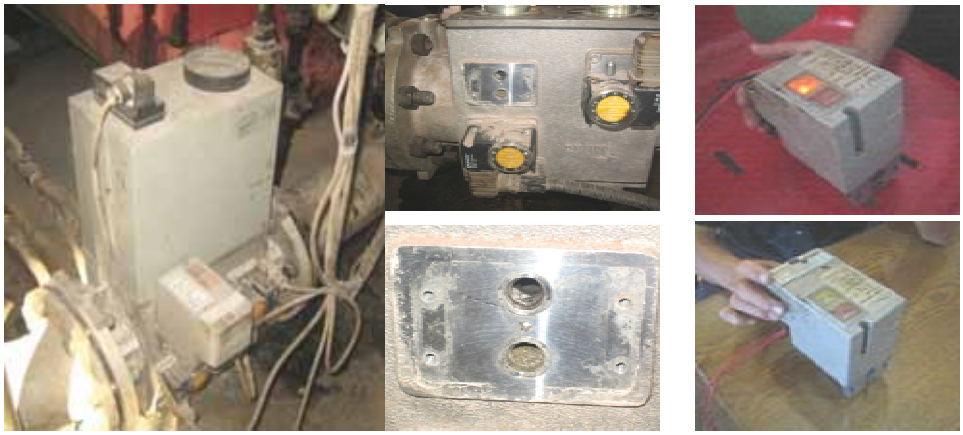
2. ข้อมูลจากการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ

วันที่ 12 ธ.ค.2552 มีการตรวจสภาพทั่วไปของหม้อน้ำมันร้อน การตรวจทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมก๊าซและตรวจสภาพหัวเผา

- วาล์วปิดเปิดก๊าซ Double Solenoid Valve ทั้งสองชุด มีการรั่วไหลเล็กน้อย
- Valve Proving Systems (VPS) มีการอุดตันและลัดวงจรทั้งสองชุด
- ภายในท่อส่งก๊าซชีวภาพ มีคราบตะกรันและตะกอนสกปรกสะสมอยู่มาก
- การตรวจสภาพวาล์วปิดเปิดก๊าซ Double Solenoid Valve ทั้งสองชุดพบว่ามีการรั่วไหลเล็กน้อย

พิจารณาจากรูปข้างล่างนี้

- การตรวจทดสอบการทำงานของ Valve Proving Systems (VPS) พบมีการอุดตันและลัดวงจรทั้งสองชุด การอุดตันของ VPS ทำให้ Burner ทำงานลัดขั้นตอน ไม่เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย ดังรูป



- การตรวจสภาพภายในท่อส่งก๊าซชีวภาพ พบคราบตะกรันและตะกอนสกปรกสะสมอยู่มาก คราบตะกรันและตะกอนสกปรกเป็นสาเหตุที่ทำให้ Valve Proving Systems ชำรุดอุดตัน ดังรูป

3. การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เปลวไฟดับ

- **ปริมาณก๊าซชีวภาพไม่เพียงพอ ความดันก๊าซต่ำเกินไปจนหัวเผาตัดดับ**

กรณีนี้เป็นระบบความปลอดภัยของหัวเผา เมื่อความดันก๊าซต่ำเกินไป หัวเผาจะตัดระบบการเผาไหม้ทั้งหมด และปิดวาล์วจ่ายก๊าซ ทำให้ไม่มีก๊าซป้อนเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นระบบป้องกันการระเบิดของห้องเผาไหม้

- **การอุดตันของไส้กรองก๊าซชีวภาพ ทำให้ก๊าซชีวภาพไม่เพียงพอ ส่วนผสมก๊าซ-อากาศบางเกินไป**

กรณีนี้ จากการตรวจสอบสภาพไส้กรอง ปรากฏว่าไส้กรองไม่มีการอุดตัน หัวเผาจึงไม่ดับจากสาเหตุนี้

- **ค่ามีเทนในก๊าซชีวภาพแปรเปลี่ยนมาก จนส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศต่ำกว่า LEL หรือสูงกว่า UEL**

กรณีนี้ จากการตรวจวิเคราะห์ด้วย Gas Analyzer ปรากฏว่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซอ่านค่าได้ไม่แน่นอน เนื่องจากมีน้ำปนในก๊าซมาก และรบกวนการทำงานเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

- **ก๊าซชีวภาพมีน้ำปนมาก**

เมื่อก๊าซที่มีน้ำปนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำและขยายตัว~1600 เท่าแบบทันทีทันใด ทำให้บริเวณดังกล่าว ขาดเชื้อเพลิงและอากาศ เปลวไฟจึงมีการกระพือดับ

- ขาดการระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซ หรือวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติอุดตัน
- ไม่มีระบบกำจัดความชื้นออกจากก๊าซชีวภาพ

กรณีนี้ จากการตรวจสภาพท่อส่งก๊าซพบคราบตะกรันและตะกอนสะสมมากและพบว่าที่ถังดักน้ำ (Knockout Drum) มีน้ำสะสมมาก เนื่องจากเกิดการอุดตันของวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติ (Auto Valve Drain)

4. สรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

การระเบิดในห้องเผาไหม้ เกิดขึ้นในขณะเดินเครื่องที่ High Fire แล้วเปลวไฟดับ สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุสามารถวิเคราะห์ได้ตามลำดับดังนี้

- **เปลวไฟมีการกระพือดับ สาเหตุเกิดจากก๊าซชีวภาพมีน้ำปนมาก**

<u>ข้อวิเคราะห์</u> เมื่อก๊าซที่มีน้ำปนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะ เป็นไอน้ำและขยายตัว~1600 เท่า ทันทีทันใด ทำให้เกิดบริเวณที่ขาดเชื้อเพลิงและอากาศ เปลวไฟจึงดับ สาเหตุพื้นฐานเกิดจาก

- ไม่มีระบบกำจัดความชื้นออกจากก๊าซชีวภาพ
- ขาดการระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซชีวภาพ เนื่องจากวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติอุดตันจากเมือกและตะกอน
- การกำจัด H_2S ขาดประสิทธิภาพ น้ำมีออกซิเจนปน จึงเกิดตะกอนและเมือก

- **มีก๊าซชีวภาพไหลผ่าน DSV เข้าสู่ห้องเผาไหม้ในขณะเตาดับ และสะสมในห้องเผาไหม้**

ข้อวิเคราะห์ **ในขณะเตาดับ** Flame Detector ต้องใช้เวลาตรวจสอบการดับของเปลวไฟ ก่อนจะสั่งตัดระบบเชื้อเพลิง จึงยังมีก๊าซป้อนเข้าห้องเผาไหม้ปริมาณมาก เนื่องจากวาล์วก๊าซเปิดในตำแหน่งเร่งสุด

- **มีความร้อนสูงสะสมอยู่ที่ปูนทนไฟภายในห้องเผาไหม้ เป็น Ignition Source**

ข้อวิเคราะห์ ภายในห้องเผาไหม้ **ปูน**ที่คอเตาและฝาหลังจะสะสมความร้อนจากการเผาไหม้ไว้สูงมาก จึงสามารถจุดระเบิดก๊าซชีวภาพผสมอากาศ เมื่อมีความเข้มข้นระหว่าง LEL กับ UEL ได้

กรณีที่ 5 การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อนซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.ห้วยผึ้ง จ.กาฬสินธุ์

- อุบัติเหตุ เกิดเมื่อ 16.6.52 เวลา 21.30 น.
- มีการระเบิดภายในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำมันร้อน แรงระเบิดทำให้ฝาด้านหน้าของหม้อน้ำมันร้อนพร้อมหัวเผาหลุดร่วงลงในระยะ ~ 1 ม.
- มีผู้ได้รับบาดเจ็บจากเศษวัสดุและเขม่ารวม 4 ราย
  - เป็นพนักงานของโรงแป้งมัน 2 ราย
  - เป็นพนักงานของบริษัทผู้รับเหมาติดตั้งหม้อน้ำมันร้อน 2 ราย
- ทรัพย์สินเสียหาย 1-3 แสนบาท

หมายเหตุ ข้อมูลนี้ ได้จากการสอบสวนเบื้องต้น โดยเจ้าหน้าที่ในจังหวัดกาฬสินธุ์

ปัญหาด้านอุบัติเหตุอันตราย มลภาวะและประสิทธิภาพจากกระบวนการผลิต การจัดเก็บ และการใช้ก๊าซชีวภาพ

- ปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซ
  - ปัญหาเมื่อก๊าซเหลือทิ้ง
  - ปัญหาเมื่อก๊าซไม่เพียงพอ
- ปัญหาจากคุณภาพก๊าซมีการเปลี่ยนแปลง
  - เมื่อ CH_4 ต่ำเกินไป
  - เมื่อ CH_4 สูงเกินไป
- ปัญหาจากสิ่งปนเปื้อนของก๊าซ เช่น CO_2, H_2S, H_2O, อื่นๆ
- ปัญหาจากการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง
- ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เมื่อมีการซ่อมบำรุง บ่อผลิต ท่อ หรืออุปกรณ์ฯ

ปัญหาต่าง ๆ จากการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

- **ปัญหาหัวเผาไม่ทำงาน (ไม่มีการ Prepurge)**
  - ปริมาณก๊าซไม่เพียงพอ ความดันที่ท่อส่งก๊าซต่ำเกินไป
  - Valve Proving System ตรวจพบการรั่วไหลของ Double Solenoid Valve
  - ความดันไอน้ำสูงถึงค่าที่ตั้งไว้ ,Pressure switch ไม่ต่อวงจรการทำงานของหัวเผา หรือ
  - อุณหภูมิน้ำมันร้อนสูงถึงค่าที่ตั้งไว้ ,Temperature switch ไม่ต่อวงจรการทำงานของหัวเผา
- **ปัญหาหัวเผาทำงาน (มีการ Prepurge) แต่จุดเตาไม่ติด**
  - ค่ามีเทนในก๊าซชีวภาพต่ำเกินไป
  - ก๊าซชีวภาพมีความชื้นสูง หรือมีน้ำปนมาก
  - ส่วนผสมระหว่างก๊าซชีวภาพกับอากาศ ต่ำกว่า LEL หรือสูงกว่า UEL
  - รูจ่ายก๊าซที่หัวเผาสกปรก อุดตัน
  - ไม่มีประกายไฟ หรือขาด Ignition Source
  - Flame Detector ตรวจพบการติดไฟ หรือแสงสว่างในห้องเผาไหม้
- ปัญหาจุดเตาไม่ติด และเกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้ขณะจุดเตา
  - VPS ไม่ทำงานจากการชำรุดอุดตัน และยอมให้หัวเผาทำงานลัดขั้นตอนความปลอดภัย โดยเฉพาะเมื่อมีก๊าซรั่วผ่าน DSV หรือห้องเผาไหม้ยังร้อนแดงแต่ยอมให้พัดลมทำงานเติมอากาศให้เชื้อเพลิงที่สะสมภายในห้องเผาไหม้
  - พนักงานทำให้เกิดการลัดวงจรของ VPS เมื่อจุดเตาไม่ได้ เนื่องจากมีก๊าซชีวภาพ รั่วไหลผ่าน DSV เข้าสู่ห้องเผาไหม้
- ปัญหาจุดเตาติด แต่เดินได้ชั่วขณะแล้วดับ
  - ปริมาณก๊าซลดลงมาก ความดันจาก Blower ที่ท่อส่งก๊าซลดลงมากจนต่ำเกินไป Blower ส่งก๊าซไม่ทัน
  - ค่ามีเทนในก๊าซชีวภาพต่ำเกินไป ก๊าซชีวภาพติดไฟได้เมื่อ Pilot Burner ทำงาน แต่ไม่สามารถติดไฟต่อเนื่องเมื่อเปลวไฟที่ Pilot Burner ดับลง
  - ปริมาณมีเทนเปลี่ยนแปลงมากเกินไป ส่วนผสมระหว่างก๊าซชีวภาพกับอากาศ ต่ำกว่า LEL หรือสูงกว่า UEL
  - ก๊าซชีวภาพมีคุณภาพต่ำ มีเทนต่ำ ความชื้นสูง ทำให้ความเร็วในการติดไฟลดลงจนติดไฟไม่ทันเมื่อเดินเครื่องที่ High Fire
- ปัญหาจุดเตาติด แต่เปลวไฟกระพือ
  - ก๊าซชีวภาพมีน้ำปนมาก น้ำที่ถูกเปลวไฟจะระเบิดตัว ทำให้เกิดช่องโหว่ของส่วนผสม ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ
- ปัญหาจุดเตาติด แต่เร่งไฟไม่ขึ้น
- ปัญหาเปลวไฟดับ ขณะเดินเครื่องที่ High Fire

- ค่ามีเทนในก๊าซชีวภาพต่ำเกินไป ก๊าซชีวภาพติดไฟได้เมื่อ Pilot Burner ทำงาน แต่ไม่สามารถติดไฟต่อเนื่องเมื่อเปลวไฟที่ Pilot Burner ดับลง
- ปริมาณมีเทนเปลี่ยนแปลงมากเกินไป ส่วนผสมระหว่างก๊าซชีวภาพกับอากาศ ต่ำกว่า LEL หรือสูงกว่า UEL
- ก๊าซชีวภาพมีคุณภาพต่ำ มีเทนต่ำ ความชื้นสูง ทำให้ความเร็วในการติดไฟลดลงจนติดไฟไม่ทันเมื่อเดินเครื่องที่ High Fire

- ปัญหาขณะเดินเครื่องที่ High Fire เปลวไฟดับ และเกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้
- ปัญหาหัวเผาทำงาน แต่ CO สูง , O_2 สูง และอุณหภูมิปล่องสูงมาก
- ปัญหาในขณะที่หัวเผาทำงาน มีการระเบิดที่ปล่องไอเสีย

ปัญหาการใช้ Biogas ที่ไม่มีการขจัด H_2S , CO_2 และความชื้น

การใช้ Biogas ที่ไม่มีการขจัด H_2S , CO_2 และความชื้น พบว่าทำให้เกิดปัญหาหลายประการ ได้แก่

- เกิดการชำรุดของอุปกรณ์ควบคุมก๊าซต่าง ๆจากกัดกร่อนของกรดซัลฟุลิค และกรดคาร์บอนิคอย่างรุนแรง สูญเสียก๊าซเชื้อเพลิงจากการรั่วไหล เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยและการระเบิดของเชื้อเพลิง และทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง
- ในขณะที่ความเข้มข้นของ CH_4 ต่ำ และ CO_2 สูง Flame Velocity ของ Biogas จะลดลงทำให้ติดไฟยาก เปลวไฟจะยาวขึ้น การเผาไหม้ที่ High Fire จะเร่งไฟไม่ได้ และมีความเสี่ยงสูงจากเปลวไฟดับ เนื่องจาก Biogas ติดไฟไม่ทันเกิดก๊าซ CO ซึ่งเป็นมลภาวะสูงขึ้นและอาจเกิด Back Fire หรือ Furnace Explosion ในขณะใช้งานซึ่งทำให้เกิดอันตรายและความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้
- ความเข้มข้นของ CH_4 จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยผกผันกับ CO_2 ทำให้การปรับแต่ง และควบคุมการเผาไหม้แบบอัตโนมัติขาดความเสถียร ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมีความแปรปรวนสูง และบางครั้งทำให้เกิดส่วนผสมที่บางหรือหนาเกินกว่าจะติดไฟได้ ทำให้เปลวไฟดับและอาจเกิด Back Fire หรือ Furnace Explosion ในขณะใช้งาน
- ในขณะที่ Biogas มี CH_4 ต่ำ และ CO_2 สูง ยังต้องใช้อากาศส่วนเกินสูง เพื่อให้เกิดการ เผาไหม้ที่สมบูรณ์ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนทางปล่องสูงมาก โดยความร้อนจะติดพาไปกับ CO_2 และอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิปล่องจะสูงผิดปกติตลอดเวลา ทำให้ประสิทธิภาพด้านพลังงานความร้อนต่ำ สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก
- น้ำที่ปนมากับ Biogas จะพาสิ่งสกปรกติดมา ทำให้เกิดเมือก ตะกอน ซึ่งมีผลต่อการชำรุดอุดตันของอุปกรณ์ความปลอดภัยที่เกี่ยวข้อง เช่น
  - การอุดตันของ VPS ทำให้ระบบความปลอดภัยของ Burner ล้มเหลว มีการทำงานแบบลัดวงจร
  - การอุดตันของวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติ (Mechanical Trap) ซึ่งติดตั้งอยู่ในระบบท่อส่งก๊าซ ทำให้มีน้ำขังอยู่ในระบบท่อส่งก๊าซ กีดขวางการไหลของก๊าซ และมีน้ำเข้าสู่ Burner ทำให้เปลวไฟกระพือหรือดับ และเกิดก๊าซตกค้างในห้องเผาไหม้ เป็นเหตุให้เกิด Back Fire หรือ Furnace Explosion

การป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้ก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรม

มาตรการป้องกันที่ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมควรดำเนินการ

- ควรติดตั้งอุปกรณ์ขจัด H_2S , CO_2 และความชื้นออกจาก Biogas ก่อนป้อนเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมก๊าซและหัวเผา และภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์ขจัด H_2S , CO_2 และความชื้นต้องควบคุมให้มีการใช้งาน การตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ดังกล่าว ให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดเวลา
- ควรจัดให้มีการตรวจสอบคุณภาพ Biogas ที่นำมาใช้งาน ให้มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดของอุปกรณ์ควบคุมก๊าซ หรือเป็นไปตามมาตรฐานสากล ตลอดเวลา
- ควรจัดให้มีการฝึกอบรมพนักงาน ให้มีความรู้เกี่ยวกับ Biogas การใช้และการป้องกันอันตรายในการใช้หัวเผา การใช้งานและการตรวจสอบบำรุงรักษาหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนเพื่อให้ประหยัด ปลอดภัย และไร้มลภาวะ
- กรณีที่ไม่ได้ขจัด CO_2 ออกจาก Biogas ในการใช้งาน ควรใช้เชื้อเพลิงร่วมกันระหว่างน้ำมันเตากับ Biogas ตลอดเวลาเพื่อป้องกันหัวเผาดับและเกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้ เมื่อ CH_4 ต่ำ และ CO_2 สูง
- ควรติดตั้งฝานิรภัย (Access Door) บริเวณห้องเผาไหม้ของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เพื่อระบายก๊าซความดันสูงออกจากห้องเผาไหม้ เมื่อมีการระเบิดของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้

กรมโรงงานอุตสาหกรรม(กรอ.)กับการป้องกันปัญหา จากการผลิตและใช้ BIOGAS

- จัดทำข้อมูลการสอบสวนอุบัติเหตุเชิงลึก เผยแพร่ใน website กรอ. (www.diw.go.th)
  “กรณีศึกษา สาเหตุและการป้องกันการระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อต้ม ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง”
- จัดบรรยายเผยแพร่ความรู้ให้ผู้ประกอบการโรงงานแป้งมันสำปะหลัง
- จัดบรรยายเผยแพร่ความรู้ให้แก่เจ้าหน้าที่ กรอ.
- จัดทำโครงการศึกษากฎหมาย ข้อบังคับ มาตรฐานด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัย และจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน เกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (งบประมาณปี 2553)

ภาคผนวก ค

ราคากลางวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องด้านความปลอดภัย

รายชื่อหน่วยงานภาครัฐ รายชื่อที่ปรึกษาออกแบบระบบก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 1 ราคากลางของวัสดุต่อหน่วยของอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย

ลำดับ	อุปกรณ์	รายละเอียด	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)
1	ปั๊มส่งก๊าซ (Gas Blower)	Positive Displacement Blower package -ขนาด 600 ลบ.ม./ชม. -แรงดัน 300 มิลิบาร์ -มอเตอร์กันระเบิด 11 กิโลวัตต์/ 2,900 รอบ/นาที -มาตรฐาน IEC EX ed II C T4	ตัว	300,000
2	ท่อส่งก๊าซ (Pipe)	-ชนิด HDPE ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 4 นิ้ว pn6.3 และ -ชนิด HDPE ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 6 นิ้ว pn6.3 -ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว ทำด้วยสเตนเลส 316	เมตร เมตร	270 380
3	วาล์วป้องกันแรงดันเกินกำหนด (Safety Relief Valve)	-อัตราการไหล 800 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงปรับตั้งแรงดันได้ 100-350 มิลิบาร์	ตัว	250,000
4	สวิตช์ป้องกันแรงกันเกินกำหนด (Pressure Switch)	-Differential pressure switch -Out put : 4-20 mA -Indicator : Digital LCD Span 1-100 mbar	ตัว	55,000
5	ตัวส่งสัญญาณแรงดันก๊าซ (Pressure Transmitter)	-out put : 4-20 mA -indicator : Digital LCD -Input put : 4-20 mA	ตัว	45,000

ตารางที่ 1 ราคากลางของวัสดุต่อหน่วยของอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	รายละเอียด	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)
6	ตัวควบคุมแรงดันก๊าซ (Pressure Controller)	-Out put : 2 Alarm (max.min.) -Indicator : Digital LCD	ตัว	18,000
7	ปล่องเผาก๊าซชีวภาพ (Stack Flare)	**<u>ระบบเปิด</u>** -ทำด้วยสเตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. -มีอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับ (Flame Arester) -มีชุดควบคุมการจุดนำอัตโนมัติ -มีอัตราการเผาไหม้ประมาณ 200 ลบ.ม./ชม. **<u>ระบบปิด</u>** -ทำด้วยสเตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 ซม. -มีอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับ (Flame Arester) -มีชุดควบคุมการจุดนำอัตโนมัติพร้อมด้วยระบบตรวจจับแสง -มีอัตราการเผาไหม้ประมาณ 200 ลบ.ม./ชม.	ชุด ชุด	450,000 700,000
8	ถังป้องกันยุบตัวของบ่อก๊าซ (Water Seal Tank)	-วัสดุทำด้วยสเตนเลส -รองรับปริมาณก๊าซได้ 800 ลบ.ม./ชม.ได้รับรองมาตรฐานสากล เช่น TUEV, UL	ตัว	350,000
9	เครื่องวัดการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ (Biogas leakage detector)	-สามารถตรวจหาการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ ณ จุดต่างๆ -Indicator : Digital LCD	ชุด	30,000

ตารางที่ 1 ราคากลางของวัสดุต่อหน่วยของอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	รายละเอียด	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)
10	ชุดควบคุมการจ่ายก๊าซ (Gas Train)	-ชุดควบคุมการจ่ายก๊าซได้ 600 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง -ชุดตรวจจับและป้องกันก๊าซรั่วในห้องเผาไหม้ -ชุดวาล์วนิรภัยแบบบอลวาล์ว -ได้รับรองตามมาตรฐานสากล เช่น TUEV -ป้องกันระเบิด Zone 1, 2	ตัว	400,000
11	แสงสว่าง (Lighting)	-หลอดไฟฟ้าลูออเรสเซนต์ขนาด 18 x 18 วัตต์ มาตรฐาน IEC Ex ed II C T4	ชุด	16,000
12	วาล์ว (Valve)	ขนาด 4 นิ้ว ขนาด 6 นิ้ว -ตัววาล์วทำจากเหล็กหล่อ -แผ่นหน้าวาล์วเป็นสเตนเลส 316 -ที่รองรับบ่าวาล์วเป็น EDPM	ตัว ตัว	2,000 3,000
13	หัวพ่นไฟ (Burner)	-ขนาด 3,200,000 Kcal/Hr. -แบบผสมเชื้อเพลิง ใช้ร่วมกันได้ รับรองตามมมาตรฐาน DIN 4748 & TRD 412	ชุด	3,000,000
14	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ (Biogas analyzer)	-วัดความเข้มข้นของ ก๊าซมีเทน (CH_4), ก๊าซออกซิเจน (O_2), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไข่เน่า (H_2S) -สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง ตลอด 24 ชั่วโมง -Out put : 4-20 mA and on-off contact Indicator : Digital LCD	ชุด	650,000

ตารางที่ 2 รายชื่อบริษัทที่ปรึกษาที่สามารถให้คำแนะนำหรือดำเนินการออกแบบก่อสร้าง

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
1	สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	053+-942-007-9	053-892-375
2	ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย (คุณสมเจตน์ ทองคำวงศ์)	108 อาคารบางกอกไทยทาวเวอร์ ชั้น 9 ถ.รางน้ำ พญาไท กรุงเทพฯ	02-642-7090	02-642-7099
3	มูลนิธิสถาบันประสิทธิภาพพลังงาน (ประเทศไทย)	ถ.รางน้ำ อาคารบางกอกไทยทาวเวอร์ ชั้น10 พญาไท ราชเทวี กรุงเทพฯ	02-642-7115-7	02-642-7115
4	สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	อาคารสถาบัน 3 ชั้น 12 ถ.พญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ	02-218-8096-7	02-254-7579
5	คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	126 ถ.ประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ	02-4708-613	02-4708-635
6	สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 ถ.มิตรภาพขอนแก่น จ.ขอนแก่น	043-362-299	043-362-299
7	บริษัท ดอร์ช คอนซัลท์ เอเชีย จำกัด	1016 อาคารศรีเฟื่องฟุ้ง ชั้น 10 ถ.พระราม 4 แขวงสีลม เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500	02-633-8104-7	02-633-8104-7
8	คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต	52/347 เมืองเอก ถ.พหลโยธิน ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี	02-997-2222 ต่อ1580	02-997-2222 ต่อ1580
9	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	50 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ	02-579-0545	02-579-2775
10	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี	02-564-7000	02-564-7001-5
11	บริษัท ปภพ จำกัด	10/35 ซ.ลาดพร้าว 44 แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ	02-938-2923-4	02-513-5814
12	บริษัท อินเตอร์ เอ็นจิเนียริ่งมาเนจเมนต์ จำกัด	2013 อาคารอิตัลไทย ชั้นที่6 ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ ห้วยขวาง กทม.	02-718-0424	02-718-0425
13	บริษัท ไบโอฟูเอ็ล จำกัด	49/533 หมู่ที่ 5 ซ.บุญส่งโสพิศ ถ.นวมินทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงทพฯ	02-734-5450	02-734-5450 ต่อ 103
14	บริษัท แชน.อี. 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด	642/3-7 ถ.วงศ์สว่างแขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ	02-912-2715-8	02-587-8487
15	บริษัท ไออีเอ็มซี จำกัด	1363 ซ.ลาดพร้าว 94 (ปัญจมิตร) ถ.ลาดพร้าว เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ	02-559-2711	02-530-7207

ตารางที่ 2 รายชื่อบริษัทที่ปรึกษาที่สามารถให้คำแนะนำหรือดำเนินการออกแบบก่อสร้าง (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
16	บริษัท เฟื่องสิริ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	111/379-380 หมู่ 6 ถ.เลียบคลองภาษีเจริญฝั่งใต้ แขวงหนองแขม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ	02-807-2778-9	02-807-3356
17	บริษัท เอส ที เอฟ อี จำกัด	อาคาร เอส พี ชั้น 17 388 ถ.พหลโยธิน พญาไท กรุงเทพ	02-273-0037	02-273-0735
18	บจก.แมเนจเมนท์ โซลูชั่นส์ อินเตอร์เนชั่นแนล	151 อาคารทีม ถ.นวลจันทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ	02-509-9094-5	02-509-9060
19	บริษัท ทีม เอ็นเนอร์ยี่ แมเนจเมนท์ จำกัด	152 หมู่ 12 ถ.นวลจันทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ	02-509-9084-5	02-509-9066
20	บริษัท คิว อี เอส เอ็นเนอจี คอนซ์ จำกัด	44/482 ซ.นวมินทร์ 125 ถ.นวมินทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ	02-948-8365	02-948-8365
21	บริษัท เอ็นเนอร์ยี่ คอนเซอร์เวชั่น เทคโนโลยี จำกัด	11/6 ซ.อินทามระ 40 ถ.สุทธิสารวินิจฉัย กินแดง กรุงเทพฯ	02-691-9533-4	02-691-9535
22	บริษัท เคเวอร์ เวย์ จำกัด	98/54หมู่ 8 ซ.คุณาลัย 9/5 ท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ	02-849-3176 081-913-4300	02-849-1665
23	บจก.เอ็กซ์เซลเล้นท์ เอ็นเนอร์ยี่ อินเตอร์เนชั่นแนล	ชั้น 12 อาคารสิริถิภิญโญ 475 ถ.ศรีอยุธยา ราชเทวี กรุงเทพฯ	02-201-3466	02-201-3465
24	บริษัท เดคทอป เมนูเฟคทอริ่ง จำกัด	80 ซ.จันทนชาติ ถ.ประชาชื่น แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ	02-913-6099	02-913-6098
25	บริษัท ฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมไทย จำกัด	667/5 ซ.วชิรธรรมสาธิต 45 ถ.สุขุมวิท 101/1 แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ	02-398-5607	02-746-4465
26	มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน	12/9 อาคารเอวี 3A ถ.เทศบาลสงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กทม.	02-580-6242-3	02-580-5103
27	บริษัท เอิรธ์ เอ็นเนอร์ยี จำกัด	อาคาร เอสพี ชั้น 17 เลขที่ 388 ถนนพหลโยธิน เขตพญาไท กรุงเทพฯ	02-273-0037	02-273-0735
28	สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม	99 อาคารสถาบันพัฒนา SMEs (ยินเนเซี่ยน 1) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต จ.ปทุมธานี	02-564-4000	02-564-2737
29	บริษัท ศาลาเทค รีเสิร์ช แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด	9/431 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ต.กระทุ่มล้ม อ.สามพราน จ.นครปฐม	034-230-903-4	034-230-903

ตารางที่ 2 รายชื่อบริษัทที่ปรึกษาที่สามารถให้คำแนะนำหรือดำเนินการออกแบบก่อสร้าง (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
30	บริษัท เกษมดีชายด์ แอนด์ คอนซับแทนท์ จำกัด	180/61-62, 95 อาคารสุขสวัสดิ์โมเดิร์นคอนโดวิว ถ.สุขสวัสดิ์ แขวงราษฎร์บูรณะ กรุงเทพฯ	02-818-0881-2	02-818-1369
31	ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต	ชั้น 3, อาคาร 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพฯ	02-218-6803-4	02-218-6805
32	บริษัท เอ็นคิว กรุ๊ป 2005 จำกัด	28/34 หมู่ 4 แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ	02-978-6300	02-978-6301
33	บริษัท พี แอนด์ เอส ดีไซน์ จำกัด	3/3 หมู่ 13 ถ.บางนา-ตราด กม.6.5 อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ	02-312-0165	02-312-0166
.34	บริษัท พัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานไทย จำกัด	639/16 ซ.วชิรธรรมสาธิต 43 ถ.สุขุมวิท 101/1 แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ	02-746-1722	02-746-1723
35	ห้างหุ้นส่วนจำกัด สะอาดลำปาง	111-115 ถ.บุญวาทย์ ต.สวนดอก อ.เมือง จ.ลำปาง	054-222-107-8	054-222-109
36	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	3 หมู่ 2 ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520	02-737-3000	02-737-2583
37	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที-แฟม	206/127 หมู่ 3 (หมู่บ้านทิพย์ภมรฮิลล์ ซอย 3 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	053-839-271	053-839-272
38	บริษัท พรีเมียร์ ไลนิ่ง อินเตอร์พลาส จำกัด	48/1124-1126 หมู่ 7 ซ.หมู่บ้านดีเค 18 ถ.กาญจนาภิเษก แขวงบางบอน เขตบางบอน	0-2417-8007-8	0-2417-8009
39	บริษัท อินโนเวชั่น เทคโนโลยี จำกัด	51/29 ถ.งามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ	02-941-4080-1	02-941-4080-1
40	บริษัท อันดามันเอนไวรอนเมนทอลคอนซัลแตนท์ จำกัด	86 ถ.เยาวราช ซอย 1 ต.ตลาดใหญ่ อ.เมือง จ.ภูเก็ต	076-254-075	
41	บริษัท กรีนไลฟ์ เทคโนโลยี จำกัด	3 หมู่ 6 ต.ยุหว่า อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่	053-822-071	
42	หน่วยปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มทส.	111 ถ.มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา	044-224-834	

ตารางที่ 2 รายชื่อบริษัทที่ปรึกษาที่สามารถให้คำแนะนำหรือดำเนินการออกแบบก่อสร้าง (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
43	บริษัท การจัดการสิ่งแวดล้อมหาดใหญ่ จำกัด	572/25-26 ถ.กาญจนวนิช ต.บ้านพรุ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	074-739-575	074-439-585
44	บริษัท ไบโอฟิวล จำกัด & ไบโอแก๊ซ ฟอร์รันเนอร์ จำกัด	49/533 หมู่5 ซ.นวมินทร์ 26 ถ.นวมินทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10240	0-2734-5450	0-2734-5450 ต่อ 103
45	บริษัท ซาราฟ ไบโอแก๊ส เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	77/32 ชั้น 11 อาคารสินสาธร ถนนกรุงธนบุรี แขวงคลองต้นไทร เขตครองสาน กทม.10600	0-2862-2061-2, 0-2440-0369-70	0-2862-2060
46	บริษัท ไทย ไบโอแก๊ซ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	888/173 อาคารมหาทุนพลาซ่า ชั้น 17 ถนนเพลินจิต แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330	0-2650-9150	0-2650-9149
47	บริษัท ฟูจิคาซุย (ไทยแลนด์) จำกัด	719 อาคาร เคพีเอ็น ทาวเวอร์ ชั้น 19 ถนน พระราม 9 แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10320	02-7170810-4	02-7170809
48	บริษัท รีเทค เอ็นเนอร์ยี จำกัด	2/22 อาคารไอยรา ชั้น6 ถนนจันทร์ แขวงทุ่งวัดดอน เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120	0-2678-8921-2	0-2678-8920
49	บริษัท สมาร์ท เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	80/127 แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310	02-933-7644	02-933-8174
50	บริษัท อาควา นิชิฮาร่า คอร์ปอเรชั่น จำกัด	99/167 ถ.เทศบาลสงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900	0-2589-9717	02-580-2356, 02-580-2357
51	มูลนิธิสถาบันก๊าซชีวภาพ	191/15-16 ถนนเชียงใหม่-หางดง เชียงใหม่ 50000	053-838925	053-838887
52	บริษัท พลังธรรมชาติ จำกัด	ตู้ ปณ. 131 ปณฝ.พระสิงห์ อ.เมือง เชียงใหม่ 50000	053-838925	053-838925

ตารางที่ 2 รายชื่อบริษัทที่ปรึกษาที่สามารถให้คำแนะนำหรือดำเนินการออกแบบก่อสร้าง (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
53	บริษัท ยูทิลิตี้ บิสิเนส อัลลายแอนซ์ จำกัด (UBA)	ชั้น16 ทีเอสทีพาวเวอร์ 21 ถ.วิภาวดีรังสิต แขวง จอมพล เขต จตุจักร กรุงเทพ 10900	02-7893232	02-6178130
54	บริษัท คลีน เอเนอจี้ ดีเวลลอปเม้น จำกัด	ห้อง 2504 ชั้น25 อาคารมิลเลเนียทาวเวอร์ 60 ถ.หลังสวน ลุมพินี ปทุมวัน	081-2511383	02-6519904
55	บริษัท วัลวิท อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	ชั้น 4 อาคารพีเอ็ม เลขที่ 731 ถ. อโศก-ดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพฯ	02-6402223	02-6402224
56	บริษัท เค พี เอส อาร์ คอนสตรัคชั่น 2006 จำกัด	115 ซ. ช่วงเจริญ โชคชัย ถ.พระราม 3 ยานนาวา กรุงเทพ 10120 ประเทศไทย	085-0233650	043-328-430
57	บริษัท โกลบอล วอร์เทอร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด	ชั้น1006 อาคาร สำนักงานเซ็นทรัลเวิร์ด 999/9 ถ.พระราม 1 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย	+66 2 613 1733	+66 2 613 1736
58	บริษัท แอนแอโรบิคเทค จำกัด	197/178 หมู่ที่ 6 ถนนวงแหวนรอบนอก แขวงบางแคเหนือ เขตบางแค กรุงเทพมหา		

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
1	บริษัท สไปแร็กซ์ ซาร์โก(ประเทศไทย) จำกัด	222 อาคาร เจ วี เค ชั้น 9 กรุงเทพ กรีฑา หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ	02-379-3211	02-379-4656
2	บริษัท เทอร์เรค ไดนิเมติคส์ จำกัด	9/174 หมู่บ้านริมคลองบางมดหมู่ 7 ถ.พุทธบูชา แขวงบางมด เขต จอมทอง กรุงเทพฯ	02-874-8178-80	02-874-8179-80
3	บริษัท พีแอนด์เอส เอนเตอร์ไพร์ส (ประเทศไทย) จำกัด	921/6-7 หมู่ 5 ถ.ศรีนครินทร์ ต. สำโรงเหนือ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ	02-758-9070-7	02-758-9078-9
4	บริษัท เอ็มทีอาร์(ประเทศไทย)จำกัด	28/8 หมู่ 2 ถ.กาญจนาภิเษก แขวง บางเชือกหนัง ตลิ่งชัน กรุงเทพฯ	02-887-6901-6	02-887-6907
5	บริษัท ซีเค.อีเล็คเทค จำกัด	31/14 ถ.ดำรงค์รักษ์ คลองมหานาค ป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพฯ	02-280-0150-4	02-280-3663-4
6	บริษัท วิชชุปกรณ์ อิมปอร์ต เอ๊กซปอร์ต จำกัด	85 ซ.โบสถ์พราหมณ์ ถ.บำรุงเมือง เสาชิงช้า พระนคร กรุงเทพฯ	02-222-3161	02-224-0671
7	บริษัท วิค แอนด์ ฮุคลันด์ จำกัด (มหาชน)	444 อาคาร บี เค ชั้น 10 ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ	02-611-4778-86	02-611-4809
8	บริษัท ซีเมนส์ จำกัด	2922/333 ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ บาง กะปิ ห้วยขวาง กรุงเทพฯ	02-715-4000	02-715-4100
9	บริษัท ไทยสตีมเซอร์วิสแอนด์ซัพพลาย จำกัด	754/31-31 ซ.ปุณณวิถี สุขุมวิท 101 บางจาก พระโขนง กรุงเทพฯ	02-332-7700-2	02-311-4840
10	บริษัท ไทย ไบโอแก๊ซ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	888/108-109 อาคารมหาทุนพลาซ่า ชั้น10 ถ.เพลินจิต แขวงลุมพินี เขต ปทุมวัน กรุงเทพฯ	02-650-9148	02-650-9149
11	บริษัท แอลฟา ลาเวล (ประเทศไทย) จำกัด	222 ถนนกรุงเทพฯ-กรีฑา หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240	+66 0 2379-4660	+66 0 2379-4661-2
12	บริษัท เยอรมันเอ็นจิเนียริ่งแอนด์แมชชีนเนอร์รี่ จำกัด	399 หมู่ 17 ถนนบางนา-ตราด กม. 23 แขวงบางเสาธง เขตบางเสาธง สมุทรปราการ 10540	66 2315-3331-2 ,66 2315-3662 ,66 27058947-8	66 2315-3212
13	บริษัท เกตตาเบคอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	อาคาร จีทีบี เลขที่ 79/7 หมู่2 ถ.ศรีนครินทร์	(66-2) 366-0400-7	(66-2) 366-0399, 366-0413
14	บริษัท บางกอก อินดัสเทรียล บอล์เลอร์ จำกัด	386 หมู่ 6 ถ.สุขุมวิท สำโรงเหนือ อ. เมือง จ.สมุทรปราการ ประเทศไทย 10270	662 398 0143	662 749 1969

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
15	บริษัท สเปกโก้ เอเชีย จำกัด	487 ชั้น 2 อาคาร B.S.V. ถ.ศรีอยุธยา แขวงพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400	+66 2642 6850-2	+66 2642 6850
16	บริษัท พรีเมียร์ โปรดักส์ จำกัด	2 ซ.พรีเมียร์ 2 ถ.ศรีนครินทร์ ประเวศน์ กรุงเทพฯ 10250	02-301-1340	02-301-2202
17	บริษัท ซาตาเก้ (ประเทศไทย)จำกัด	133 ม.5 นิคมอุตสาหกรรมบางกะดี ต.บางกะดี อ.เมืองปทุมธานี 12000	66 25011223	66 2501 1188
18	บริษัท เซ็นเนท เอนจิเนียริ่ง จำกัด	9/136 หมู่ 2 ถ. เพรชเกษม แขวง หนองค้างพลู เขต หนองแขม กรุงเทพฯ 10160	0-421 1600	0-2808 9782
19	บริษัท บ้านโป่ง เอนจิเนียริ่ง จำกัด	21 หมู่ 1 ถ.หัวโพ บ้านสิงห์ หัวโพ บางแพ ราชบุรี 70160	66-032-349 515	66-032-349 398
20	บริษัท ธรรมศร เอนจิเนียริ่ง จำกัด	156/20 ถ.เพชรบุรี เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400	0 2611 0290	0 2611 0460
21	บริษัท เม็คม่าร์ (ประเทศไทย) จำกัด	104 อาคาร โซลิด กรุ๊ป ซ.4 ถ.พัฒนาการ แขวง สวนหลวง เขต สวนหลวง กรุงเทพฯ 10250	+662-322 2409	+662-322 2415
22	บริษัท บุญเยี่ยม & แอสโซซิเอท จำกัด	1314-1322 39/5 หมู่ 1 ถ.ศรนครินทร์ สวนหลวง พระโขนง กรุงเทพฯ 10250	02-322-4330-3, 02-322-1678	02-322-4329
23	บริษัท แคนดู เอนเตอร์ไพรส์	111/76 ซ.ศรีนครพัฒนา สุขาภิบาล 1 คลองกุ่ม บึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10240	23781137	02-375-1076
24	บริษัท ฉัตรชมชื่น จำกัด	145 หมู่ 2 ถ.เทพารักษ์ เทพารักษ์ เมืองสมุทรปราการ สมุทรปราการ 10270	662-7580151	662-7580160
25	บริษัท ช่องเจริญจักรกล(1991) จำกัด	43/2 หมู่ 9 ถ. สุขสวัสดิ์ 47 พระประแดง สมุทรปราการ 10130	662-4634262	662-4643901
26	บริษัท ซิตี้ สตีม กรุ๊ป จำกัด	21/5 หมู่ 5 ถ.พุทธบูชา บางมด จอมทอง กรุงเทพฯ 10150	662-4275441	662-4284364
27	บริษัท หรรษา อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	33/29 ถ.รามคำแหง (สุขาภิบาล3) หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240	662-7316209	02-732-3189

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
28	บริษัท นิค ยูนิเวอแซล จำกัด	1184 ถ.สุขุมวิท ปากน้ำ เมือง สมุทรปราการ สมุทรปราการ 10270	662-3845877	662-3845877
29	บริษัท พี เค บอล์เลอร์ จำกัด	9/87 ซ.พินสุวรรณ อ.เมือง จ. สมุทรสาคร 74000	22944371	034-824-111
30	บริษัท รุ่งโรจน์ เอนจิเนียริ่ง แอนด์ เอนเตอร์ไพรส์ จำกัด	3052 หมู่ 14 ซ.วัดด่าน สุขุมวิท 113 อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270	02-394-3194	02-394-4872
31	แสงชัยการช่าง	73/37 ซ.จอมทอง 15 ถ.จอมทอง จอมทอง กรุงเทพฯ 10150	02-468-0256, 02-878-0051	02-476-2185
32	บริษัท ศิริพร เมแคนิก จำกัด	100/790 หมู่ 6 ต.บางเมือง อ. เมือง จ.สมุทรปราการ 10270	02-702-7717, 02-702-6265	02-395-4684
33	บริษัท สมชัย อินดัสทรี จำกัด	45/20 หมู่ 6 ซ.เอกมัย 64 ถ.เอกชัย-บางบอน บางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150	02-451-0541	02-451-0517
34	บริษัท สตีม มาสเตอร์ จำกัด	31/1 ถ.กรุงธนบุรี คลองต้นสาย คลองสาน กรุงเทพฯ 10600	662-4401921	662-4401918
35	บริษัท พีแอนด์เอส ดีไซน์ จำกัด	3/3 หมู่ 13 กม6.5 ถ. บางนา-ตราด บางแก้ว บางพลี สมุทรปราการ	0-2312 0165	0-2312 0166
36	บริษัท ไทย เค บอล์เลอร์ จำกัด	134 หมู่6 ถ.เพรชเกษม 91 สวน หลวง กระทุ่มแบน สมุทรปราการ 74110	662-4208046	02-420-2358
37	บริษัท เจียมพัฒนา เอนเนอจี้ พาร์ท เนอร์ชิป จำกัด	191 หมู่8 อ.ศาลาแก้ว เมือง สุพรรณบุรี 72210	(035) 599 277	(035) 540 162
38	บริษัท แอลเค บอล์เลอร์ อินดัสทรี จำกัด	95 หมู่ 15 ถ.กิ่งแก้ว ราชเทวา บาง พลี สมุทรปราการ 10540	662-3267581	662-7383608
39	บริษัท รอยอล อีควิปเม้นท์ จำกัด	88 ถงพิชัย ดุสิต กรุงเทพฯ 10300	+66 2243 6215-7	+66 2241 1839
40	บริษัท อันโซลโด อีเนอเจีย รีเพรสเซ้น เททีฟ จำกัด	ชั้น 26 252/124 ถ.รัชดาภิเษก ห้วย ขวาง กรุงเทพฯ 10320	02-693-2938	02-693-2936
41	บริษัท โบโน อีเนอเจีย จำกัด	แคนนอน ฟาร์ อีสท 3/1 ซ. รามคำแหง 21 ถ.รามคำแหง วังทองหลาง 10310 กรุงเทพฯ	+66 2 3192595-7	+66 2 3192598

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
42	บริษัท โรซลอยซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล ลิมิเต็ด จำกัด	900 อาคาร ต้นสน ชั้น 11 ถ.เพลินจิต	(+66) 2 263 0500	(+66) 2 263 0505
43	บริษัท ซีเมนส์ พาวเวอร์ เจเนอเรชั่น จำกัด	อาคาร ชาญอิสระ 2 ชั้น 32 2922/283 ถ.เพรชบุรีตัดใหม่ บางกะปิ ห้วยขวาง กรุงเทพฯ	(+66) 2 715 4935	(+66) 2 715 4957
44	บริษัท ฟอสเทอร์ วีลเลอร์ จำกัด	ฟอสเทอร์ วีลเลอร์ อินเตอร์เนชั่นแนล คอร์ปอเรชั่น 217 หมู่ 12 ถ.สุขาภิบาล 8 ทุ่งสุขลา ศรีราชา ชลบุรี 20230	66-38-352-200/ 201 / 202 / 203 / 204 / 205 / 206	66-38-352-226 / 444
45	บริษัท สยาม ทาคุมา จำกัด	ชั้น 18 อาคารสิน สาธร 77/69 ถ.กรุงธนบุรี คลองสาน กรุงเทพฯ 10600	02-438-5616	02-440-0114
46	บริษัท เธอร์แมกซ์ ลิมิเต็ด จำกัด	ชั้น 4 อาคาร นายเลิท 2/4 ถ.วิทยุ ลุมพินี ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330	02-655-5790	02-655-5791, 02-712-0608
47	บริษัท จีอี เอเนอจี้ จำกัด	ชั้น 7 อาคาร แคปปิตอล ออลซีซั่น 87/1 ถ.วิทยุ ลุมพินี ปทุมวัน กรุงเทพฯ	(+66) 2 627 8732	(+66) 2 627 8788
48	บริษัท อีบาร่า (ไทยแลนด์) ลิมิเต็ด จำกัด	ชั้น 3 อาคาร ACME 125 ถ.เพรชบุรีราชเทวี กรุงเทพฯ	0 2612 0322-30	0 2612 0331
49	บริษัท เอลโค พาวเวอร์ ซิสเทมส จำกัด	ชั้น 28 อาคาร เบญจธานี 127/33 ถ.นนทรี ช่องนนทรี ยานนาวา กรุงเทพฯ	66-2-681-0373-6	66-2 681-0377
50	บริษัท วาสเทคลีน ไทยแลนด์ จำกัด	ห้อง เอ10 ชั้น 3 รีเควส คลับ 8 ซ.ประชานคดี (สุขุมวิท 49) คลองตันเหนือ วัฒนา กรุงเทพฯ	02-714-7254	02-714-7255
51	บริษัท ปภพ จำกัด	10/35 ซ. ส่องแสงตะวัน ถ. ลาดพร้าว 44 สามเสนนอก ห้วยขวาง กรุงเทพฯ	02-938-3117, 398-2993-4 , 938-3887	02-513-5814
52	บริษัท คอนเควส จำกัด	413/15 บางรัก กรุงเทพฯ 10500	02-237-1519-22	02-236-5368
53	บริษัท คราฟติค จำกัด	3725/17 ซ.1 ถ.พระราม 3 บางคอแหลม กรุงเทพฯ	02-295-4999, 02-683-8811	02-295-4184

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
54	บริษัท ฟูลซิสเทม เอนจีเนียริ่ง จำกัด	140/545 หมู่ 9 บางไผ่ บางแค บางแค กรุงเทพฯ 10160	02-887-2402-4	02-887-2405
55	เอน.อาร์.เอส.เซ็นเตอร์ จำกัด	100/555 หมู่ 7 ถ.กาญจนาภิเษก บางแค กรุงเทพฯ 10160	02-812-2065-6	02-812-0572
56	บริษัท มิตรไทย เอเซีย กรุ๊ป พาร์ทเนอร์ชิป จำกัด	18/8 พิมพสุท ถ.นาเมือง ขอนแก่น กรุงเทพฯ 40000		
57	บริษัท แอร์ เซฟ จำกัด	ชั้น15 อาคารอิทรัล ไทย 2034/71 ถ. เพรชบุรีตัดใหม่ บางกะปิ ห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10320	02-723-4455	02-723-4452
58	บริษัท เบทเทอร์ เวิล์ด กรีน จำกัด	2674/1 หมู่ 2 ซ.ไดร์ฟอิน 2 ถ. ลาดพร้าว บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240	02-731-0080	02-731-2574
59	บริษัท เดเวลลอปเม้น ออฟ เอนเวินเม้น เอเนอจี้ ฟาวเดชั่น จำกัด	12/9 อาคาร AV3A ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพ 10900	02-580-6242-3	02-580-5103
60	บริษัท เอนเวินเม้น คอนเซอเวทีฟ เซอร์วิส จำกัด	310/20 ชวนชื่น พัฒนาการ พัฒนาการ 57 ประเวศ กรุงเทพฯ 10250	02-722-3164-5 02-722-3443	02-722-0137
61	บริษัท เจนโก้ จำกัด	447 ถ.บอนด์สตรีท ต.บางพูด อ. ปากเกร็ด นนทบุรี 11120	02-502-0900	02-502-0999
62	บริษัท โปรเฟตชั่นแนล เวสท เทคโนโลยี (1999) จำกัด	159/33 อาคารเสริมมิตร ชั้น 19 ซ.สุขุมวิท 21 กรุงเทพฯ 10110	02-261-7000	02-261-3723
63	บริษัท พีเอสพี จำกัด	17/7 หมู่ 2 เพรชเกษม ต. อ้อมใหญ่ อ.สามพราน นครปฐม 73160	02-420-0477, 02-420-2370 02-420-2971	02-420-0477
64	บริษัท รีไฟน์ เทค จำกัด	47 หมู่ 7 ซ.สุขสวัสดิ์ 76 ถ.สุขสวัสดิ์	02-817-8568	02-817-8569 ต่อ 18
65	บริษัท แซน อี 68 คอนเซ้าติ้ง เอนจีเนี่ยร์ จำกัด	642/3-7 วงศ์สว่าง บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800	02-587-8486, 02-912-2715-8	02-587-8487
66	บริษัท ไทยสิหิง จำกัด	171 หมู่ 6 ต.ท่าทราย อ.เมือง สมุทรสาคร 74000	02-723-4455	02-723-4452

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
67	บริษัท เทรนด์อินเตอร์เทรด จำกัด	181 หมู่ 10 ถ.เพรชเกษม บางแค กรุงเทพฯ 10160	02-454-8040	02-801-5724
68	บริษัท เวสท์ เมเนจเม้น สยาม จำกัด	ชั้น 22 อาคาร UBC 2 591 ซ. สุขุมวิท 33 เขต วัฒนา กรุงเทพฯ 10110	02-261-0264-7	02-261-0269
69	บริษัท เวสท์ รีคัพเวอรี่ เมเนจเม้น จำกัด	47/89 หมู่ 5 ต.เทียนบ้าน อ.เมือง จ. สมุทรปราการ 10280	02-709-0651	02-709-5499
70	บริษัท เอส.ที.เอฟ.อี จำกัด	388 อาคาร S.P. ชั้น 17 ถ. พหลโยธิน สามเสนใน พญาไท	02-273-0037	02-273-0735
71	บริษัท ไทย เบิร์นเนอร์ อินดัสเทรียล ซัพพาย พาร์ทเนอร์ชิพ จำกัด	168 ซ. 8 ถ.สุขุมวิท คลองเตย กรุงเทพฯ 10110	02 253 8000	02 253 4414
72	บริษัท แสตนดาร์ตเคสเสล (ไทยแลนด์) จำกัด	168 ถ.สุขุมวิท ซ.8 กรุงเทพฯ 10110	02-251-1234, 02-254-9264-7	02-253-4414
73	บริษัท เอบีบี พาวเวอร์ ลิมิเต็ด จำกัด	322 หมู่ 4 บางปู อินดัสเทรียล พาร์ค ซ6 ถ.สุขุมวิท สมุทรปราการ 10280	02-324-0505, 02-709-3377	02-709-3387
74	บริษัท บี กริม พาวเวอร์ เอนจีเนียริ่ง จำกัด	33 ซ.เลิศนาวา ถ.กรุงเทพ กรีฑา หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพ 10240	02-3794333, 3794433 ต่อ 2103-2108	02-3794447, 3794450
75	บริษัท ไอทัล ไทย อินดัสเทรียล จำกัด	2013 อาคาร ไอทัล ทาวเวอร์ ถ. เพรชบุรีตัดใหม่ บางกะปิ ห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310	02-7180820	02-7180857
76	บริษัท ประเสริฐ อัลเลียด จำกัด	57/1 หมู่8 ถ.ทางรถไปเก่า สำโรง กลาง พระประแดง สมุทรปราการ	02-3940665, 3943782	02-3841755
77	บริษัท สยาม คอนโทรล ซิสเต็ม จำกัด	559 ตรอก วัดจันทน์ใน ถ.เจริญ ราษฎ์ บางโคล่ บางคอแหลม กรุงเทพฯ 10120	+66 2689 7922	+66 2689 7923
78	บริษัท โซเออร์ จำกัด	B.B House 99/10 หมู่5 บ้านคลอง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000	(+66) (0) 55 282 810	(+66) (0) 55 282 860

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
79	บริษัท ไทย อินเตอร์เทเลคอม จำกัด	236 ถ.บริพัตร บ้านบาท พร้อมลาภ กรุงเทพฯ 10100	02-2221361, 2221363, 2221699	02-2221363
80	บริษัท เค วาย อินเตอร์เทรด จำกัด	55/17-18 ถ.พญาไทย ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400	066 (0) 2653 6655	02-7543002, 02-657-0938
81	บริษัท สิโนไทย อินเตอร์เทรด จำกัด	อาคาร สิโน ไทย ชั้น 29-30 32/59-60 ถ.สุขุมวิท 21 วัฒนา กรุงเทพฯ 10110	02-260-1314	02-260-2788
82	บริษัท เอส เอม วี เมทัล เอนจีเนียริ่ง จำกัด	3094 หมู่ 15 ซสุขุมวิท 107 ถ. สุขุมวิท สำโรงเหนือ เมือง สมุทรปราการ สมุทรปราการ 10270	662-7498466	662-3613389
83	บริษัท ยูโร ไทย เอนจีเนียริ่ง จำกัด	79/7 ถ.ศรีนครินทร หนองบอน ประเวศน์ กรุงเทพฯ 10250	02-464-2018	66 (0) 2253 9549
84	บริษัท เค เอม บอล์เลอร์ อินดัสทรี จำกัด	98/6 ถ.สุขสวัสดิ์ พระประแดง สมุทรปราการ 10130	662-3660408	02-366-0410
85	บริษัท ฟอร์เบสท์ จำกัด	809/15 ถ.จันทน์ ทุ่งวัดดอน สาทร กรุงเทพฯ 10120	662-6730486	662-6730487
86	บริษัท อินดัสเทรียล ฮีท แอนด์ คอมบัสชั่น จำกัด	4/1 ซ.8 ถ.สุขุมวิท คลองเตย คลองเตย กรุงเทพฯ	02-253-800, 02-251-1234	02-252-1099
87	ห้างหุ้นส่วน กิตติ บอยเลอร์ แอนด์ เซอร์วิส	66/12 ซ เอกชัย 30 ถ เอกชัย เขต บางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150	02-41-52921	02-893-3126
88	ห้างหุ้นส่วนจำกัด กิตติ แมเทอเรียล	128/6 ถ สาธุประดิษฐ์ 6 แขวงวัดทุ่งดอน เขตสาธร กรุงเทพฯ 10120	662-2125500	
89	บริษัท พี แอนด์ คอนติเนนตัล เทรดดิ้ง จำกัด	620/61 ถ สาธุประดิษฐ์ แขวงบางโพงพาง เขตยานนาวา กรุงเทพฯ 10120	02-211-3666, 02-295-3616-7	02-673-1736
90	บริษัท ผดุงเจริญ จำกัด	2382 ถ เพชรบุรีตัดใหม่ แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310	662-3146321	662-3180376

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
91	บริษัท พีโอ กรุ๊ป จำกัด	52/83-84 ถ รามคำแหง แขวง หัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ	02-375-7605, 02-375-1744,	02-375-7753,02-375-
92	บริษัท ส. ไพศาล สตรีม บอยเลอร์ จำกัด	309/37 ถ พัฒนาการ เขตประเวศ กรุงเทพฯ 10250	662-7223004	662-3910231
93	หจก เอส ซี บอยเลอร์	166/13 หมู่ที่ 9 ซ 4 ถ สุขุมวิท ต ปากกาศา อ เมือง จ สมุทรปราการ 10280	02-323-2799	02-323-3071
94	บริษัท เอส เค ดับลิว สตีล โปรดักส์	44 หมู่ที่ 9 ซ เทพกาญจนา ต คลองมะเดื่อ อ กระทุ่มแบน จ สมุทรสาคร	02-225-9014-5, 02-225-7265	02-226-3674, 02-622-9887
95	บริษัท เอส ที โอ ที จำกัด	40 หมู่ที่ 10 ถ บางนาตราด เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260	02-393-7931-4	02-393-2820
96	บริษัท สไปแรกซ์ ซาร์โก้ (ประเทศไทย) จำกัด	อาคาร เจ วี เค ชั้น 9 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240	662-3793216	02-379-4656
97	บริษัท ฮันนี่เวลล์ ซิสเต็ม (ไทยแลนด์) จำกัด	252/121 อาคารเมืองไทยภัทร ชั้น 25 ถ รัชดาภิเษก เขตห้วยขวาง 10230	02-693-3099 #230	02-693-3085,02-693-3033
98	บริษัท เคนฟอร์ด แมชีนนารี่ จำกัด	3559/47 ถ พระราม 3 แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพฯ 10120	02-2913181	02-2911047
99	หจก พี ศรียนต์ จำกัด	729/201 ถ จรัลสนิทวงศ์ เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10210	2770398	02-4348672
100	บริษัท นำแสงจักรกล จำกัด	33/25 หมู่ที่ 7 ถ เพชรเกษม ต หนองค้างพลู อ หนองแขม กรุงเทพฯ 10160	02-4443928-9, 02-809-7020 (15 คู่สาย)	02-4215890, 4217770
101	บริษัทนำแสง เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	759 ถ พระราม 3 แขวงบางโพงพาง เขตยานนาวา กรุงเทพฯ 10120	02-2840965, 02-294-8946-55	02-2945584
102	บริษัท บีพี เจเนเรเตอร์ จำกัด	72/18 หมู่ที่ 4 อาคาร บีพี ซ วัดเทพนิมิต ถ โกสุมร่วมใจ เขตดอนเมือง กรุงเทพฯ	02-503-8420, 02-981-0192-4	02-5038421
103	บริษัท บี ที อิควิปเมนต์ จำกัด	111/7 ; ซ เอกมัย 5 ถ สุขุมวิท เขตคลองเตย กรุงเทพฯ	02-382-0364, 02-390-0049	02-3910317
104	หจก บางกอก เจเนเรเตอร์	4/29 หมู่ 14 ถ บางนา ตราด กม ที่ 10.5 อ บางพลี จ สมุทรปราการ	02-316-2179, 02-316-3674,	02-3163669
105	บริษัท บีม (ประเทศไทย) จำกัด	161/89 ถ สรรพาวุธ แขวงบางนา เขต พระโขนง กรุงเทพฯ	02-393-0050, 02-399-4701	02-3991848

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
106	บริษัท บุญธนาภัณฑ์ อิเล็กตริก จำกัด	179 ถ สี่พระยา เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500	02-2360054, 2362711-2, 2368726-9	02-2383008
107	บริษัท จำนัน เวลดิ้ง เจเนเรเตอร์ จำกัด	27558-9 ซ โชคดี ถ พระราม 4 เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110	02-2582883, 2590768, 6630378-9	02-2590768
108	บริษัท เจริญกรุง เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	83 หมู่บ้านนวธานี ซ 4 เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240	02-3761006, 3761285	02-3761877
109	บริษัท เจริญวัฒนา จำกัด	199 ม 2 ซ บุญมี ถ สุขาภิบาล 1 แขวงบางแค เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160	02-4132600, 8020685-7	897799
110	บริษัท เด็ตโก้ (ประเทศไทย) จำกัด	5 ม 13 ถ บางนา ตราด กม ที่ 7 ต.บางแก้ว อ.บางพลี จ. สมุทรปราการ 10280	02-3169735-40	02-3160507
111	บริษัท ไดมอนด์ บราเทอร์ จำกัด	23/1 ถ เพชรเกษม 36 เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160	02-4570058, 4570563, 4574932	02-4576664
112	บริษัทดวงโชค เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	37/156 ม 13 ซ โรงเรียนราชวินิต ถ บางนา ตราด กม ที่ 7.5 เขตบางพลี จ สมุทรปราการ 10540	02-3167463, 3169048	02-3167643
113	บริษัท จี อี ซี มาร์เก็ตติ้ง จำกัด	257/3-4 ซ สุขดี ถ พัฒนาการ แขวงคลองตัน เขตคลองเตย กรุงเทพฯ	02-3142656, 3143453, 3191579-82	02-3182088
114	บริษัท ไนกี้เทค (ประเทศไทย) จำกัด	662/53-54 5 จรัลสนิทวงศ์ เขตบางพลัด กรุงเทพฯ	02-4330070, 4333325-7	2608595
115	บริษัท พิลเลอร์ (ประเทศไทย) จำกัด	51/142 ม 7 ถ วิภาวดีรังสิต อ เมือง จ ปทุมธานี	02-5339216, 9977091	02-9977092

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
116	บริษัท พรีเมียร์ พาวเวอร์ จำกัด	17/3 ถ ประดิพัทธิ์ แขวงสามเสนใน เขต พญาไท กรุงเทพฯ	02-2794419, 2797747, 2799165	02-2799165
117	บริษัท เซฟการ์ด คอนโทรล ซิสเต็มส์ จำกัด	35 อาคาร ซี เอส ชั้น 1 ห้อง 102 ถ สุรศักดิ์ แขวงสีลม เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500	02-2359614-8, 2376751-3	02-2376750
118	บริษัท เซโก้ จำกัด	319/50-51 ถ วิภาวดี รังสิต เขต พญาไท กรุงเทพฯ 10400	02-2700801-2, 2701390-1, 2798397	02-2784440
119	บริษัท ที เค เค เอ็นจิเนียนิ่ง จำกัด	759 ถ พระราม 3 เขตยานนาวา กรุงเทพฯ 10120	02-2840965, 2841746, 2945031-2	02-2944673
120	บริษัท เทอม เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	11/71-72 ม 4 ถ ช่างอากาศอุทิศ แขวงทุ่งสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพฯ 10210	02-928-2215-6	02-928-2217
121	บริษัทไทย ไดนามิค (1991) จำกัด	98 ม 14 ถ ท้ายบ้าน อ เมือง จ สมุทรปราการ 10280	02-3870470, 3871261, 3892216-9	1172826
122	บริษัท ไทยเจนต์ จำกัด	99/37 ซ เทศบาลรังรักษ์เหนือ ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900	02-5800953, 5805100	02-5805100
123	บริษัท ไทยแม็กซ์เวลล์ อิเล็กตริก จำกัด	32/7 ซ วัดเทียนสด ถ เพชรเกษม อ สามพราน จ นครปฐม 73110	02-4290033	02-429-0014
124	บริษัท ไทย เส็ง ง่วน แมทชีนนารี่ จำกัด	64-70 ซ สุกร 1 ถ ตรีมิตร เขตสัมพันธวงศ์ กรุงเทพฯ 10100	02-2360092, 2369218-21	-79954
125	THAI SWITCHBOARD AND METAL WORK CO.,LTD.	117 ม 6 ถ สุขสวัสดิ์ 78 ต บางจาก อ พระประแดง จ สมุทรปราการ 10130	02-4632911, 4633815, 4639750	02-8175120

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
126	บริษัท ไทย เจเนเรเตอร์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	119/31 ม 8 อาคาร บางนาธานี ชั้น 15 ห้อง บี 1 ถ บางนาตราด กม ที่ 3 เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10200	02-3613854-8	2731682
127	บริษัทไทยรุ่งโรจน์ พิศาล จำกัด	21/587-589 ม 12 ถ บางนา ตราด กม ที่ 2 เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10200	02-3980159	02-3981864
128	ไทยยนต์ เอ็นจิเนียริ่ง	3706 ถ พระราม 4 แขวงคลองตัน เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110	02-2494816, 2495369, 2591315	960256
129	บริษัท ธนสิน อินดัสเตรียล จำกัด	71/27 ซ กล่อมฤดี ถ ชมทอง กรุงเทพฯ 10150	02-4600292, 4603241, 4763241	02-4761525
130	บริษัท ทาริกัน จำกัด	3435 ซ ลาดพร้าว 101 แขวงคลองจั่น เขต บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240	02-5101649, 5103990, 5195488	02-5193820
131	บริษัท เทรน อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	13 ถ กรุงธนบุรี 4 เขต คลองสาน กรุงเทพฯ10600	02-4380038-9, 4392866-9	02-4386238
132	บริษัท อู เจนต์ จำกัด	288/21 ถ สุรวงศ์ เขต บางรัก กรุงเทพฯ	02-2375387-8	02-2252737
133	บริษัท ซี อี อิ เนอร์จิ จำกัด	64/121 ม 5 ซ สวนผัก 35 แขวง ฉิมพลี เขต ตลิ่งชัน 10170	0-2884 4276-7	0-2884 2737
134	เดล อิเล็คตริก พาวเวอร์ ซิสเต็ม จำกัด	40/114-115 ซ พูนเจริญ ถ บางนาตราด แขวงบางพลี จ สมุทรปราการ 10540	02-3370003-8	02-3370009
135	บริษัท ดิทเฮมล์ จำกัด	1696 ถ เพชรบุรีตัดใหม่ แขวงบางกะปิ เขต ห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10320	02-2544900-12, 6529230-49	02-2535560, 2544913
136	บริษัท เมโทร แมทซีนนารี่ จำกัด	1760 ถ สุขุมวิท แขวงบางจาก กรุงเทพฯ10250	02-742-8000, 742-9000	02-742-8088

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ - จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
137	บริษัท มีน เซน แมทซีนนารี่ จำกัด	777 อาคาร เอส เอส เอ็ม ถ. มหาชัย แขวงวังบูรพา เขตพระนคร กรุงเทพฯ	02-2229201-5, 2257800-9	02-2252877
138	บริษัท เทอม เอนจิเนียริ่ง จำกัด	11/71-72 ม 4 แขวงทุ่งสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพฯ 10210	02-928-2215-6	02-928-2217
139	บริษัท ไทย สตรีม เวอร์วิส แอนด์ ซัพพลาย จำกัด	754/31-32 ซ สุขุมวิท 101 แขวงบางจาก กรุงเทฑน 10260	662-332-8246	662-3114840
140	บริษัท อินเตอร์เนชันแนล ออฟฟิค ออฟเทคนิคอล แอสซิส แตนท. (ประเทศไทย) จำกัด	555 อาคาร เอสเอส พีทาวเวอร์ 1 ชั้น 15 ซ สุขุมวิท 63 แขวงคลองตัน เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110	+66 2711 4570-3	+66 2711 4574
141	บริษัท อิเนอร์จิกา คอมพานี่	32/19 ม 18, ถ จรัลสนิทวงศ์ แขวงบางละมาด เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ10170	02-8655331	02-8655332
142	บริษัท เทคโทรนิค จำกัด	5/17 ถ สุขุมวิท ต. เนินผา อ เมือง จ.ระยอง 21150	038-967949	038-967950
143	บริษัท บริษัท ยูนิไทย กรุ๊ป จำกัด	301/55 ถ สุขุมวิท 71 แขวงคลองตัน เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110	02-7130375	02-7130377
144	บริษัท อิตัลไทย อินดัสเตรียล จำกัด	2013 ถ เพชรบุรีตัดใหม. แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310	02-3192039	02-7180852
145	บริษัท คิเนติค เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	2 ซอยประชาอุทิศ 56 ถ.ประชาอุทิศ แขวงทุ่งครุ เขตทุ่งครุ กรุรเทพฯ 10140	02-8735550-1	02-8735552

เอกสารอ้างอิง

- แค็ตตาล็อกเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน ข้อมูลเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนสำหรับการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ, โครงการการส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน-กระทรวงพลังงาน กระทรวงการต่างประเทศเดนมาร์ก- สำนักงานความช่วยเหลือระหว่างประเทศแห่งเดนมาร์ก (DANIDA)
- “แนวทางการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทน”, วารสารเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ ม.เชียงใหม่
- ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ “คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ” กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรกฎาคม 2546
- ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง “BIOGAS Energy from Biological Conversion of Organic Waste” สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กุมภาพันธ์ 2548
- ธีรพจน์ พุทธิกีฏกวีวงศ์ “พลังงานชีวมวล” คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2544
- http://www.dede.go.th/ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)
- http://www.pcd.go.th/index.cfm กรมควบคุมมลพิษ
- http://www.wwomc.com/index.php?lay=show&ac=webboardบริษัท เวสท์วอเตอร์ โอเปอเรชั่น แมเนจเม้นท์ จำกัด
- http://www.vcharkarn.com/วิชาการ.คอม

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัย สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน

คู่มือฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)
โทร 0-2223-0021-9 ต่อ 1251,1223,1302
0-2221-7969
โทรสาร 0-2223-8705