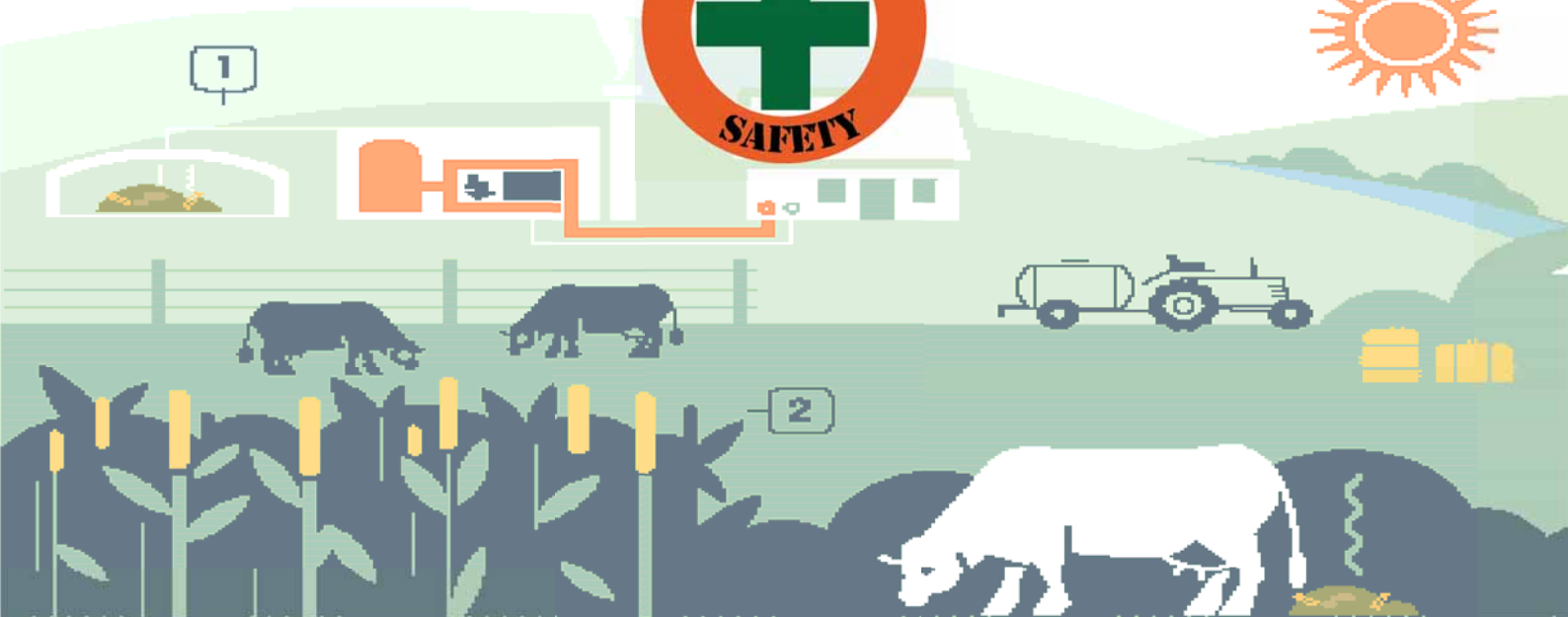




กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

คู่มือ

การปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัย
สำหรับฟาร์มปศุสัตว์



ISBN 978-974-9822-51-7

หนังสือในโครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ

สำนักวิจัย คำนวณพลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

หลักสูตรเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมและมูลสัตว์

ISBN 978-974-9822-51-7

ลิขสิทธิ์ของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

สงวนลิขสิทธิ์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1 : เดือน มิถุนายน 2553

จำนวน : 500 เล่ม

จัดพิมพ์โดย : สำนักวิจัย คำนวณพลังงาน 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 ฟาร์มปศุสัตว์และโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากหันมาให้ความสนใจ สร้างระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำพลังงานมาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งระบบผลิตก๊าซชีวภาพจำนวนมากถูกสร้างโดยไม่มีมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้งาน ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุเสียชีวิตและทรัพย์สินไปหลายฟาร์ม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ส่งเสริมและผลักดันให้มีการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพให้เป็นไปตามแผนพลังงานทดแทน 15 ปี มีความตระหนักและห่วงใยในปัญหาด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ จึงได้จัดทำคู่มือการปฏิบัติงานด้านการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัย เพื่อเป็นแหล่งความรู้ให้กับ กลุ่มวิศวกรผู้ออกแบบ ผู้ประกอบการ ผู้ปฏิบัติงานที่มีหน้าที่ควบคุมดูแลรักษาระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ ได้รับความรู้และเข้าใจถึงอันตราย ที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบผลิตและใช้ก๊าซ ซึ่งอาจจะเกิดการออกแบบที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ การรู้เท่าไม่ถึงการณ์ การเลือกใช้อุปกรณ์ที่ไม่ได้มาตรฐานถูกต้องกับประเภทชนิดและสถานที่ที่จะใช้หรือติดตั้งอุปกรณ์ชนิดนั้น คู่มือความปลอดภัยการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ จัดทำขึ้นจำนวน 2 เล่ม **เล่มที่ 1 คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน** **เล่มที่ 2 คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์** เพื่อแยกประเภทและระดับความเข้มงวดในการดูแลระบบ รวมไปถึงอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยของแต่ละประเภท

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือทั้ง 2 เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเจ้าหน้าที่หรือบุคลากรในแวดวงก๊าซชีวภาพ จะได้มีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน ใช้ก๊าซชีวภาพให้คุ้มค่ากับจุดประสงค์ที่ตั้งเป้าหมายไว้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อชาติทางตรงในการลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และในทางอ้อมยังช่วยปกป้องสิ่งแวดล้อม ลดภาวะโลกร้อนให้แก่โลกเพื่อคืนโลกสวยๆ ให้นุชนรุ่นต่อไปได้อยู่อาศัยอย่างมีความสุข

กลุ่มงานก๊าซชีวภาพ

มิถุนายน 2553

สารบัญ

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์

หน้า

บทนำ

คำย่อและสัญลักษณ์

นิยามและคำจำกัดความที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 1	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ	1-1
	1.1 เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ	1-11
	1.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในฟาร์มปศุสัตว์	1-17
บทที่ 2	การเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์	2-1
	2.1 การออกแบบเพื่อความเหมาะสม	2-1
	2.2 การเปรียบเทียบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	2-2
บทที่ 3	การออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อความปลอดภัย	3-1
	3.1 ส่วนผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับฟาร์มปศุสัตว์	3-1
	3.2 ส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ	3-12
	3.3 ส่วนการนำก๊าซไปใช้ประโยชน์	3-21
	3.4 ส่วนของระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพและกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S)	3-28
บทที่ 4	การกำหนดพื้นที่และบริเวณอันตรายในการติดตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพและอุปกรณ์ประกอบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	4-1
	4.1 การจำแนกบริเวณอันตราย	4-1
	4.2 ระยะห่างบริเวณอันตรายของระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ	4-1
	4.3 ระบบไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ ที่ใช้ในบริเวณอันตรายในระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ	4-2
บทที่ 5	การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียสำหรับฟาร์มปศุสัตว์	5-1
	5.1 แนวทางปฏิบัติในการเดินระบบ	5-2
	5.2 การดูแลรักษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบต่างๆ	5-7
	5.3 การบำรุงรักษาเพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากระบบก๊าซชีวภาพ	5-22

สารบัญ(ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์

หน้า

บทที่ 6	รายละเอียดระยะเวลาและความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษา	6-1
6.1	การตรวจสอบรายวัน	6-1
6.2	การตรวจสอบรายเดือน	6-6
6.3	การตรวจสอบรายปี	6-6
6.4	การตรวจสอบอุปกรณ์	6-8
ภาคผนวก ก. การปฐมพยาบาลเบื้องต้น		
ภาคผนวก ข. กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับฟาร์มปศุสัตว์		
ภาคผนวก ค. รายชื่อหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับก๊าซชีวภาพ ที่ปรึกษาที่ออกแบบระบบก๊าซชีวภาพและตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์		

สารบัญตาราง

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์

		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 mesophilic and thermophilic 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	ค่าความร้อนของก๊าซชนิดต่าง ๆ (กิโลแคลอรี/ม ³)	1-11
ตารางที่ 1-8	ความหนาแน่นของก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 0 °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 2-1	การเปรียบเทียบเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพที่มีใช้งานในฟาร์มสุกรขนาดกลาง	2-3
ตารางที่ 3-1	ช่วงห่างตัวรองรับท่อที่เหมาะสม	3-13
ตารางที่ 3-2	แสดงการกำหนดสีของท่อในระบบบำบัดน้ำเสีย	3-15
ตารางที่ 3-3	สรุปข้อดี-ข้อด้อยของท่อแต่ละแบบ	3-16
ตารางที่ 3-4	เปรียบเทียบวาล์วชนิดต่าง ๆ	3-17
ตารางที่ 4-1	ระยะห่างของบริเวณอันตราย	4-1
ตารางที่ 5-1	ปริมาณเติมมูลเมื่อเริ่มต้นระบบ	5-8
ตารางที่ 5-2	ปริมาณเติมมูลประจำวัน	5-8
ตารางที่ 6-1	รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพ	6-2

สารบัญรูป

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์

	หน้า
รูปที่ 1-1	ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ
รูปที่ 1-2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการหมัก
รูปที่ 1-3	กระบวนการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ
รูปที่ 1-4	บ่อโดมคงที่ (Fixed Dome)
รูปที่ 1-5	บ่อหมักแบบรางและบ่อหมักเร็วน้ำใส (Channel Digester+UASB) (CDUA)
รูปที่ 1-6	บ่อหมักเร็วน้ำขุ่น (H-UASB)
รูปที่ 1-7	บ่อ Modified Covered Lagoon
รูปที่ 1-8	ระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำเร็จรูปแบบ พพ.1
รูปที่ 1-9	ระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำเร็จรูปแบบ พพ.2
รูปที่ 1-10	ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถุง PVC
รูปที่ 3-1	การติดตั้งสายล่อฟ้าในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
รูปที่ 3-2	การต่อสายดินในโครงการอาคาร
รูปที่ 3-3	การต่อฝากเพื่อทำให้ศักย์ไฟฟ้าของพื้นผิวต่างๆมีค่าเท่ากัน
รูปที่ 3-4	การต่อฝากระหว่างภาชนะบรรจุสารไวไฟ
รูปที่ 3-5	ลักษณะของมอเตอร์ป้องกันการระเบิด
รูปที่ 3-6	อุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ
รูปที่ 3-7	หลอดไฟแสงสว่าง
รูปที่ 3-8	การเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตรายอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องเป็นชนิดทนระเบิด
รูปที่ 3-9	โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นบ่อก่ออิฐฉาบปูน
รูปที่ 3-10	โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นถังเหล็ก
รูปที่ 3-11	บ่อ Fixed Dome ที่มีการออกแบบให้มีระบบควบคุมแรงดันภายในบ่อหมัก
รูปที่ 3-12	โครงสร้างบ่อเก็บก๊าซชีวภาพที่เป็นวัสดุ PVC และ Membrane
รูปที่ 3-13	อุปกรณ์ชุดควบคุมแรงดัน
รูปที่ 3-14	ถังป้องกันการความดันสูงหรือต่ำของบ่อก๊าซ (Water Seal Tank)
รูปที่ 3-15	สวิตช์ป้องกันการความดันสูงหรือต่ำเกินกำหนด (Pressure & Vacuum Switch)
รูปที่ 3-16	ตัวส่งสัญญาณแรงดันก๊าซ (Pressure Transmitter)
รูปที่ 3-17	ตัวควบคุมแรงดันก๊าซ (Pressure Controller)
รูปที่ 3-18	ท่อ PVC
รูปที่ 3-19	ท่อ Stainless

สารบัญรูป (ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์

	หน้า
รูปที่ 3-20 ท่อ HDPE	3-13
รูปที่ 3-21 Manual Condensate Drain แบบ Tee และ แบบ U-Pipe	3-15
รูปที่ 3-22 การดักน้ำออกแบบ ctive condensate Siphon Condensate Drain	3-16
รูปที่ 3-23 ระบบระบายน้ำแบบ Active condensate	3-16
รูปที่ 3-24 วาล์วป้องกันความดันสูงเกินกำหนด (Pressure Relief Valve)	3-18
รูปที่ 3-25 Blower	3-18
รูปที่ 3-26 กักดักระบายคอนเดนเสทและสิ่งปนเปื้อน (Condensate and Sediment Traps)	3-19
รูปที่ 3-27 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap – Manual	3-19
รูปที่ 3-28 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap – Automatic	3-19
รูปที่ 3-29 ระบบกรองก๊าซชีวภาพ (Gas Purifiers)	3-20
รูปที่ 3-30 ชุดฟอกก๊าซชีวภาพต่าง ๆ	3-20
รูปที่ 3-31 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในรูปของความร้อนโดยตรง	3-21
รูปที่ 3-32 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบเชื้อเพลิงคู่	3-22
รูปที่ 3-33 เครื่องยนต์เบนซินดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพได้ 100 % ต่อร่วมกับ Synchronous/Induction Generator เพื่อผลิตไฟฟ้า	3-22
รูปที่ 3-34 เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพแทนได้ทั้งหมดต่อร่วมกับ Synchronous/Induction Generator เพื่อผลิตไฟฟ้า	3-23
รูปที่ 3-35 เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโดยเฉพาะ (เครื่องยนต์นำเข้า) โดยต่อร่วมกับ Synchronous Generator ในการผลิตไฟฟ้า	3-23
รูปที่ 3-36 กราฟแสดงผลการทดสอบความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพของเครื่องขนาด 128 kW.	3-24
รูปที่ 3-37 ปล่องเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง (Flare)	3-25
รูปที่ 3-38 การติดตั้งถังดับเพลิงใกล้กับถังเก็บก๊าซชีวภาพ	3-26
รูปที่ 3-39 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ	3-27
รูปที่ 3-40 เครื่องวัดการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ	3-27
รูปที่ 3-41 การกำจัด H ₂ S โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีในการกำจัดและปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ด้วยวัสดุเหล็ก (Ferrous)	3-28
รูปที่ 3-42 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารละลายเหล็ก	3-29
รูปที่ 3-43 กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธี Pressure swing adsorption	3-29

สารบัญรูป (ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์

	หน้า
รูปที่ 3-44 ผังกระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยน้ำภายใต้ความดันสูง (High pressure water scrubbing)	3-30
รูปที่ 3-45 กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยสาร "Selexol" ภายใต้ความดันสูง	3-30
รูปที่ 3-46 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบต่อเนื่องด้วยปฏิกรณ์ชนิด Bio-Filter	3-31
รูปที่ 5-1 ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศในฟาร์มปศุสัตว์	5-1
รูปที่ 5-2 การไหลของน้ำเสียที่มีอัตราการไหลสูงเกินไปจนน้ำเสียไหลล้นเวียร์	5-3
รูปที่ 5-3 การไหลของน้ำเสียที่มีอัตราการไหลเหมาะสมกับระบบน้ำจะไม่ล้นเวียร์	5-3
รูปที่ 5-4 วาล์วที่บริเวณบ่อดักกาก ที่ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของน้ำส่วนใสจากบ่อหมักรางซึ่ง วาล์ว ทั้ง 2 ตัว ต้องปรับให้เท่ากัน	5-3
รูปที่ 5-5 ระดับน้ำที่มีการปรับวาล์วพอดี	5-4
รูปที่ 5-6 ระดับน้ำที่สูงเกินไป	5-4
รูปที่ 5-7 ระดับน้ำที่ต่ำกว่าปกติ	5-4
รูปที่ 5-8 น้ำส่วนใสที่ออกจากบ่อหมักราง	5-4
รูปที่ 5-9 การใส่ seed ลงในบ่อ UASB	5-5
รูปที่ 5-10 การปรับวาล์วที่หมุนเวียนตะกอนจากบ่อหมักรางมายังบ่อรวมน้ำเสียให้มีปริมาณ 10% ของ ปริมาตรของน้ำเข้าระบบ	5-5
รูปที่ 5-11 การปรับระดับน้ำออกตรงบ่อ UASB	5-5
รูปที่ 5-12 อัตราการไหลมีมากเกินไป จะทำให้น้ำท่วมบริเวณท่อและเวียร์น้ำออก ซึ่งจะทำให้บ่อ UASB ทำงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ	5-5
รูปที่ 5-13 การเทมูลลงบ่อเดิม	5-7
รูปที่ 5-14 การดูแลรักษาคอกและรางระบาย	5-9
รูปที่ 5-15 การกวนบ่อเดิม เปิดลิ้นชักและปิดให้เรียบร้อย	5-9
รูปที่ 5-16 การทำความสะอาดบ่อเดิม และการใช้ไม้กระทุ้งท่อเดิม	5-10
รูปที่ 5-17 หมั่นเติมน้ำบนฝาบ่อ และปิดทุกครั้ง	5-10
รูปที่ 5-18 การดึงลิ้นชักดักกาก และปิดให้สนิทดังเดิม	5-11
รูปที่ 5-19 การทำความสะอาดปากบ่อล้น ทะลวงท่อ และปิดปากบ่อล้นให้เรียบร้อย	5-12
รูปที่ 5-20 การดักกากจากบ่อล้นที่มีมากเกินไปนำไปใช้ในส่วนอื่น	5-12
รูปที่ 5-21 การวางแนวท่อก๊าซที่ไม่ดีและที่ดี	5-13
รูปที่ 5-22 การดูแลรักษาแผงวัด	5-13

สารบัญรูป (ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์

	หน้า
รูปที่ 5-23	วางรวมรวมน้ำเสีย
รูปที่ 5-24	บ่อรวมน้ำเสีย
รูปที่ 5-25	บ่อดักทราย
รูปที่ 5-26	บ่อหมักกราง
รูปที่ 5-27	บ่อหมัก UASB
รูปที่ 5-28	บ่อดึงกาก
รูปที่ 5-29	ลานตากตะกอน
รูปที่ 5-30	ระบบบำบัดชั้นหลัง
รูปที่ 5-31	ชุดดักและกรองสิ่งแปลกปลอมที่มากับก๊าซชีวภาพและดักน้ำก่อนส่งก๊าซไปใช้งาน
รูปที่ 5-32	Buffer tank
รูปที่ 5-33	บ่อหมัก H-UASB
รูปที่ 5-34	แสดงบ่อรวมน้ำเสียที่ยังไม่ได้เดินระบบ
รูปที่ 5-35	แสดงบ่อรวมน้ำเสียที่เดินระบบแล้ว
รูปที่ 5-36	บ่อดักทรายที่มีทางเดินโดยรอบและมีบันไดขึ้นลงอย่างสะดวก
รูปที่ 5-37	บ่อหมักกรางเมื่อมีการลงไปบำรุงรักษา (ดักตะกอนส่วนเกินออก)
รูปที่ 5-38	ชุดควบคุมแรงดันบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ
รูปที่ 5-39	การเชื่อมพลาสติกในกรณีที่เกิดการรั่ว
รูปที่ 5-40	หัวกลูกลูกสุกที่ดัดแปลงให้ใช้กับก๊าซชีวภาพแล้ว
รูปที่ 5-41	เครื่องยนต์ขับเคลื่อนที่ไม่มีครอบป้องกัน
รูปที่ 5-42	เครื่องยนต์ดัดแปลงภายในประเทศ
รูปที่ 5-43	เครื่องปั่นไฟที่นำเข้าจากต่างประเทศ
รูปที่ 5-44	ตู้ควบคุม
รูปที่ 5-45	ภายในตู้ควบคุมชุดผลิตพลังงานไฟฟ้า
รูปที่ 5-46	ชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องยนต์ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง
รูปที่ 5-47	การติดตั้งเครื่องยนต์เชื้อเพลิงคู่
รูปที่ 5-48	ชุดไซโคลนดักน้ำก่อนเข้าไปในอุปกรณ์ใช้งาน
รูปที่ 5-49	จุดระบายน้ำที่ควมแน่นในเส้นออกจากท่อส่งก๊าซ
รูปที่ 5-50	แผนผังการทำงานของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
รูปที่ 5-51	ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

สารบัญรูป (ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์

	หน้า
รูปที่ 5-52	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Burner
รูปที่ 5-53	การติดตั้ง Pressure Release Valve
รูปที่ 5-54	Gas Flare
รูปที่ 5-55	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Biogas Flare แบบเปิด
รูปที่ 5-56	Pressure Switch และรูปแบบการติดตั้ง
รูปที่ 5-57	ลักษณะของ Pressure Regulator
รูปที่ 5-58	เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซแบบ Thermal Mass Flow Meter และแบบวัดปริมาตรของ ก๊าซที่ไหลผ่าน

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
ก.	กรัม
กก.	กิโลกรัม
กก.-ซีไอดี/ม ³ . -วัน	กิโลกรัมในรูปของซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
กก./ม ³	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
กก./ม ³ . - วัน	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
กก.-VSS/ม ³ . -วัน	กิโลกรัมในรูปของของแข็งแขวนลอยระเหยต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ชม.	ชั่วโมง
ชม.	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 (ซีไอดี)
CO ₂	Carbondioxide Gas (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์)
FCOD	Flitted Chemical Oxygen Demand (ซีไอดีผ่านการกรอง)
F/M	อัตราส่วนระหว่างอาหารต่อชีวมวล
CH ₃ COOH	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	เจตาห์ลไนโตรเจน
TS	Total Solid (ของแข็งทั้งหมด)
VFA	Volatile Fatty Acid (กรดระเหยง่าย)
VSS	Volatile Suspended Solid (ของแข็งแขวนลอยระเหย)

นิยามและคำจำกัดความด้านสิ่งแวดล้อม

กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty acids: VFAs)

เป็นผลผลิตจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยไม่ใช้ออกซิเจนโดยเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการสร้างกรดไขมันระเหยง่ายจะอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์มวลโมเลกุลต่ำ 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)

กลิ่นของน้ำเสียส่วนมากเกิดจากก๊าซที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่วนใหญ่ได้แก่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ โดยเชื้อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในการหายใจ ภายใต้สภาพไร้อากาศ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นก๊าซผสม โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้งนี้องค์ประกอบส่วนใหญ่ได้แก่ ก๊าซมีเทนประมาณ 60-80 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20-40 % จึงทำให้ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติที่สามารถจะนำไปเป็นเชื้อเพลิง

ขนาดระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่อยู่ในเกณฑ์

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพตั้ง 5,000 ลบ.ม./วัน จะอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปฏิบัติตามคู่มือกำหนดความปลอดภัยของการออกแบบระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพนี้

ของแข็ง (Solids)

สารทุกอย่างที่อยู่ในของเหลวยกเว้นน้ำ

ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS)

ส่วนของของแข็งที่เหลืค้ำอยู่บนกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐานหลังจากกรองน้ำตัวอย่างและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C

ของแข็งคงตัว (Fixed Solids: FS)

ของแข็งหรือเถ้า ส่วนที่เหลืค้ำบนกระดาษกรองหลังจากการหาของแข็งระเหยง่าย

ของแข็งจมได้ (Settable Solids)

ของแข็งที่จมตัวอยู่ก้นภาชนะเมื่อตั้งทิ้งไว้ ภายในระยะเวลา 1 ชม. มีหน่วยเป็น มล. /ล.

ของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS)

สิ่งที่เหลือในภาชนะอยู่ภายหลังจากทำการระเหยน้ำออกจนหมด และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 -105 °ซ

ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids: VS)

ของแข็งส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ วัดโดยการนำกระดาศกรองที่ทำการวิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอยเสร็จแล้วนำไปเผาที่ 550 °ซ น้ำหนักของของแข็งที่หายไปคือปริมาณของแข็งระเหยง่าย

ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS)

ของแข็งที่สามารถลอดผ่านกระดาศกรองใยแก้วมาตรฐาน 0.45 ไมครอนและเหลืออยู่หลังจากทำการระเหยไอน้ำจนแห้งและอบที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ

ความเป็นด่าง (Alkalinity: Alk)

หมายถึงความสามารถของน้ำนั้นในการรับโปรตอนหรือความสามารถในการสะเทินกรด เกิดจากองค์ประกอบของไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ ที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังนั้นค่าความเป็นด่างจึงมีความสัมพันธ์ต่อพีเอช (pH) ของน้ำเสีย โดยสามารถวัดได้ทั้งในรูปของ มก./ล. หินปูน (mg./l as CaCO₃) หรือในรูปของมวลสมมูลย์ (milli-equivalence : meq)

ความเร็วน้ำไหลขึ้น (Upflow Liquid Velocity: ULV)

เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมการทำงานถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น โดยจะหมายถึงปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านหน้าตัดของถังปฏิกรณ์

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

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

เจลดาร์ลไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN)

เป็นปริมาณของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนและไนโตรเจน ในรูปของสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำทั้งในรูปของของแข็งและสารละลาย

ซี โอ ดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำ ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยใช้หลักการที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทุกชนิด สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยสารเคมีที่เป็น Strong Oxidizing Agent ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด สารออกซิไดซ์ซึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีได้แก่ โพแทสเซียมไดโครเมต (K₂Cr₂O₇) ซึ่งค่าซีโอดีจะมีค่ามากกว่าบีโอดีเสมอ

ดัชนีวัดปริมาณตะกอน (Sludge Volume Index: SVI)

ปริมาตรตะกอนต่อน้ำหนักของตะกอนซึ่งตกตะกอนได้ในเวลา 30 นาที ซึ่งคำนวณได้ตามสมการ

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

เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยีในการหมักย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เช่น การหมักมูลสัตว์ เศษพืชผัก อุจจาระ สิ่งปฏิกูลที่ย่อยสลายได้และน้ำเสีย โดยการหมักจะเป็นการหมักในถังปิดภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจนโดยใช้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย และก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานต่อไป

น้ำเสีย

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

บี โอ ดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

ปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นค่าที่บ่งบอกถึง ผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยทั่วไปจะวัดในรูปของ BOD₅ ซึ่งหมายถึงปริมาณ ของ ออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 °ซ

ประเภทของน้ำเสีย

น้ำเสียแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากภาคการเกษตร และน้ำเสียจาก ภาคอุตสาหกรรม

ปริมาณตะกอน (Sludge Volume: SV t)

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

พีเอช (pH) ไม่มีหน่วย

เป็นค่าแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจน (H⁺) ในน้ำแสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำ โดยจะวัด ในรูป -log (H⁺) ซึ่งค่าพีเอชจะมีค่าอยู่ในช่วง 0-14 โดยน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะมีพีเอชต่ำกว่า 7 ส่วนน้ำที่มี คุณสมบัติเป็นด่างจะมีพีเอชมากกว่า 7

เวลาเก็บกักตะกอน (Solid Retention Time, SRT)

ระยะเวลาที่ตะกอนอยู่ภายในระบบ โดยในกรณีของถังปฏิกรณ์แบบการกวนสมบูรณ์เวลาเก็บกักตะกอนจะเท่ากับเวลาเก็บกักน้ำ ส่วนในระบบอื่นๆ สามารถหาเวลาเก็บกักตะกอนได้จาก

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

โดยปริมาณตะกอนภายในถังหาได้จากผลคูณระหว่างปริมาตรถังและความเข้มข้นของตะกอนในถัง ในขณะที่ตะกอนที่สูญเสียจากระบบจะเกิดขึ้นจากปริมาณตะกอนหลุดไปพร้อมกับน้ำออกและการดูดตะกอนส่วนเกินทิ้งจาก ถังปฏิกรณ์

เวลาเก็บกักน้ำ (Hydraulic Retention Time, HRT)

ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ภายในถังปฏิกรณ์หรืออยู่ในระบบ มีค่าเท่ากับ

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

เมื่อ HRT = เวลาเก็บกักน้ำ (วัน)
 V = ปริมาตรถัง (ม³)
 Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย (ม³/วัน)

ส่วนนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

บริเวณที่มีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานความร้อนโดยตรง เช่น หม้อต้มไอน้ำ ใช้ในรูปพลังงานกล/ไฟฟ้า เช่น เครื่องต้นกำลังขับเคลื่อนโรงเรือนสุกร หรือผลิตกระแสไฟฟ้า

ส่วนผลิตก๊าซชีวภาพ

บริเวณถังหมักน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงระบบเก็บก๊าซชีวภาพ เพื่อบรรจุไปใช้ประโยชน์

ส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

บริเวณท่อส่งก๊าซจากบ่อเก็บก๊าซชีวภาพไปยังส่วนนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ บ่อฟอกก๊าซชีวภาพ อาคารส่งจ่ายก๊าซโดยโบว์เวอร์ส่งจ่ายก๊าซเพื่อเพิ่มแรงดันก๊าซและอัตราการไหลให้เหมาะสมกับการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Generation Rate)

ปริมาตรของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้รวมจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยคิดจากการประมาณการของผู้ออกแบบระบบเป็นผู้ออกงานตัวเลขอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 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	=	อัตราการไหลของน้ำเสีย (ม. ³ /วัน)
	L	=	ความยาวสันเวียร์ (ม.)

อัตราน้ำไหลล้นผิว (Surface Overflow Rate: SOR)

เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมการทำงานสำหรับถังตกตะกอน หมายถึงปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านหน้าตัดของถังปฏิกรณ์

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

เมื่อ	SOR	=	อัตราน้ำไหลล้นผิว (ม. ³ /ม. ² -วัน)
	Q	=	อัตราการไหลของน้ำเสีย (ม. ³ /วัน)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของถังปฏิกรณ์ (ม. ²)

ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าความเร็วน้ำไหลขึ้นและอัตราน้ำไหลล้นผิวจะมีสูตรที่เหมือนกัน แต่ทั้งสองค่าจะใช้ในจุดที่ต่างกัน โดยความเร็วน้ำไหลขึ้นจะใช้สำหรับการไหลภายในถังปฏิกรณ์แบบไม่ใช้อากาศที่มีระบบการจ่ายน้ำเสียแบบไหลขึ้น ในขณะที่อัตราน้ำไหลล้นผิวมักใช้ในถังตกตะกอนเพื่อตรวจสอบความเร็วในการไหลของน้ำ ณ ผิวหน้าของถังตกตะกอน

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR)

ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบต่อปริมาตรถังในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งโดยทั่วไปนิยมวัดในรูปของอัตราภาระบรรทุกชีโอดี (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	=	ชีโอดีของน้ำเสีย (กก./ล.)
	V	=	ปริมาตรถัง (ม. ³)

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

เป็นอัตราส่วนระหว่างสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบกับปริมาณของแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังปฏิกิริยาซึ่งหาได้

จาก

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

เมื่อ	F/M	=	อัตราส่วนของอาหารกับแบคทีเรีย
	Q	=	อัตราการไหลของน้ำเสีย (ม. ³ /วัน)
	COD	=	ซีโอดีของน้ำเสีย (มก./ล.)
	V	=	ปริมาตรถัง (ม. ³)
	MLSS	=	ความเข้มข้นเฉลี่ยของแบคทีเรียในถัง (มก./ล.)

บทที่ 1

เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นโดยแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) โดยมีแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methanogens) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ (ก๊าซมีเทน) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญ โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านกระบวนการบำบัด หรือการทำให้ก๊าซที่ได้มีความสะอาดและปลอดภัยมากขึ้น โดยการกำจัดความชื้นรวมถึงก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยส่วนใหญ่ก๊าซที่ได้หลังผ่านการบำบัดแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการผลิตพลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ในส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถที่จะเชื่อมต่อกับระบบสายส่งสาธารณะเพื่อขายให้แก่รัฐ หรือนำไปใช้โดยตรงตามที่เจ้าของโครงการต้องการ และสำหรับพลังงานความร้อนก็สามารถนำไปใช้โดยตรงได้ เช่น การนำไปเผาไหม้ในเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) และเรายังสามารถดัดแปลงเพื่อใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อความเหมาะสมสำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มปศุสัตว์ จะถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงร่วมเพื่อขับเครื่องยนต์หมุนพัดลมท่ายแล้ว หากเป็นฟาร์มปศุสัตว์ขนาดใหญ่จะนำไปขับเครื่องยนต์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในกิจกรรมของฟาร์ม เช่น ขับพัดลมในระบบ Evaporation สูดน้ำหรือผสมอาหาร

กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

กระบวนการผลิตและปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในการย่อยสลายแบบสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition) จะค่อนข้างซับซ้อนและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหลายขั้นตอนใช้แบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ

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

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

ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นได้โดยขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ จนเกิดเป็นก๊าซชีวภาพนั้น สารอินทรีย์ที่ใช้ในการสร้างก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ขยะมูลฝอยหรือสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเน่าเปื่อยได้ รวมทั้ง

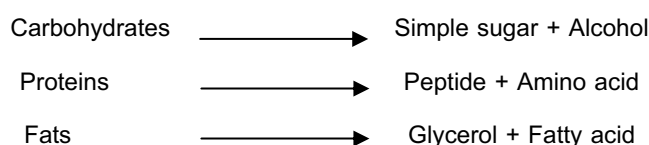
มูลสัตว์ที่ประกอบด้วยเศษอาหารที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้ และถูกขับออกจากร่างกายสัตว์ ซึ่งประกอบด้วย สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างก๊าซชีวภาพ คือ เซลลูโลส (Cellulose) โปรตีน (Protein) ลิกนิน (Lignin) แป้งและน้ำตาล (Tannin) ไขมัน (Fat) กรดนิวคลีอิก (Nucleic acid) แอลกอฮอล์ (Alcohol) ตัวการสร้างก๊าซชีวภาพ ได้แก่ จุลินทรีย์ บางกลุ่มจะย่อยสลายมูลสัตว์ หรือของเสียจนมีอนุภาคเล็กและได้สารที่จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic Bacteria) และนำไปสร้างก๊าซมีเทนในที่สุด โดยมีการแบ่งออกได้ 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 Liquefaction stage

เป็นขั้นตอนซึ่งผลผลิตสุดท้ายได้ของเหลวซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนที่สอง สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ๆ จะ ถูกย่อยสลายแล้วอยู่ในรูปของสารละลายที่แตกตัวเป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็กๆ โดยแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า Acid Formers โดยขั้นตอนที่หนึ่งยังแบ่งออกได้เป็น

1.1) ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis stage)

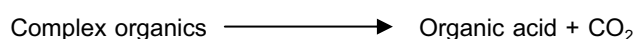
ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน โดย กลุ่มของแบคทีเรียให้เป็นโมเลกุลเล็กละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กรีเซอรอล เป็นต้น โดยแบคทีเรียจะดูด ซึมน้ำจากสารละลายผ่าน Membrane ของเซลล์ ส่วนอนุภาคของสารอาหารจะถูกย่อยด้วย Extra cellular enzyme ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเป็นพวก Simple soluble compound แล้วถูกดูดซึมเข้าสู่ เนื้อเยื่อในเซลล์ต่อไป ในขณะที่เดียวกันผลจากปฏิกิริยาการย่อยสลายนี้ก็จะเกิดก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งแอลกอฮอล์ จากนั้นปฏิกิริยานี้จึงทำให้สภาพในบ่อหมักมีความเป็นกรด (ค่า pH ต่ำ) และแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพความเป็นกรดจะทำหน้าที่ต่อไป



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

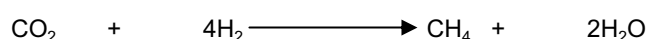
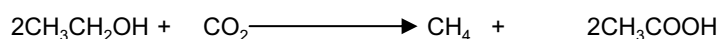
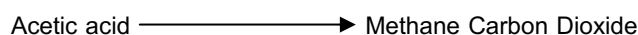
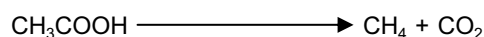
1.2) ขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic stage)

การสร้างกรดอะซิติกจากกรดอินทรีย์ต่างๆ โดยแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก โดยนำเอา Simple soluble compound จากขั้นตอน Hydrolysis หรือจากวัตถุดิบโดยตรงมาสลายต่อไปได้ ในขณะเดียวกันผลจาก ปฏิกิริยานี้ก็จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปนอยู่ในก๊าซชีวภาพ



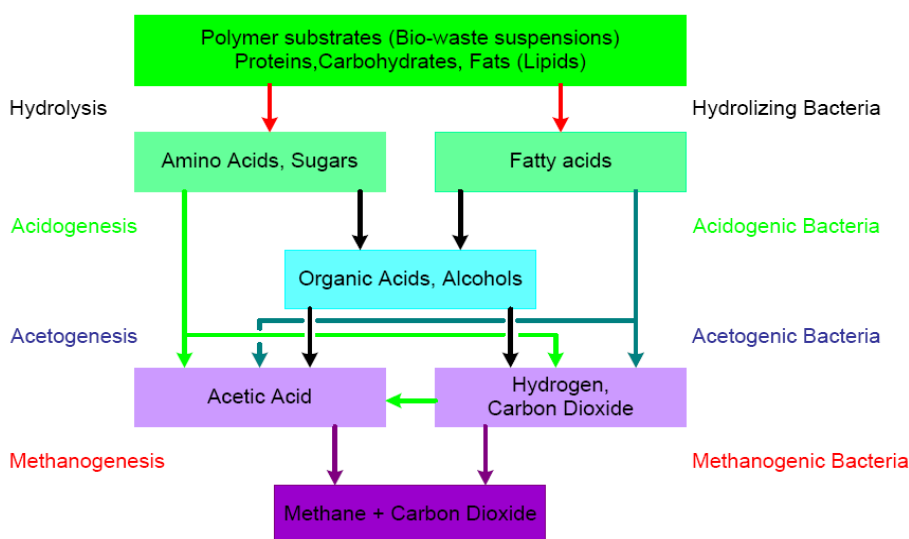
ขั้นตอนที่ 2 Gasification stage หรือ การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic stage)

ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียชนิดที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing หรือ Methanogenic micro organism) ซึ่งมีหลายชนิดและเป็นแบคทีเรียที่ต้องอยู่ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ถ้ามีออกซิเจนเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้แบคทีเรียพวกนี้หยุดการเจริญเติบโต ก๊าซมีเทนอาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอินทรีย์ (ส่วนใหญ่เป็นการดองพืชผัก) กับน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจน



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

น้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดแบบแอนแอโรบิกเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพควรมีค่า COD มากกว่า 1,500 mg/L และอุณหภูมิสูง (25-35 °C) ถ้าน้ำเสียมีค่า COD ต่ำกว่า 1,500 mg/L การเลือกใช้ระบบที่ใช้กากชีจะมีความเหมาะสมมากกว่า (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 แสงสิ่ง, 2548

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

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

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

สภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การที่จะทำให้แบคทีเรียผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีนั้น จะต้องสร้างสภาพแวดล้อมภายในระบบให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เนื่องจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นผลจากการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกัน อีกทั้งแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนมีการเจริญเติบโตช้าและมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีภายในระบบเป็นอย่างมาก เพราะถ้าหากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมจะทำให้แบคทีเรียผลิตก๊าซลดลง นอกจากนั้นชนิดของระบบไร้อากาศที่ใช้ก็มีผลอย่างมากต่อคุณภาพของก๊าซชีวภาพ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพนั้นประกอบด้วยหลายปัจจัย ได้แก่

1. สารอาหาร

สารอาหารในน้ำเสียเกี่ยวพันโดยตรงกับชนิดของกลุ่มแบคทีเรียในระบบ และประสิทธิภาพในการย่อยสลาย สารอาหารที่ต่างชนิดมีอัตราในการย่อยสลายที่ต่างกับสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต จะย่อยสลายได้เร็วกว่าโปรตีนและไขมัน

ในเซลล์แบคทีเรียจะประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอนไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ออกซิเจน และซัลเฟอร์ แบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนจะสร้างเซลล์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากได้จะต้องมีธาตุไนโตรเจนต่อคาร์บอน (N/C) ในสารอาหารประมาณ 0.0620 และธาตุฟอสฟอรัสเท่า 1 ใน 7 ของปริมาณธาตุไนโตรเจนที่ประกอบในเซลล์

ดังนั้นน้ำเสียควรมีอาหารเสริมเพียงพอแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดย ไปต้องการธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตราส่วน 11 ต่อ 2 ดังนั้น หากแบคทีเรียที่เกิดประมาณ 0.1 ต่อ BOD ที่ย่อยสลายอัตราส่วน BOD:N:P เท่ากับ 100:1.1:0.2 ซึ่งจะต่ำกว่าอัตราการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100:5:1

2. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เดินระบบแอนแอโรบิกมี 2 ช่วง ได้แก่ ช่วง Mesophilic คือที่อุณหภูมิระหว่าง 30-35 °C และช่วง Thermophilic คือที่อุณหภูมิระหว่าง 50-65 °C โดยอุณหภูมิช่วง 40-50 °C และอุณหภูมิต่ำกว่า 10 กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะถูกยับยั้ง ส่วนใหญ่จะเดินระบบที่อุณหภูมิ 30-35 °C มากกว่า 50-65 °C เนื่องจาก Thermophilic bacteria มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม มักจะประสบปัญหาในการ

ควบคุมระบบได้ง่ายกว่า Mesophilic bacteria รายละเอียดกลุ่มแบคทีเรียแสดงในตารางที่ 1-1 ถึง 1-2 และเปรียบเทียบการเดินระบบระหว่าง Mesophilic digesters และ Thermophilic digesters แสดงในตารางที่ 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 แชนลิ่ง, 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"

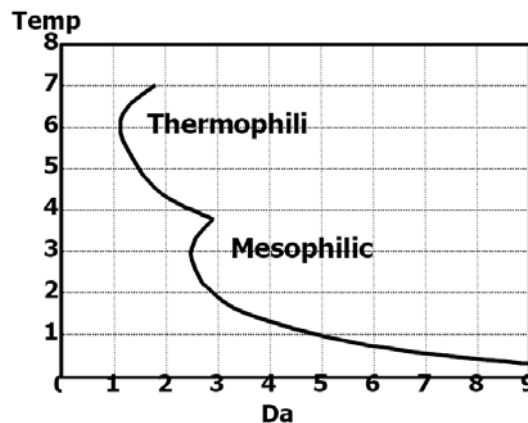
ที่มา : ปฏิกรณ์ แชนลิ่ง, 2548

ตารางที่ 1-3 Comparison of mesophilic and thermophilic digesters

Feature	Mesophilic digester	Thermophilic 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 แชนลิ่ง, 2548

อุณหภูมิทั้ง 2 ช่วงจะสัมพันธ์กับระยะเวลาการหมัก ดังแสดงได้ดังรูปที่ 1-2 โดยอุณหภูมิช่วง Thermophilic คือที่อุณหภูมิระหว่าง 50–65 °C อุณหภูมิในช่วงนี้จะเกิดขึ้นเมื่อทำการหมักสารอินทรีย์ในช่วง 3 วันแรก และอุณหภูมิช่วง Mesophilic คือที่อุณหภูมิระหว่าง 30–35 °C จะเกิดขึ้นเมื่อทำการหมักสารอินทรีย์ในช่วง 3–9 วัน



รูปที่ 1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการหมัก

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

3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของกรดระเหย (Volatile acid)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลาย ถ้าค่า pH เท่ากับ 7 แสดงว่าสารละลายนั้นเป็นกลาง ถ้าค่า pH ต่ำกว่า 7 แสดงว่าสารละลายนั้นมีค่าเป็นกรด และถ้า pH มากกว่า 7 แสดงว่าสารละลายนั้นมีความเป็นด่าง เมื่อขบวนการหมักเข้าสู่สภาพคงที่แล้ว ก็จะทำให้เกิดความสมดุลของความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ไบคาร์บอเนต ($\text{CO}_2 - \text{HCO}_3$) และเกิดแอมโมเนีย ($\text{NH}_3 - \text{NH}_4$) ทำให้สารละลายในบ่อหมักมีค่า pH ระหว่าง 7.0 – 8.5 ซึ่งเป็นค่า pH ที่วัดได้ในสารละลายในบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ทำงานเป็นปกติ ถ้าค่า pH ของสารละลายในบ่อหมักลดลงต่ำกว่า 6.2 จะหยุดยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน เป็นผลทำให้การผลิตก๊าซมีเทนลดลง หรือไม่มีการผลิตเลย สำหรับขบวนการหมักปกติ ความเข้มข้นของกรดระเหยได้ ซึ่งวัดในรูปของกรดอะซิติก (Acetic acid) ควรต่ำกว่า 2,000 ppm. (ส่วนในล้านส่วน) ถ้ากรดระเหยมีค่าสูงกว่านี้ ก็จะไปหยุดยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนเช่นกัน

ค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุที่จะนำมาหมักควรมีค่าระหว่าง 6–7 โดยในช่วงแรกของการหมักนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงจนต่ำกว่า 5 และเมื่อการหมักดำเนินไปจะเกิดแอมโมเนียขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นจนเกิน 8 ซึ่งในช่วงนี้แบคทีเรียก็จะสร้างมีเทนขึ้นมา ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจนอยู่ในช่วง 7.2 – 8.2 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำมากๆ อาจจะต้องใส่ปูนขาวเพื่อช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างขึ้นได้

4. การผสม (Mixing)

การผสมเป็นการทำให้แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับอาหาร (น้ำเสีย) มากขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ในกรณีน้ำเสียเป้งมันส่าปะหลังจะลดการจับตัวกันเป็นก้อนแบ่งซึ่งจะทำให้เกิดการย่อยแบ่งได้รวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังทำให้อุณหภูมิภายในระบบทั่วถึง การผสมสามารถลดเวลาเก็บกักของถังปฏิกิริยาได้ วิธีการผสมโดยใช้ใบพัดกวนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการผสมโดยหมุนเวียนก๊าซที่เกิดขึ้นภายในระบบ การผสมสามารถเลือกรูปแบบได้ทั้งการผสมแบบต่อเนื่องและเป็นช่วงเวลา กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนมีความไวต่อการผสมเร็ว

(Rapid Mixed, Velocity gradient, $G > 500 \text{ s}^{-1}$) มาก ควรหลีกเลี่ยงการผสมที่อาจทำให้แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนหลุดออกจากระบบ เพราะจะทำให้ระบบล้มเหลวได้

5. ระยะเวลาการเก็บกัก (Retention time)

ระยะเวลาการเก็บกัก เป็นระยะเวลาที่ให้สารอินทรีย์ถูกผสมอยู่ในบ่อหมักก๊าซ เพื่อให้แบคทีเรียได้ย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้เป็นอาหารในการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ให้มากขึ้น ก่อนที่จะถูกถ่ายเทออกจากบ่อหมักปกติจะใช้เวลา 20-50 วัน ระยะเวลาของการพักตัวของกาเกิดก๊าซสำหรับบ่อหมักก๊าซที่มีการเติมสารอินทรีย์ตลอดเวลา หรือเป็นระยะๆ สามารถคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยได้โดยปริมาตรบ่อก๊าซ คือ

$$\text{ระยะเวลาการพักตัว (วัน)} = \frac{\text{ปริมาตรบ่อหมัก}}{\text{ปริมาตรของเสียที่เติมลงในระบบแต่ละวัน}}$$

ถ้าระยะเวลาการพักตัวสั้นมากเกินไป การชะล้างของแบคทีเรียในบ่อหมักจะมีอัตราเร็วว่าการสร้างแบคทีเรียใหม่ ปฏิกริการย่อยสลายก็จะหยุดชะงัก เนื่องจากปริมาณแบคทีเรียในบ่อหมักลดลง หรือหมดไป แต่ถ้าให้ระยะเวลาการพักตัวนานเกินไป ก็หมายความว่า บ่อหมักจะต้องมีปริมาตรใหญ่ขึ้น ทำให้ราคาก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพแพงตามไปด้วย มี 2 ตัวแปรที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับเวลาในถังปฏิกริยา ได้แก่ Solid Retention Time (SRT) และ Hydraulic Retention Time (HRT) โดยที่ SRT เป็นเวลาเฉลี่ยที่แบคทีเรียอยู่ในถังปฏิกริยา ส่วน HRT เป็นเวลาเฉลี่ยที่น้ำเสียหรือสลัดจ์อยู่ในถังปฏิกริยา ตัวแปรทั้งสองอาจจะสัมพันธ์กันหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะการเดินระบบ Methane-Forming Bacteria ต้องการเวลาสำหรับการพักตัวและเพิ่มจำนวนมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน รายละเอียดตารางที่ 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 แชนลิ่ง, 2548

ในการเดินระบบไม่ควรให้ SRT น้อยกว่า 10 วัน เนื่องจากอาจเกิดการชะล้าง (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

6. ความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมัก (Substrate solids content)

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

ระบบของการหมักก๊าซชีวภาพ แบ่งตามแบบการเติมสารหมัก (อินทรีย์ + น้ำ) คือแบบเติมครั้งเดียว (Batch operation) โดยการเติมอินทรีย์สารครั้งเดียว แล้วปล่อยให้อินทรีย์สารถูกย่อยสลายจนหมดแล้วจึงเอาออก และเติมสารอินทรีย์ลงใหม่ ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซต่ำ และปริมาณก๊าซไม่คงที่แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous operation) โดยการเติมอินทรีย์สารเป็นประจำ วันเว้นวัน หรือวันสองวัน ขึ้นอยู่กับสภาพสารอินทรีย์ที่มีและขนาดของบ่อหมัก ผลที่ได้มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแรก ปริมาณก๊าซที่ได้ค่อนข้างคงที่แบบต่อเนื่อง (Continuous operation) เป็นการเติมสารอินทรีย์เข้าและเอาสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกอยู่ตลอดเวลา ด้วยอัตราการไหลเข้าและออกคงที่ ประสิทธิภาพของระบบนี้จะสูงสุด เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่อยู่ตลอดเวลา

7. สารเคมี ยาปฏิชีวนะ และสารพิษ

สารเคมีและยาปฏิชีวนะที่ใช้ในการดูแลสุขภาพสัตว์ ล้างคอก และอื่นๆ อาจมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้เป็นเพราะสารเคมีและยาปฏิชีวนะบางอย่างเป็นอันตรายกับแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพน้อยลงหรือไม่เกิดเลย ดังนั้น การใช้และบำรุงรักษาบ่อก๊าซชีวภาพจะต้องระวังไม่ให้สารเคมีและยาปฏิชีวนะเข้าไปในบ่อก๊าซชีวภาพได้ เช่น เมื่อใดที่มีการใช้ยามาเชื้อโรคล้างคอกสัตว์ก็ให้นำน้ำนั้นไปทิ้งที่อื่น หรือถ้ามีการนำยาปฏิชีวนะให้สัตว์กินหรือฉีด ก็ต้องไม่ปล่อยให้มูลสัตว์นั้นไหลลงไปในบ่อเติมก๊าซชีวภาพ

โลหะหนัก น้ำยาซักล้าง และแร่ธาตุบางชนิด เช่น โซเดียม โปตัสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แอมโมเนียม และซัลเฟอร์ เป็นสารที่ทำให้เกิดพิษต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียภายในระบบ แต่โลหะหนักบางชนิดเช่น ทองแดง นิกเกิล โครเมียม สังกะสี และตะกั่ว มีประโยชน์ต่อแบคทีเรียในปริมาณน้อยเท่านั้น เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของเซลล์แบคทีเรีย ดังตารางที่ 1-5 แต่ถ้ามีในปริมาณมากก็จะทำให้เกิดพิษได้โดยลักษณะ

โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แบคทีเรียมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 80% ส่วนที่เหลือ 20% ประกอบด้วยอินทรีย์สาร 90% และอนินทรีย์สาร 10% สูตรโครงสร้างอย่างง่ายของเซลล์ ($C_5H_7O_2N$) จะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 50% แต่ถ้าพิจารณารวมฟอสฟอรัสด้วย สูตรโครงสร้างจะเปลี่ยนเป็น $C_6OH_8O_{23}N_{12}P$ (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 และ 0.003-0.004 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 แสงสี, 2548

ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์มีคุณสมบัติเบาอากาศประมาณครึ่งหนึ่ง (น้ำหนักโมเลกุล 16.04) ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ไม่มีรส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ส่วนก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซผสมอากาศเป็นก๊าซที่มีกลิ่นเล็กน้อย เกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้ผู้ใช้งานบางคนไม่ชอบเอาไปหุงต้ม แต่จริงๆ แล้วกลิ่นของก๊าซนี้ไม่ได้ทำให้รสชาติของอาหารมีกลิ่นเลย พอเผาไหม้แล้วก็ระเหยไป องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพแสดงได้ดังตารางที่ 1-6

ตารางที่ 1-6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยปริมาตรแห้ง
มีเทน	60-65
คาร์บอนไดออกไซด์	30-38
ไนโตรเจน	2-5
ออกซิเจน	2-5
ซัลไฟด์, ไฮโดรซัลไฟด์, เมอร์แคปเทน, อื่นๆ	0-1.0
แอมโมเนีย	0.1-1.0
ไฮโดรเจน	0-0.2
คาร์บอนมอนอกไซด์	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

ค่าความร้อน

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะกำหนดโดยปริมาณความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิง ปริมาตร 1 ม³ อย่างสมบูรณ์ ค่าความร้อนที่นิยมทำการวัดมี 2 รูปแบบ คือ Low Heating Value หรือ Net Heating Value และ Higher Heating Value หรือ Gross Heating Value ความแตกต่างระหว่างค่าความร้อนทั้งสองแบบ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการคำนวณพลังงานความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ เพราะในกระบวนการเผาไหม้จะมีน้ำเกิดขึ้นโดยอยู่ในสถานะเป็นไอน้ำ ในการวัดค่าความร้อน ถ้าวัดพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาเนื่องจากการควบแน่นของไอน้ำเป็นของเหลวจะเรียกค่าความร้อนนี้ว่า Gross Heating Value ในทางกลับกัน ถ้าไม่รวมพลังงานความร้อนในส่วนนี้จะเรียกว่า Net Heating Value โดยค่าความร้อนของก๊าซชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 1-7

ตารางที่ 1-7 ค่าความร้อนของก๊าซชนิดต่างๆ(กิโลแคลอรี/ม³)

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 , กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
(* ก๊าซชีวภาพซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 60)

เมื่อนำค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 60 จำนวน 1 ลบ.ม. มาเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ จะมีค่าเทียบเท่ากับ

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./ม³. เมื่อมีปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 60 ที่สภาวะมาตรฐานโดยค่าความหนาแน่นของก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ โดยทั่วไปในการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวและของแข็ง จะเปรียบเทียบความหนาแน่นของสารนั้นๆ กับความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 4 °ซ. แต่ในกรณีของก๊าซการวัดค่าความถ่วงจำเพาะเป็นการเทียบความหนาแน่น ของก๊าซชนิดนั้นกับความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ 0 °ซ. ความดัน 1 บรรยากาศ โดยก๊าซที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.0 เป็นก๊าซที่มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ เมื่อรั่วออกสู่บรรยากาศจะไหลลงสู่พื้นและกระจัดกระจายไปได้ยากกว่าก๊าซที่เบากว่าอากาศ

สำหรับความหนาแน่นของก๊าซชนิดต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐานดังตารางที่ 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	NH ₃	17.031	0.769
บิวเทน	C ₄ H ₁₀	58.1	2.5
คาร์บอนไดออกไซด์	CO ₂	44.01	1.977
ก๊าซชีวภาพ	-	-	1.15
มีเทน	CH ₄	16	0.717
ก๊าซธรรมชาติ	-	19.5	0.7-0.9
โพรเพน	C ₃ H 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

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

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

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 ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนชนิดของก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงต้องพิจารณาค่า WI ของก๊าซแต่ละชนิดด้วย ดังตารางที่ 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

การจุดติดไฟอัตโนมัติ

การที่เชื้อเพลิงจะเกิดการติดไฟหรือเผาไหม้ได้ ต้องมีองค์ประกอบหลักสามประการคือ เชื้อเพลิง อากาศ (ซึ่งหมายถึงออกซิเจน) และพลังงาน (ในที่นี้อาจหมายถึงความร้อนหรือประกายไฟก็ได้) แต่ในบางกรณีถ้าเชื้อเพลิงและอากาศมีการผสมกันอย่างพอเหมาะ และมีอุณหภูมิสูงเพียงพอก็สามารถเกิดการติดไฟได้เอง โดยอุณหภูมินี้เรียกว่าจุดติดไฟอัตโนมัติ โดยก๊าซต่าง ๆ มีการจุดติดไฟอัตโนมัติแตกต่างกันดัง ตารางที่ 1-10

ตารางที่ 1-10 จุดติดไฟอัตโนมัติของก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	จุดติดไฟอัตโนมัติ, °ซ
มีเทน	537
โพรเพน	470
บิวเทน	365

จากตาราง 1-10 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงจุดติดไฟอัตโนมัติของก๊าซ 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซโพรเพน และก๊าซบิวเทน โดยก๊าซโพรเพน และก๊าซบิวเทน จะเป็นก๊าซที่อยู่ในก๊าซหุงต้ม(LPG) ซึ่งก๊าซทั้ง 3 ชนิดมีค่าจุดติดไฟอัตโนมัติอยู่ระหว่าง 350-537 °ซ โดยก๊าซบิวเทนจะติดไฟง่ายที่สุดและก๊าซมีเทนจะติดไฟยากที่สุด ดังนั้นการติดไฟของก๊าซชีวภาพจำเป็นต้องอาศัยประกายไฟไม่เกิดการจุดติดไฟเอง

ช่วงในการลุกไหม้

โดยปกติการจุดติดไฟของก๊าซต้องมีสัดส่วนระหว่างก๊าซและออกซิเจนที่เหมาะสม การที่มีออกซิเจนมากเกินไปไม่สามารถที่จะทำให้เกิดการลุกไหม้ขึ้นได้ ในทางตรงกันข้ามหาก ปริมาณของออกซิเจนน้อยเกินไปก็ไม่สามารถทำให้เกิดการลุกไหม้ได้เช่นกัน การลุกไหม้ของก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทนจะมีช่วงในการลุกไหม้อยู่ที่ 5-15 % หมายความว่าหากในบรรยากาศมีก๊าซมีเทนน้อยกว่า 5% ก็จะไม่เกิดการลุกไหม้เรียกตำแหน่งที่ 5% นี้ว่า Lower Explosive Limit หรือ LEL แต่ถ้าหากในบรรยากาศมีก๊าซมีเทนมากกว่า 15% ก็จะไม่เกิดการลุกไหม้เช่นกันเรียกจุดนี้ว่าเป็น Upper Explosive Limit หรือ UEL ความเร็วของเปลว คือ สิ่งที่ต้องเอามาพิจารณาในการออกแบบหัวจ่ายก๊าซ และการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ โดยความเร็วของเปลวจะเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนที่ก๊าซมีเทนผสมอยู่

ความเร็วของเปลวไฟ

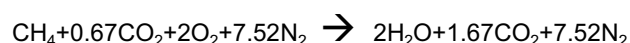
ความเร็วของเปลวไฟเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบระบบจ่ายก๊าซเข้าสู่หัวเผาและการออกแบบ การจุดเครื่องยนต์ ความเร็วของเปลวไฟจะเปลี่ยนแปลงได้ตามสัดส่วนของมีเทนที่อยู่ในก๊าซผสมระหว่างก๊าซชีวภาพกับอากาศ นอกจากนี้ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ก็มีผลต่อความเร็วของเปลวเช่นกัน

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



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 (CH₄) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ก๊าซเหล่านี้ล้วนแต่มีผลต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในบริเวณระบบก๊าซชีวภาพดังนี้

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

ก๊าซมีเทน (CH₄)

สัมผัสทางหายใจ	:	การหายใจเข้าไป จะก่อให้เกิดอาการหายใจติดขัดอย่างรุนแรง, ปวดศีรษะ, วิงเวียน และอาจหมดสติได้
สัมผัสทางผิวหนัง	:	ไม่ปรากฏว่าเป็นอันตรายเมื่อสัมผัสผิวหนัง
กินหรือกลืนเข้าไป	:	ไม่ปรากฏว่าเป็นอันตรายเมื่อกลืนกินเข้าไป และยากที่จะกลืนกินเข้าไป เนื่องจากเป็นก๊าซ
สัมผัสถูกตา	:	อาจเกิดการระคายเคืองได้ เมื่อสัมผัสถูกตา
การก่อกัมเริง	:	-
ความผิดปกติ,อื่นๆ	:	-

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

สัมผัสทางหายใจ	:	การหายใจเข้าไปทำให้คลื่นไส้ หัวใจเต้นผิดปกติ ปวดศีรษะ มึนงง รบกวนการมองเห็น หายใจไม่ออก มีอาการชัก อาการโคม่า
สัมผัสทางผิวหนัง	:	การสัมผัสถูกผิวหนังจะเป็นแผลพอง เหมือนน้ำแข็งกัดกินหรือกลืนเข้าไป
กินหรือกลืนเข้าไป	:	การกลืนหรือกินเข้าไป มีอาการเหมือนน้ำแข็งกัดบริเวณริมฝีปาก ปาก และ เยื่อเมือกจะมีผลทำลายตับ
สัมผัสถูกตา	:	การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง การมองเห็นไม่ชัดเจน
การก่อกัมเริง	:	สารนี้เป็นสารก่อกัมเริงตาม OSHA , NTP , IARC
ความผิดปกติ,อื่นๆ	:	-

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

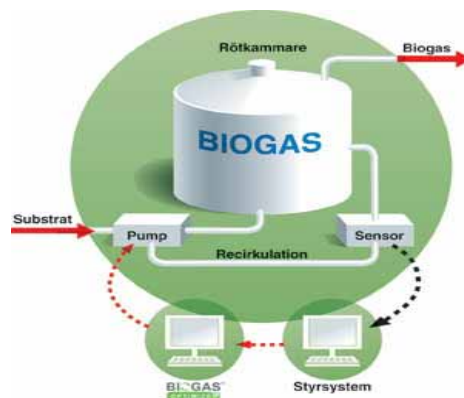
- สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไปทำให้เวียนศีรษะ คลื่นไส้ ถ้าได้รับสารปริมาณมากจะทำให้หมดสติ หรือมีอาการโคม่า อาจทำให้เสียชีวิตได้
- สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง
- กินหรือกลืนเข้าไป : -
- สัมผัสถูกตา : การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง โรคเยื่อぶตา อักเสบและเยื่อตาขาวได้รับบาดเจ็บ
- การก่อกัมเริ่ง : -
- ความผิดปกติ,อื่น ๆ : สารนี้ทำลายปอด ทรวงอก ระบบหายใจ ทางเดินอาหาร ไต ท่อนไต กระเพาะปัสสาวะ และเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ

การผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas plants) ใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic digestion of the organic) เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพที่มีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่นำมาใช้ในการผลิต โรงผลิตก๊าซชีวภาพโดยทั่วไปจะใช้มูลสุกร น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปมัน โรงงานปาล์ม โรงหมักเบียร์ โรงกลั่นสุรา และโรงงานแปรรูปอาหาร รวมทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยพื้นฐานจะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของของเสียที่ใช้เป็นวัตถุดิบ หากใช้มูลสัตว์จะได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 0.85 ลบ.ม. ต่อ 1 หน่วย ปศุสัตว์ (นปส.) ซึ่งเท่ากับน้ำหนักของเสีย 500 กก. ปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้า นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้อย่างมาก ปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีค่าสูงก็ต่อเมื่อค่าซีไอทีในน้ำเสียที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีค่าสูง มีการบำบัดในถังที่มีการให้ความร้อน (Mesophilic process) และมีการปั่นหรือกวนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 1-3

ความสามารถในการควบคุม ถังเก็บสำรองก๊าซชีวภาพที่มีขนาดเท่ากับปริมาณก๊าซผลิตได้ในครึ่งวัน (a half-day's production) จะมีความคุ้มค่าสำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไอน้ำเป็นช่วงๆ 2 ถึง 3 กะต่อวัน หรือในกรณีที่ราคาไฟฟ้าที่ขายหรือใช้ทดแทนไฟฟ้าจากระบบในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (peak load) กับช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าปกติ (off peak load) มีความแตกต่างกันอย่างมาก สามารถนำก๊าซชีวภาพที่เก็บสำรองไว้มาใช้ในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของวัน



รูปที่ 1-3 กระบวนการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นกลางต่อการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂-neutral fuel) แต่หากไม่มีการควบคุมการผลิตและการเก็บก๊าซชีวภาพที่ดีก็อาจทำให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกปริมาณมากออกสู่บรรยากาศได้ ต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวอย่างเช่นโรงผลิตก๊าซชีวภาพของประเทศเดนมาร์กมีค่าประมาณ 5 ยูโรต่อการปล่อยก๊าซเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 ตัน ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีกลิ่นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขยะสารอินทรีย์ดิบ

ในคู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์มีรายละเอียด ดังนี้

1.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในฟาร์มปศุสัตว์

การจัดการของเสียภายในฟาร์มสุกรที่ใช้ระบบก๊าซชีวภาพของเสียจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร ได้แก่ มูลสุกรและน้ำล้างคอก จะถูกลำเลียงผ่านรางเปิดและป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายในระบบนี้จะมีการเปลี่ยนสารอินทรีย์ต่าง ๆ ไปเป็นก๊าซชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง ได้แก่ ผลิตกระแสไฟฟ้า ทดแทนก๊าซหุงต้มภายในครัวเรือน และสามารถใช้กับหัวกลูกสุกรทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) ได้อีกด้วย สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายจนอยู่ในสภาวะคงตัวแล้วจะอยู่ในรูปของตะกอนชั้น ซึ่งหลังจากตากให้แห้งแล้วจะสามารถใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ ปุ๋ยจากการหมักย่อยของเสียนี้จะมีธาตุไนโตรเจนในปริมาณที่สูงเหมาะสมสำหรับพืชเป็นอย่างยิ่ง

รูปแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่มีใช้ในการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในปัจจุบันได้แก่

1. บ่อโดมคงที่ (Fixed Dome)

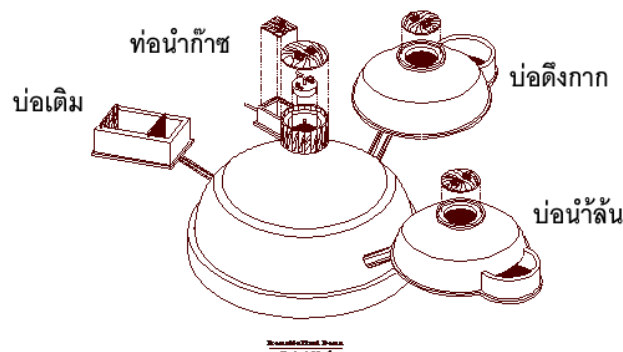
ระบบก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่(Fixed Dome) เป็นระบบที่ส่งเสริมให้ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดเล็ก (ฟาร์มที่เลี้ยงสุกรเทียบเท่าสุกรขุน ไม่เกิน 500 ตัว) โครงสร้างของระบบก๊าซชีวภาพแบ่งออกเป็น 4 ส่วนสำคัญ คือ

- บ่อเติมมูลสัตว์ (Mixing Chamber) ทำหน้าที่ในการผสมมูลสัตว์กับน้ำก่อนเติมลงในบ่อหมัก

- บ่อหมัก (Digester Chamber) ทำหน้าที่รับมูลสัตว์และน้ำจากบ่อเติมมาหมักให้เกิดก๊าซชีวภาพ บ่อจะต้องแข็งแรง ไม่รั่วซึม เนื่องจากส่วนของโดมของบ่อจะเป็นที่เก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นก่อนจะมีการนำไปใช้ และก๊าซชีวภาพก็จะผลักดันมูลสัตว์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วให้ไหลขึ้นไปอยู่ในบ่อล้น

- บ่อล้น (Expansion Chamber) มีหน้าที่รับมูลสัตว์ที่ล้นออกจากบ่อหมัก และเมื่อก๊าซชีวภาพในบ่อหมักมีปริมาณลดลง มูลสัตว์ในบ่อล้นจะไหลย้อนกลับสู่บ่อหมักอีกครั้งเพื่อผลักดันให้ก๊าซชีวภาพในบ่อหมักไหลออกไปได้ เมื่อมีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ และบ่อล้นยังเป็นที่ระบายมูลสัตว์ออก เมื่อมูลสัตว์มีปริมาณมากเกินไปกว่าปริมาตรของบ่อ สำหรับบ่อที่มีท่อตั้งฉาก มูลสัตว์และน้ำในบ่อล้นนี้จะเป็นตัวผลักดันตะกอนก้นบ่อให้ไหลออก เมื่อเปิดลิ้นชักบ่อตั้งฉาก

- บ่อรับกากจากบ่อล้น (Storage Tank and Sand Bed Filter) เป็นที่รองรับตะกอนจากบ่อล้น ซึ่งตะกอนที่ล้นออกมานี้ สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ย สำหรับปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรหรือนำไปจำหน่ายก็ได้

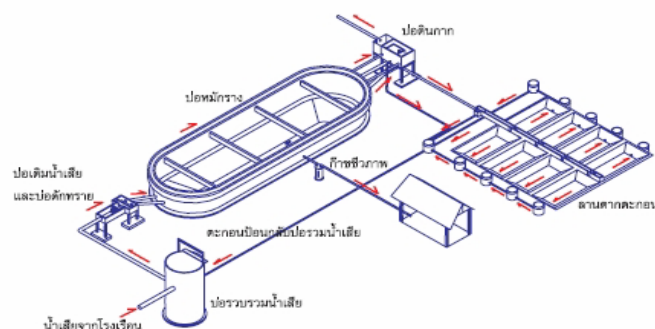


รูปที่ 1-4 บ่อโคมคงที่ (Fixed Dome)

การทำงานในลักษณะนี้เรียกว่า ระบบไดนามิค คือเมื่อเกิดก๊าซ ก๊าซก็จะมีแรงดันผลักดันมูลสัตว์และน้ำด้านล่างบ่อหมักให้ไหลทะลักขึ้นไปเก็บไว้ที่บ่อน้ำล้น เมื่อมีการใช้ก๊าซชีวภาพ น้ำในบ่อน้ำล้นก็จะไหลย้อนกลับเข้าบ่อหมักอีกและจะไปผลักดันก๊าซให้สามารถนำไปใช้ได้ อีก จะเกิดลักษณะเช่นนี้ตลอดเวลา ถ้าระบบของบ่อก๊าซไม่มีการรั่วซึม ระบบการหมักเป็นปกติ บ่อก๊าซชีวภาพก็จะมีอายุการใช้งานยาวนานมากกว่า 10 ปี

2. บ่อหมักแบบรางและบ่อหมักเร็วน้ำใส (Channel Digester+UASB) (CDUA)

บ่อหมักราง เป็นระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศอีกชนิดหนึ่งที่ยอมรับใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยมีลักษณะเป็นบ่อคอนกรีตที่มีการบังคับการไหลของน้ำเสียให้เป็นแบบปลักโฟลว์ ด้านบนของบ่อหมักรางจะติดตั้งโคมพลาสติก PVC หรือ HDPE เพื่อทำหน้าที่เก็บกักก๊าซชีวภาพ สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ ภายในบ่อหมักรางจะมีการติดตั้งท่อลำเลียงก๊าซชีวภาพเพื่อรวบรวมก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ บ่อหมักรางจะทำหน้าที่เป็นบ่อหมักย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย รวมถึงทำหน้าที่ในการแยกของเสีย ส่วนชั้นและส่วนใสออกจากกันอีกด้วย ของเสียส่วนชั้นหรือตะกอนของแข็งจะถูกหมักย่อยในบ่อหมักรางประมาณ 40 วัน เพื่อเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นกรดอินทรีย์และเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพโดยแบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศ ผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์จะทำให้ น้ำเสียมีซีโอดีลดลงประมาณร้อยละ 70-80 ปัจจุบันบ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบรางได้พัฒนาโดยการนำระบบบ่อหมักเร่งน้ำใสเข้าไปใส่อยู่นในบ่อหมักแบบราง ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก ทำงานต่อเนื่องกัน คือ บ่อหมักแบบราง (Channel Digester) ทำงานต่อเนื่องด้วยบ่อหมักเร็วน้ำใส UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) ใช้สำหรับฟาร์มสุกรขนาดกลาง และขนาดใหญ่



รูปที่ 1-5 บ่อหมักแบบรางและบ่อหมักเร็วน้ำใส (Channel Digester+UASB) (CDUA)

3. บ่อหมักเร็วน้ำขึ้น (H-UASB) : High suspension solids-Up flow Anaerobic Sludge Blanket)

เป็นแบบบ่อหมักที่พัฒนาจากระบบ UASB เพื่อแก้ปัญหาการอุดตันระบบหัวจ่ายน้ำของ UASB เนื่องจากตะกอนของมูลสัตว์ โดยนำบ่อปรับสภาพ (Stabilizing Pond หรือ EQ) จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมมาใช้ พร้อมกับเรียกชื่อใหม่ว่า Buffer tank ทำหน้าที่แยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสียและมูลสัตว์ให้มีปริมาณน้อยที่สุด พร้อมกันนี้ยังได้นำแผ่นยาง PE ที่ใช้คลุมบ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบราง มาคลุมบน Buffer tank ทำหน้าที่เก็บก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากจากระบบ UASB



รูปที่ 1-6 บ่อหมักเร็วน้ำขึ้นแบบ H-UASB

4. บ่อ Modified Covered Lagoon



รูปที่ 1-7 บ่อ Modified Covered Lagoon

เป็นบ่อหมักก๊าซชีวภาพอีกรูปแบบหนึ่ง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Modified Covered Lagoon มีลักษณะเป็นสระหรือบึงรูปรางสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการคลุมด้วยแผ่นพลาสติกจำพวก High Density Polyethylene (HDPE) หรือแผ่นพีวีซี (PVC) เพื่อให้เกิดสภาพไม่ใช้อากาศและใช้เป็นตัวเก็บรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยอาจคลุมทั้งบ่อหรือคลุมเฉพาะในส่วนที่มีการสร้างมีเทนก็ได้ ระบบ Modified Covered Lagoon เป็นระบบที่ก่อสร้างง่ายและสะดวกในการเดินระบบ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีการเติมอากาศ ไม่มีการให้ความร้อน และไม่มีการกวน ปกติความลึกของบ่อจะกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 6 ม. หรือมากที่สุดเท่าที่จะขุดได้ ระบบ Modified Covered Lagoon เป็นระบบที่ต้องอาศัยเวลากักเก็บน้ำที่ยาวนานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี รูปแบบการทำงานของระบบ Modified Covered Lagoon บ่อชนิดนี้ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นบ่อดิน ด้านบนคลุมด้วยแผ่นพลาสติกขนาดใหญ่ เพื่อรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นก่อนนำก๊าซไปใช้ประโยชน์ บ่อหมักแบบนี้ได้มีการนำมาใช้งานเมื่อประมาณ 3-5 ปีที่ผ่านมา จึงถือว่ายังอยู่ในช่วงต้นๆ

ของอายุการใช้งานของบ่อ ซึ่งประเมินไว้ที่ 15 ปี หลักการของระบบคือ การนำฝ้ายาง (HDPE-High Density Polyethylene) มาคลุมบ่อน้ำเสียซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นบ่อดิน เพื่อป้องกันไม่ให้กลิ่นแพร่กระจายออกไป อีกทั้งยังเป็นการช่วยให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียในสภาพไร้อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซชีวภาพปฏิกิริยาดังกล่าวใช้เวลาอย่างน้อย 20 วัน ดังนั้น ปริมาตรของบ่อต้องสามารถกักเก็บน้ำเสียได้อย่างน้อย 20 วันเช่นกัน ระบบนี้ดัดแปลงจากระบบบ่อฝังน้ำ ไม่จำเป็นต้องสร้างบ่อใหม่ เงินลงทุนต่ำ แต่ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเมื่อเทียบกับปริมาตรที่ใช้ต่ำกว่าระบบอื่นเช่นกัน (Low rate digester) ระบบนี้กำลังเป็นที่นิยมใช้งาน

5. บ่อแบบ พพ. 1

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำเร็จรูปแบบ พพ. 1 สามารถรองรับน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการเลี้ยงสุกรขุน จำนวน 500 ตัว ปริมาตรน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการเลี้ยงประมาณ 10 ลบ.ม./วัน/ตัว บ่อรูปทรงคล้ายบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Plug Flow หรือบ่อแบบรางทำด้วย PVC แผ่นตัดขึ้นรูป พร้อมทดสอบรอยรั่วจากโรงงาน บรรจุใส่กล่องสามารถนำไปติดตั้งและใช้งานได้ทันที ปริมาตรกักเก็บของเสียประมาณ 70 ลบ.ม. กำลังผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 25 ลบ.ม./วัน ระบบประกอบด้วย บ่อรวมน้ำเสีย บ่อรวมน้ำเสีย บ่อดักขน บ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบสำเร็จรูป บ่อดึงกาก ลานตาก บ่อน้ำใส ระบบกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์



รูปที่ 1-8 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำเร็จรูปแบบ พพ.1

6. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำเร็จรูปแบบ พพ.2

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำเร็จรูปแบบ พพ.2 สามารถรองรับน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการเลี้ยงสุกรขุน จำนวน 100 ตัว ปริมาตรน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการเลี้ยงประมาณ 2 ลบ.ม./วัน ตัวบ่อรูปทรงคล้ายบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Plug Flow หรือบ่อแบบราง ทำด้วย PVC แผ่นตัดขึ้นรูป พร้อมทดสอบรอยรั่วจากโรงงาน บรรจุใส่กล่องสามารถติดตั้งและใช้งานได้ทันที ปริมาตรกักเก็บของเสียประมาณ 13.5 ลบ.ม. กำลังผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 5 ลบ.ม./วัน ระบบประกอบด้วย บ่อรวมน้ำเสีย บ่อรวมน้ำเสีย บ่อดักขน บ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบสำเร็จรูป บ่อดึงกาก ลานตาก บ่อน้ำใส ระบบกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์



รูปที่ 1-9 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำเร็จรูปแบบ พพ.2

7. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถุง PVC

ระบบผลิตผลิตก๊าซชีวภาพแบบถุงPVC คณะวิศวกรรมศาสตร์ มช.ได้นำระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถุงของประเทศไต้หวัน มาปรับปรุงให้ใช้วัสดุที่ผลิตในประเทศ และมีราคาถูก รูปร่างตัวบ่อหมักมีลักษณะทรงกระบอกวาง(แคปซูล) ในแนวนอนทำจากPVC แผ่นความหนาเพียง 0.25 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.50-1.60 ม. ความยาวประมาณ 4.00 ม. ตัวบ่อผลิตก๊าซชีวภาพมีปริมาตรประมาณ 8 ลบ.ม. แบ่งออกเป็นสามส่วนที่เก็บของเสีย ปริมาตรประมาณ 6 ลบ.ม. และส่วนเก็บก๊าซปริมาตร 2 ลบ.ม. กำลังผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 2 ลบ.ม/วัน ราคาตัวระบบประมาณ 2,500 -3,000 บาท



รูปที่ 1-10 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถุง PVC

บทที่ 2

การเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสม กับของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์

ในการพิจารณาเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ ประกอบด้วยปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. การออกแบบเพื่อความเหมาะสม
2. การเปรียบเทียบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

2.1 การออกแบบเพื่อความเหมาะสม

นิยามของการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสม ประกอบด้วย

- 1) การออกแบบเพื่อความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรม ให้มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับกฎหมาย หรือ มาตรฐานน้ำทิ้ง ต่างๆ เช่น มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม มาตรฐานน้ำทิ้งของการนิคมอุตสาหกรรม แห่งประเทศไทย
- 2) การออกแบบเพื่อความเหมาะสมกับการลงทุน งบประมาณของผู้ประกอบการ ซึ่งมักต้องการระบบที่ดี ดูแลง่าย อายุการใช้งานเหมาะสม ราคาประหยัด ได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าจากก๊าซชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์ และการ หมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่
- 3) การออกแบบเพื่อความเหมาะสมสำหรับการใช้งานและผู้ดูแลระบบ โดยผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงระดับ ความรู้ความชำนาญของผู้ประกอบการ เช่น เจ้าของฟาร์ม ลูกจ้างในฟาร์ม เป็นต้น
- 4) การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้เป็นที่ยอมรับของสังคม เช่น การออกแบบระบบที่ไม่มีกลิ่นรบกวน ต่อชุมชนรอบข้าง ซึ่งแต่เดิมการออกแบบระบบบำบัดที่เป็นบ่อเปิด เช่น บ่อหมัก ไร้อากาศ (Anaerobic pond) ของ ฟาร์มปศุสัตว์ มักจะก่อให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็นของก๊าซไข่เน่า (Hydrogen sulfide) อย่างรุนแรง และมักจะเป็นเหตุ ร้องเรียนจากชุมชนโดยรอบสถานประกอบการ
- 5) การออกแบบเพื่อความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น น้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดจาก บ่อก๊าซชีวภาพแล้ว สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยน้ำในการปลูกข้าวโพด ปลูกอ้อย ได้ผลเป็นอย่างดี รวมถึงตะกอนที่ผ่าน การตากแห้งสามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดิน เพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช และทำให้ดินร่วนซุย
- 6) การออกแบบเพื่อความเหมาะสมกับสภาพและวิธีการเลี้ยงสัตว์ เช่น
 - การเลี้ยงสุกรแบบปกติ คือการเลี้ยงที่มีจำนวนสุกรที่เลี้ยงคงที่ หรือค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี หรือมี การเปลี่ยนแปลงของจำนวนสุกรที่เลี้ยงน้อยกว่าร้อยละ 29 ของหน่วยปศุสัตว์ทั้งหมดของฟาร์ม

- การเลี้ยงสุกรแบบเลี้ยงเป็นชุดๆ โดยเฉพาะการเลี้ยงสุกรขุน ซึ่งจะทำให้น้ำหนักของสุกรในแต่ละช่วงเวลาของการเลี้ยงไม่คงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนสุกรที่เลี้ยงเกินกว่าร้อยละ 30 ของหน่วยปศุสัตว์ทั้งหมดของฟาร์ม

ดังนั้น การเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย ได้แก่

- 1) ปริมาณน้ำเสีย ความเข้มข้นและลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียจะต้องถูกนำมาวิเคราะห์ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยตัวแปรในการวิเคราะห์น้ำเสียเพื่อการออกแบบจะมีความละเอียดมากกว่าการวิเคราะห์น้ำเสียแบบทั่วไป ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะทำการวิเคราะห์ค่า BOD5 และค่า COD ที่อยู่ในรูป TCOD เพื่อใช้คำนวณหาสัดส่วน BOD5/TCOD โดยจะเป็นตัวกำหนดความเหมาะสมในการเลือกใช้ระบบบำบัด ซึ่งสัดส่วน BOD5/TCOD ต้องมีค่ามากกว่า 0.5 เป็นต้น
- 2) มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด เช่น มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งกำหนดค่าความเข้มข้นของมลพิษในน้ำทิ้งที่จะปล่อยออกจากฟาร์มปศุสัตว์ในแต่ละขนาดไว้อย่างแตกต่างกัน
- 3) พื้นที่ก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
- 4) งบประมาณในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและบำรุงรักษา
- 5) ความสามารถในการเดินระบบของผู้ประกอบการหรือผู้ใช้งาน
- 6) เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบและประสบการณ์ของวิศวกรออกแบบ ซึ่งเป็นความสามารถส่วนบุคคลในการเลือกออกแบบระบบอย่างเหมาะสม สอดคล้องกับเงื่อนไขทุกประการ

จะเห็นว่าปัจจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ล้วนแต่มีผลต่อการออกแบบทั้งสิ้น แต่โดยทั่วไปการออกแบบมักยึดมาตรฐานน้ำทิ้งเป็นเกณฑ์ในการออกแบบและคัดเลือกระบบ ทั้งนี้ค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สำหรับน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียเกษตรกรรม มีค่ามาตรฐานกำหนดที่ต่างกัน เช่น มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนกำหนดให้มีค่า BOD ไม่เกิน 20 มก./ล. แต่สำหรับน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดใหญ่กำหนดให้มีค่า BOD ไม่เกิน 60 มก./ล. ดังนั้น ความรู้พื้นฐานในการเลือกหน่วยบำบัด (Unit Selection) เพื่อประกอบเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Process or Process Design) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

2.2 การเปรียบเทียบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแต่ละแบบมีข้อดี-ข้อด้อยแตกต่างกันไป การใช้งานระบบจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความพร้อมของผู้ควบคุม พื้นที่ก่อสร้าง งบประมาณสำหรับการก่อสร้างและดำเนินการ คุณภาพของน้ำทิ้ง ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ ความยากง่ายในการเดินและควบคุมระบบ เป็นต้น

สำหรับการเปรียบเทียบระบบผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในภาคเกษตรกรรมและฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยเปรียบเทียบจากระบบฯ ที่ใช้ในฟาร์มขนาดกลาง สามารถสรุปได้ดังในตาราง ดังนี้

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพที่มีใช้งานในฟาร์มสุกรขนาดกลาง

หัวข้อการพิจารณา	เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพที่ใช้			
	บ่อหมักราง UASB	Covered Lagoon	Fixed dome	พพ. 1
ความสามารถในการให้บริการ	ทั่วประเทศ	ทั่วประเทศ	ทั่วประเทศ	ทั่วประเทศ
ได้ก๊าซชีวภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์	ได้	ได้		ได้
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรของถังหมัก (ลบ.ม. ก๊าซ/ลบ.ม.ถัง-วัน)	0.5	0.02-0.4	0.35-0.5	0.35-0.5
บำบัดน้ำเสียได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง	ได้	ได้	ไม่ได้	ได้
ปุ๋ยอินทรีย์	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
ความต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพ (ตร.ม./LU)	1.3	8.1	2.2	1
การแพร่กระจายของเชื้อโรคสู่แหล่งน้ำใต้ดิน	น้อย	น้อย-ปานกลาง ขึ้นอยู่กับชนิด ของดินในพื้นที่	น้อย	น้อย
การอุดตันและการสะสมของตะกอนในระบบ	น้อย	มาก	ปานกลาง	ปานกลาง
ความสม่ำเสมอของระบบก๊าซชีวภาพ	มาก	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
ระยะเวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ	สั้น	ยาว	สั้น	สั้น
จำนวนผู้ดูแลระบบ	1	1	1	1
การแก้ปัญหาเรื่องกลิ่นและแมลงวัน	ได้	ได้	ได้	ได้

ที่มา : สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทที่ 3

การออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อความปลอดภัย

การกำหนดแนวทางการออกแบบระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ หากอุปกรณ์หรือการออกแบบในลักษณะใดที่ไม่ได้กล่าวถึงในส่วนนี้ ให้ผู้เกี่ยวข้องยึดถือหลักการออกแบบและหลักปฏิบัติอื่นๆตามข้อกำหนดบัญญัติไว้ในกฎหมายไทย และ/หรือมาตรฐานตามวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์(วสท.)เป็นสำคัญ ระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรม/ชุมชนและฟาร์มปศุสัตว์ ส่วนใหญ่มาจาก 3 ส่วนที่อาจจะได้รับผลกระทบด้านความปลอดภัย ได้แก่

3.1 ส่วนผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับฟาร์มปศุสัตว์

3.1.1 สถานที่สำหรับก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สถานที่ที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน ทำเลที่ตั้งสำหรับก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพต้องมีการกำหนดจุดที่จะทำการก่อสร้างที่ชัดเจน โดยมีข้อกำหนดในประเด็นต่างๆดังนี้

ก. ทำเลที่ตั้งสำหรับก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

- (1) กำหนดระยะห่างจากชุมชน โรงเรียน ถนนสาธารณะ สถานที่ราชการ ฯลฯ ที่เห็นว่าจำเป็น ไม่น้อยกว่า 100 เมตร
- (2) ระยะห่างจากแนวสายไฟฟ้าแรงสูงพาดหรือชิงผ่าน ไม่น้อยกว่า 6 เมตร
- (3) ระยะห่างจากถนนสาธารณะไม่น้อยกว่า 6 เมตร
- (4) ต้องคำนึงถึงทิศทางของลมโดยไม่ควรจะออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพให้มีลักษณะการขวางทิศทางลม แต่หากไม่สามารถเลือกได้ควรที่จะเลือกทิศทางมีแนวต้นไม้หรืออาคารเพื่อช่วยต้านแรงลมที่จะปะทะ ถังหมักโดยตรง

ข. ลักษณะทางกายภาพของดินบริเวณก่อสร้าง

ต้องคำนึงถึงสภาพของดิน ที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพที่เลือก เช่นหากใช้ระบบก๊าซชีวภาพแบบสร้างลอยบนดิน อาจจะต้องพิจารณาความแข็งแรงของดินที่จะรับโครงสร้าง หากชั้นดินไม่สามารถรับแรงได้มากพอต้องพิจารณาการตอกเข็มและหากใช้ระบบ ก๊าซชีวภาพที่ฝังอยู่ในดิน สภาพการพังทลายของดิน ระดับน้ำใต้ดิน และความแข็งแรงของชั้นดิน จะมีผลต่อการออกแบบและต้นทุนการสร้างจะเพิ่มขึ้น รวมถึงการสร้างระบบก๊าซชีวภาพการนำบ่อน้ำเสียหรือสระน้ำเก่าสามารถสร้างระบบก๊าซชีวภาพได้ตามความเหมาะสมในแต่ละระบบที่เลือก

ค. ความปลอดภัยในงานก่อสร้าง

ในส่วนการก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพอาจมีการเกิดอุบัติเหตุในด้านวิศวกรรมโยธาได้โดยทั่วไป แล้วโอกาสของอุบัติเหตุจะเกิดจากการเคลื่อนตัวของดินถมด้านข้างผนัง ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจาก

- (1) การเพิ่มขึ้นของแรงกระทำด้านข้างผนังทั้งจากน้ำหนักของดินเองและน้ำหนักของรถบรรทุกและเครื่องจักรหนัก
- (2) มีทางน้ำใต้ดินไหลผ่านตำแหน่งที่เกิดเหตุอยู่ตลอดเวลา
- (3) ดินใต้ฐานรากและดินที่ใช้ถมด้านข้างผนังเป็นดินเหนียวซึ่งสามารถอุ้มน้ำได้ดีทำให้กำลังในการรับแรงเฉือนของดินลดลง

วิธีการป้องกัน

- 1 ควรมีการคุมงานให้รัดกุมและดำเนินการก่อสร้างตามที่ออกแบบไว้
- 2 หลีกเลี่ยงการก่อสร้างในพื้นที่ที่มีทางน้ำใต้ดินไหลตลอดเวลา
- 3 จัดแนวทางการเคลื่อนที่ของรถบรรทุก
- 4 หลีกเลี่ยงการก่อสร้างในฤดูฝน

ง. ข้อกำหนดสำหรับโครงสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการออกแบบโครงสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ ควรเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานทางวิศวกรรมดังนี้

ง-1 โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.)

- (1) องค์ประกอบของบ่อทุกส่วน เช่น ผนัง ฐานราก พื้น คาน เสา หรือ อื่นๆ จะต้องได้รับการวิเคราะห์และออกแบบให้สามารถต้านทานแรงกระทำที่อาจเกิดขึ้นใน ทุกกรณีโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน วสท. เรื่องการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
- (2) สำหรับบ่อที่มีความสูงผนัง 2 ม.ขึ้นไปและมีปริมาตรบรรจุน้ำเสียมากกว่า 50 ลบ.ม. ควรมีความหนาของผนังอย่างน้อย 15 ซม. (ยกเว้นที่ได้ออกแบบเป็นพิเศษ)
- (3) ระยะหุ้มของคอนกรีตต้องเพียงพอที่จะไม่ทำให้เหล็กเสริมทำปฏิกิริยากับน้ำเสียคือไม่น้อยกว่า 5 ซม.(ยกเว้นที่มีการเคลือบผิวคอนกรีตด้วยวัสดุพิเศษ) ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำในผนังฐานราก เทียบจากสัดส่วนของหน้าตัดต้องไม่น้อยกว่า 0.0025

ง-2 โครงสร้างเหล็ก

- (1) องค์ประกอบของบ่อ เช่น แผ่นเหล็ก หมุด การเชื่อมให้อ้างอิงตามมาตรฐาน AWWA D103-97
- (2) ต้องมีการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการกัดกร่อนยกเว้น ผนังที่เป็นวัสดุเหล็ก แผ่นสแตนเลส

ง-3 โครงสร้างบ่อดิน

- (1) การขุดดินต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของความชันเพื่อป้องกันการพังทลายของคันดิน
- (2) ในกรณีที่ดินมีคุณสมบัติไม่กักเก็บน้ำ จำเป็นต้องมีการปูด้วยวัสดุกันซึม เช่น แผ่น PVC หรือแผ่น HDPE เพื่อป้องกันการซึมของน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน

ง-4 โครงสร้างอื่นๆ สำหรับกักเก็บก๊าซชีวภาพ

- (1) ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ
- (2) ต้องทนต่อแรงดันได้ดี
- (3) สามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย

จ. แนวทางการออกแบบและเลือกวัสดุและอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพ

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

- (1) ถังหมักที่เป็นโครงสร้างยกลอยอยู่บนพื้นดิน โครงสร้างมักจะใช้เป็นเหล็กที่เคลือบป้องกันการกัดกร่อนหรือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
- (2) ถังหมักที่เป็นโครงสร้างฝังอยู่ใต้ดิน ส่วนใหญ่มักจะใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ อาจจะใช้แผ่นพลาสติก HDPE สำหรับการปูพื้นบ่อหมักเพื่อป้องกันการซึมของน้ำเสีย

จ-2 การเลือกวัสดุสำหรับทำบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ รวมถึงปริมาณการกักเก็บก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

- (1) วัสดุสำหรับเก็บก๊าซชีวภาพ ในกรณีที่เป็นโครงสร้างแข็ง มักจะใช้ถังเหล็กที่มีการเคลือบสารป้องกันการกัดกร่อน หรือคอนกรีต สำหรับโครงอ่อน จะใช้ PVC , HDPE และ Membrane โดยปกติจะสร้างปริมาตรกักเก็บประมาณ 1 วัน ยกเว้นระบบ Covered Lagoon ควรจะมีปริมาตรกักเก็บไม่เกิน 7 วัน
- (2) ความสูงของส่วนเก็บก๊าซชีวภาพเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการออกแบบ หากมีความสูงมากเกินไปจะทำให้เกิดการต้านลมมาก ส่งผลทำให้อาจเกิดการฉีกขาดของวัสดุเก็บก๊าซชีวภาพขึ้นได้ ดังนั้นความสูงของส่วนเก็บก๊าซโดยเฉพาะระบบ Covered Lagoon เมื่อพองตัวเต็มที่ไม่ควรเกิน 10 เมตร
- (3) แรงดันภายในบ่อเก็บก๊าซในกรณีที่เป็นโครงสร้างที่ไม่มีการเปลี่ยนรูปทรงแรงดันก๊าซไม่ควรเกิน 60 mbar ส่วนกรณีที่เป็นโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนรูปทรงแรงดัน ไม่ควรเกิน 3 mbar
- (4) ช่องว่างระหว่างผิวหน้าในบ่อหมักต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 0.50 เมตรเพื่อป้องกัน Scum เข้าไปในท่อส่งก๊าซ

ฉ. คุณสมบัติของวิศวกรผู้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ

วิศวกรผู้ดำเนินการออกแบบจะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์การกำหนดคุณสมบัติของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์(วสท.)

ข. การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยในระบบการผลิตต่าง ๆ

ข-1 ติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

หากตัวถังหมักก๊าซชีวภาพหรือถังเก็บก๊าซชีวภาพอยู่ในที่โล่งหรืออยู่สูงกว่าสภาพแวดล้อมรอบข้างและในบริเวณพื้นที่ของโรงงานหรือฟาร์มเลี้ยงสัตว์ไม่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าด้วย

การป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection)

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



รูปที่ 3-1 การติดตั้งสายล่อฟ้าในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ข-2 การติดตั้งสายดิน

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

(1) สายดิน (Grounding)

การต่อกราวด์ คือการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้าลงสู่พื้นดินโดยใช้ตัวนำไฟฟ้า การต่อกราวด์สามารถแก้ปัญหาการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตบนวัสดุตัวนำได้ เพราะการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าจะช่วยถ่ายเทประจุไฟฟ้าลงสู่พื้นดินทำให้ศักย์ไฟฟ้าบนโครงสร้างนั้นเท่ากับพื้นดิน



รูปที่ 3-2 การต่อสายดินในโครงการอาคาร

(2) ต่อฝาก (Bonding)

การต่อฝาก คือการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้า 2 ส่วน เข้าด้วยกันโดยใช้ตัวนำไฟฟ้า ขนาดของตัวนำไฟฟ้าประเด็นสำคัญ แต่ความแข็งแรงของวัสดุ ตัวนำและความแน่นของหน้าสัมผัสของจุดต่อเนื่องที่ต้องให้ความสำคัญมากกว่า การต่อฝาก ไม่สามารถแก้ปัญหาการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตได้ แต่จะช่วยกระจายการสะสมของประจุ ไฟฟ้าบนโครงสร้างหนึ่งๆ เมื่อมีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าแล้วศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างทั้งสอง จะเท่ากันเป็นการกำจัดความเสี่ยงของการถ่ายเทประจุระหว่างวัตถุ



รูปที่ 3-3 การต่อฝากเพื่อให้ศักย์ไฟฟ้าของพื้นผิวต่างๆมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 3-4 การต่อฝากระหว่างภาชนะบรรจุก๊าซชีวภาพ

ช-3 การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เป็นแบบป้องกันการระเบิด

ระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในบริเวณอันตราย จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เป็นแบบป้องกันการระเบิด (Explosion Proof) เช่นระบบมอเตอร์/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 เหล็ก และสแตนเลส
เกรด 316

คุณสมบัติเฉพาะ

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

(3) หลอดไฟแสงสว่าง (Lighting)

ระบบแสงสว่างทั้งหมดที่ใช้ในบริเวณบ่อผลิตก๊าซต้องเป็นอุปกรณ์ป้องกันระเบิดทั้งหมด รวมถึงท่อและอุปกรณ์ต่อท่อทั้งหมดต้องสามารถป้องกันประกายไฟได้ ชนิดของท่อควรจะเป็นท่อชนิดหนาหรือท่อ Intermediate Metal Conduit : IMC

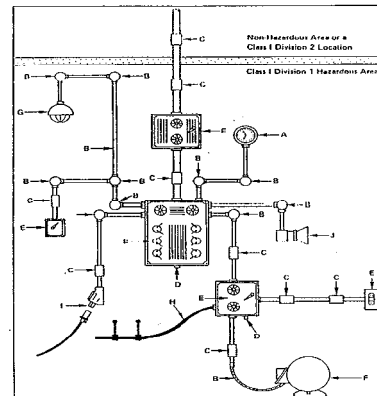


- ✦ อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดต้องเป็นชนิดป้องกันระเบิด เมื่อติดตั้งในพื้นที่เสี่ยงต่อการติดไฟหรือพื้นที่อันตราย
- ✦ ท่อและอุปกรณ์ประกอบท่อต้องได้มาตรฐานป้องกันระเบิด

รูปที่ 3-7 หลอดไฟแสงสว่าง

ช-4 การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและการเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตราย

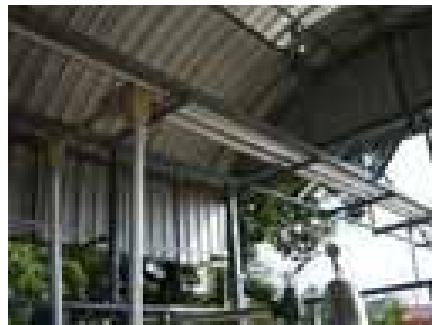
ตามมาตรฐานการเดินท่อร้อยสายไฟของ NEC ที่กำหนดให้การเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตรายอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องเป็นชนิดทนระเบิดป้องกันการเกิดประกายไฟได้ การเดินท่อร้อยสายไฟและสายเคเบิลต้องสามารถป้องกันการผ่านของก๊าซ ไอระเหยและเปลวไฟจากส่วนใดส่วนหนึ่งไปยังส่วนอื่นผ่านทางท่อร้อยสายไฟ



รูปที่ 3-8 การเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตรายอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องเป็นชนิดทนระเบิด

รายละเอียด

1. กล่องสวิตช์ควบคุม เป็นชนิดทนการระเบิด (Explosion Proof)
2. ใช้ท่อโลหะปานกลาง (Intermediate Metal Conduit: IMC) ที่สามารถทำเกลียวได้ซึ่งมีเกลียวมากกว่า 5 เกลียว
3. ติดตั้ง Sealing Fitting ที่ใส่สาร Compound ของท่อร้อยสายไฟก่อนเข้ากล่องสวิตช์ ควบคุมตามมาตรฐานที่กำหนดให้ติดตั้งก่อนเข้ากล่องระยะไม่เกิน 18 นิ้ว



ช-5 การเดินท่อร้อยสายไฟเข้าพื้นที่อันตราย

ตามมาตรฐานการเดินท่อร้อยสายไฟของ NEC ที่กำหนดให้เมื่อมีการเดินท่อร้อยสายไฟจากพื้นที่ไม่อันตรายหรือพื้นที่อันตรายที่ต้องมีการใส่ Sealing Fitting และใส่สาร Compound ในระบบท่อร้อยสายไฟและสายเคเบิลเพื่อป้องกันการผ่านของก๊าซ ไอระเหยและเปลวไฟจากส่วนใดส่วนหนึ่งไปยังส่วนอื่นผ่านทางท่อร้อยสายไฟ

ข. การติดตั้งระบบควบคุมแรงดันบ่อเก็บก๊าซ (ระบบไฟฟ้าและเครื่องกล)

ข-1 ชุดควบคุมแรงดันบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ

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

(1) โครงสร้างที่ไม่มีการเปลี่ยนรูปทรง

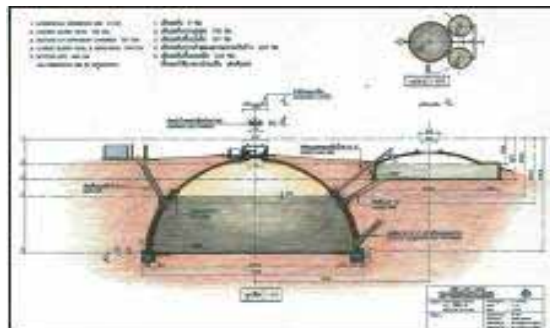
ในระบบเก็บก๊าซชีวภาพแบบนี้จะสามารถเกิดแรงดันที่เป็นบวก (Over Pressure) เมื่อมีก๊าซชีวภาพ ที่ผลิตได้มากกว่าที่ปริมาณนำไปใช้งาน และแรงดันที่เป็นลบ (Vacuum) เมื่อมีการใช้ก๊าซชีวภาพมากกว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งต้องมีกลไกหรืออุปกรณ์ป้องกันแรงดันทั้งสองแบบที่จะเกิดขึ้นในระบบ เพื่อป้องกันความเสียหายต่อโครงสร้างได้ ทั้งนี้หากระบบควบคุมเป็นระบบควบคุมด้วยไฟฟ้า จำเป็นต้องมีระบบควบคุมแบบทางกล (Mechanics) ควบคู่ไปด้วยเพื่อป้องกันอันตรายหากเกิดกรณีไฟฟ้าดับ เช่น ในบ่อ Fixed Dome ที่มีการออกแบบให้มีระบบควบคุมแรงดันภายในบ่อหมัก



รูปที่ 3-9 โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นบ่อก่ออิฐฉาบปูน



รูปที่ 3-10 โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นถังเหล็ก



รูปที่ 3-11 บ่อ Fixed Dome ที่มีการออกแบบให้มีระบบควบคุมแรงดันภายในบ่อหมัก

(2) โครงสร้างที่มีการเปลี่ยนรูปทรง

ระบบเก็บก๊าซชีวภาพแบบนี้ เป็นระบบควบคุมแรงดันแบบไม่ใช้ไฟฟ้าโดยจะสามารถเปลี่ยนแปลงรูปทรงได้ตามปริมาณก๊าซชีวภาพ เมื่อปริมาณก๊าซชีวภาพมีน้อย รูปทรงของบ่อเก็บก๊าซนี้อาจเป็นแบนราบ เมื่อก๊าซชีวภาพสะสมภายในบ่อเก็บก๊าซนี้มากขึ้น รูปของบ่อจะเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งอยู่ในรูปทรงที่ออกแบบไว้ ซึ่งในกรณีที่บ่อเก็บก๊าซชีวภาพมีรูปทรงได้ตามที่ออกแบบแล้ว แสดงว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดที่บ่อเก็บก๊าซจะรับเอาไว้ได้ ดังนั้นจะต้องมีชุดควบคุมแรงดันสำหรับ บ่อเก็บก๊าซประเภทนี้ตั้งรูปเพื่อป้องกันแรงดันที่มากเกินไปทำให้เกิดการฉีกขาดของวัสดุที่ใช้ทำบ่อเก็บก๊าซนี้ได้



รูปที่ 3-12 โครงสร้างบ่อเก็บก๊าซชีวภาพที่เป็นวัสดุ PVC และ Membrane



รูปที่ 3-13 อุปกรณ์ชุดควบคุมแรงดัน

ระบบควบคุมแรงดันที่ดีจะต้องมีระบบควบคุมแรงดันโดยระบบไฟฟ้าที่ทำงานร่วมกับระบบควบคุมการส่งจ่ายก๊าซชีวภาพและชุดเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง (Flare) และจะต้องมีการติดตั้งถังป้องกันแรงดันสูงหรือต่ำของระบบเก็บก๊าซ (Water Seal Tank) กรณีที่ระบบควบคุมแรงดันโดยระบบไฟฟ้าไม่ทำงานหรือทำงานผิดพลาด

(3) ถังป้องกันความดันสูงหรือต่ำของบ่อก๊าซ (Water Seal Tank)

เป็นอุปกรณ์เชิงกลตัวหนึ่งที่ใช้กับการผลิตก๊าซเพื่อป้องกันแรงดันเกินหรือต่ำในระบบกรณีที่ไฟฟ้าดับหรือ ในกรณีที่ชุดควบคุมเสียหรือไม่สามารถควบคุมแรงดันได้ตามที่ต้องการ



- ♣ ต้องสามารถรองรับการดูดหรือปล่อยอากาศ ได้ไม่น้อยกว่าปริมาณการใช้ก๊าซจริง
- ♣ ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดี เนื่องจาก ในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วยซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลส

รูปที่ 3-14 ถังป้องกันความดันสูงหรือต่ำของบ่อก๊าซ (Water Seal Tank)

(4) สวิตช์ป้องกันความดันสูงหรือต่ำเกินกำหนด (Pressure & Vacuum Switch)

เป็นอุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซในบ่อเก็บก๊าซ โดยเฉพาะในระบบที่มีถังเก็บก๊าซแบบไม่เปลี่ยนรูปทรง เมื่อแรงดันก๊าซมากเกินไปจะสั่งงานให้ชุดเผาก๊าซส่วนเกินทำงาน และเมื่อแรงดันต่ำเกินกำหนดจะสั่งให้ Blower ส่งก๊าซ/หรืออุปกรณ์ใช้ก๊าซชีวภาพหยุดทำงาน



- ✦ ต้องอ่านค่าได้แม่นยำ และไม่ผิดพลาด
- ✦ สามารถควบคุมการทำงานได้แม่นยำ
- ✦ ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม และมีการสอบเทียบตามความเหมาะสม

รูปที่ 3-15 สวิตช์ป้องกันความดันสูงหรือต่ำเกินกำหนด (Pressure & Vacuum Switch)

(5) ตัวส่งสัญญาณแรงดันก๊าซ (Pressure Transmitter)

เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณให้ชุดควบคุมแรงดันก๊าซ โดยเฉพาะในระบบที่มีถังเก็บก๊าซแบบไม่เปลี่ยนรูปทรง โดยปกติอุปกรณ์นี้จะติดตั้งอยู่กับตัวท่อก๊าซทั้งด้านที่ดูดและที่ส่ง จึงจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนและทนต่ออุณหภูมิแสงแดดและน้ำฝน



- ♣ ต้องอ่านค่าได้แม่นยำและส่งสัญญาณไม่ผิดพลาด
- ♣ ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดี เนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วยซึ่งเป็นสาเหตุ ของ การกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลส
- ♣ ทนต่อสภาพภูมิอากาศ แดด และ ฝน
- ♣ ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม และมีการสอบเทียบตามความเหมาะสม

รูปที่ 3-16 ตัวส่งสัญญาณแรงดันก๊าซ (Pressure Transmitter)

(6) ตัวควบคุมแรงดันก๊าซ (Pressure Controller)

เป็นอุปกรณ์ควบคุมปั๊มส่งก๊าซโดยตรง โดยรับสัญญาณจากตัวส่งสัญญาณ แล้วนำมาประมวลผลเพื่อนำไปควบคุมปั๊มส่งก๊าซ



- ✦ ต้องอ่านค่าได้แม่นยำและไม่ผิดพลาด
- ✦ สามารถควบคุมการทำงานได้แม่นยำ
- ✦ ได้มาตรฐานอุตสาหกรรมและมีการสอบเทียบจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรอง

รูปที่ 3-17 ตัวควบคุมแรงดันก๊าซ (Pressure Controller)

ที่มา : คู่มือกำหนดความปลอดภัยของการออกแบบระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ ,
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน , 2552

3.2 ส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

ก. การเลือกใช้วัสดุสำหรับท่อส่งก๊าซ

ระบบก๊าซชีวภาพในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นระบบความดันต่ำ (Low Pressure) โดยมีแรงดันไม่เกิน 300 mbar (หรือ 4.35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และในก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังนั้นวัสดุสำหรับนำมาใช้เป็นท่อส่งจ่ายก๊าซนั้น จะต้องสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ เช่นท่อ PVC , ท่อ HDPE หรือท่อ Stainless สิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือ ท่อ PVC สามารถรับแรงดันในระบบ Low Pressure ได้ แต่โดยปกติท่อ PVC ในการผลิตจะไม่ได้เติมสารป้องกันรังสีจากแสงแดด ดังนั้นหากเดินท่อเหนือพื้นดิน อาจจะไม่เหมาะสมในการเลือกท่อชนิดนี้ ส่วนท่อ HDPE จะป้องกันรังสีได้ดี ซึ่งหากต้องการเดินท่อส่งก๊าซชีวภาพเหนือผิวดิน ท่อ HDPE จะเหมาะสมมากกว่า ส่วนท่อ Stainless มีความแข็งแรงและทนต่อการแตกหักรวมถึงสามารถเดินเหนือพื้นดินได้ดี แต่จะมีราคาสูงที่สุด

ท่อที่ใช้ในการส่งจ่ายก๊าซไปยังจุดใช้งาน โดยทั่วไปนิยมในโรงงานอุตสาหกรรมใช้ท่อ HDPE ซึ่งทนทานต่อการกัดกร่อนของก๊าซและราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับท่อสแตนเลส แต่ในส่วนของฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มักจะใช้ท่อ PVC เนื่องจากสามารถต่อใช้งานได้ง่ายสำหรับการติดตั้งและราคาถูก



รูปที่ 3-18 ท่อ PVC



รูปที่ 3-19 ท่อ Stainless



รูปที่ 3-20 ท่อ HDPE

- ต้องเป็นท่อซึ่งสามารถรับแรงดันได้มากกว่าแรงดันการใช้งานปกติ
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อต้องไม่เล็กจนเกินไป โดยคำนึงถึงปริมาณการใช้ก๊าซเป็นหลัก
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดี เนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลส HDPE PVC
- การติดตั้งท่อ PVC โดยเฉพาะในส่วนเชื่อมต่อท่อให้ตรวจสอบการติดตั้ง ส่วนเชื่อมต่อที่ใช้กาวโดยละเอียด และแน่นหนา

การติดตั้งท่อ HDPE ที่นิยมใช้ในการส่งจ่ายก๊าซในกรณีของท่อส่งก๊าซในระบบฝังกลบขยะ สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษคือ ความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวของชั้นขยะ ดังนั้นในการออกแบบท่อลำเลียงก๊าซจากบ่อขยะ จะต้องออกแบบแนวป้องกันความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวของชั้นขยะด้วย

ข. การเลือกใช้ขนาดท่อสำหรับท่อส่งก๊าซ

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

ค. การเดินท่อส่งก๊าซชีวภาพ

ค-1 การวางท่อส่งก๊าซเหนือพื้นดิน

ท่อส่งก๊าซที่วางเหนือพื้นดินทั้งภายนอกไม่ควรใช้ท่อ PVC เนื่องจากท่อไม่ได้เติมสาร Anti UV จะทำให้ท่อเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว รวมถึงการที่ท่อโดนความร้อน/ความเย็นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการยืดตัวและหดตัว จึงเป็นเหตุทำให้การต่อเชื่อมตามข้อต่อด้วยกาวสามารถหลุดออกได้เกิดก๊าซรั่วไหลได้ ท่อส่งก๊าซที่วางเหนือพื้นดินควรได้รับการยึดเกาะหรือรองรับ (Hangers, Support and Anchors) ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันความล้มหรือการแตกหักและกระทบกระเทือนต่างๆ ตัวยึดเกาะหรือตัวค้ำยันต้องแข็งแรงเพียงพอต่อการรับน้ำหนักของท่อส่งก๊าซ ไม่ควรติดตั้งหรือยึดตัวค้ำยันกับกำแพงหรือรั้วของโรงงาน 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)

ท่อส่งก๊าซที่วางเหนือพื้นผิวจราจรที่มีรัศมีวงผ่านระดับความสูงของท่อจะต้องสูงพ้นจากการเกาะเกี่ยวของรถบรรทุกหรือรถยก (Folk lift) และควรมีป้ายบอกระดับความสูงของท่อส่งก๊าซและ จัดให้มีระบบหรือเครื่องป้องกันอันตรายที่เกิดจากการเกาะเกี่ยวจากรถด้วย

ค-2 การวางท่อส่งก๊าซใต้พื้นดิน

การวางท่อส่งก๊าซใต้พื้นดินนั้น ท่อส่งก๊าซที่วางใต้พื้นดินควรวางที่ระดับความลึก ไม่น้อยกว่า 0.6 ม. จากหลังท่อและท่อที่ฝังผ่านพื้นผิวจราจร ต้องมีระดับความลึกไม่น้อยกว่า 0.8 ม. (ปรับแต่งตัวเลขจาก Industrial Fuel Gas Piping System Standard Practice ของ ปตท.) ร่องที่ขุดสำหรับวางท่อใต้ดินต้องบดอัดปรับให้เรียบ เพื่อป้องกันการทรุดตัวของท่อและให้จัดหาป้ายเตือน (Warning Sign) เพื่อบอกแนวของท่อก๊าซใต้ดิน ท่อส่งก๊าซที่วางใต้พื้นดินควรให้มีท่อ ปกคลุมป้องกันบริเวณรอยต่อระหว่างท่อใต้ดินและท่อเหนือดิน และให้ซีลหรือปิดผนึกด้วยวัสดุกันน้ำที่ช่องว่างระหว่างท่อส่งก๊าซกับท่อ ปกคลุม และท่อส่งก๊าซที่วางใต้พื้นดินจะต้องวางขึ้นเหนือพื้นดินก่อนเข้าอาคารโรงงาน การวางท่อใต้ดินควรหลีกเลี่ยงการวางท่อผ่านฐานราก ผนัง หรือใต้อาคาร และ ห้ามใช้ข้อต่อชนิดเกลียวกับการวางท่อใต้ดิน

ข้อควรระวังในการวางท่อก๊าซ

- มาตรฐานวัดก๊าซ และวาล์วปรับความดันก๊าซ สำหรับอุปกรณ์ใช้ก๊าซ ควรห่างจากจุดกำเนิดประกายไฟ หรือความร้อนอย่างน้อย 0.9 เมตร (3 ฟุต)
- ห้ามใช้ส่วนหนึ่งส่วนใดของท่อเป็น Ground หรือต่อลงดินของระบบไฟฟ้า
- ไม่ควรใช้ท่อก๊าซเป็นตัวค้ำยัน รองรับ หรือยึดเกาะของระบบท่ออื่นๆ
- ไม่ควรตัด หรืองอท่อเหล็กที่ใช้เป็นท่อส่งก๊าซ
- ท่อส่งก๊าซส่วนที่ชำรุดให้เปลี่ยนใหม่ไม่ควรซ่อมแซม
- ควรหลีกเลี่ยงการวางท่อก๊าซร่วมกับท่อร้อยสายไฟที่ระบายน้ำหรือผ่านระบบจ่ายไฟฟ้า (SubStation) ของโรงงาน

ง. การเลือกสีของท่อก๊าซ

การเลือกสีของท่อก๊าซหากมีการออกแบบอย่างเป็นระบบจะช่วยในด้านความปลอดภัยและการซ่อมบำรุง โดยมาตรฐาน EPB 203 (มกราคม 2551) ของกระทรวงสิ่งแวดล้อมประเทศแคนาดา ได้กำหนดสีของท่อในระบบบำบัดน้ำเสียดังนี้

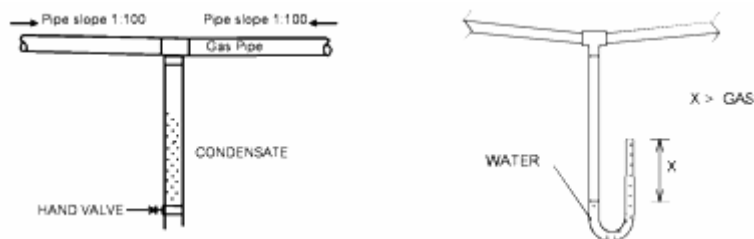
ตารางที่ 3-2 แสดงการกำหนดสีของท่อในระบบบำบัดน้ำเสีย

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

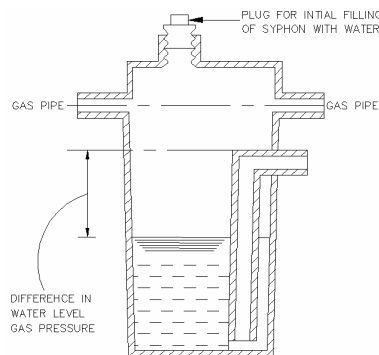
- หมายเหตุ : 1. ระบุทิศทางการไหล (ลูกศร) บนผิวท่อ
2. ให้ใช้สีตามที่กำหนดตลอดความยาวของท่อ
3. การคาดสี ควรระบุทุก 9 เมตร และทุกจุดที่จะเริ่มเข้าและหลังจากออกจากกำแพง

จ. การระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซ (Condensate Drain)

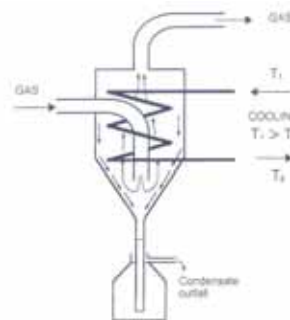
เนื่องจากในระบบก๊าซชีวภาพจะมีไอน้ำจำนวนมาก เมื่อก๊าซไหลผ่านท่อจะมีการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซ และในการเดินท่อส่งก๊าซจะต้องมีการวางท่อในแนวนอนให้มีความลาดเอียงประมาณ 1:100 โดยจุดดักน้ำจะต้องติดตั้งบริเวณจุดต่ำสุดของแนวท่อแต่ละช่วงและควรติดตั้งก่อนถึงถังกรอง(ชุด Filter) ดังรูป



รูปที่ 3-21 Manual Condensate Drain แบบ Tee และ แบบ U-Pipe



รูปที่ 3-22 การดักน้ำออกแบบ ctive condensate Siphon Condensate Drain



รูปที่ 3-23 ระบบระบายน้ำแบบ Active condensate

ตารางที่ 3-3 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 แต่ภายในต้องเคลือบสารเพื่อป้องกันการกัดกร่อนและหน้าวาล์วควรเป็นสแตนเลสแต่ในส่วนของฟาร์มเลี้ยงสัตว์และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กจะเลือกใช้วาล์ว PVC เป็นส่วนใหญ่ส่วนตัววาล์วนั้นควรเลือกใช้ชนิดที่เป็นบอลวาล์วเพื่อสามารถเปิดปิดได้อย่างรวดเร็วหากเกิดการรั่วไหลของก๊าซ

ตารางที่ 3-4 เปรียบเทียบวาล์วชนิดต่างๆ

ประเภท	ข้อดี	ข้อด้อย
Gate (เกทวาล์ว)	ราคาถูก	ความขึ้นอาจจะค้างในร่อง
Globe (โกลบวาล์ว)	ราคาถูกเท่าเกทวาล์ว	ไม่เหมาะสมในกรณีต้องการปิดวาล์วอย่างรวดเร็ว
Butterfly (วาล์วปีกผีเสื้อ)	ราคาถูก	ไม่เหมาะสมสำหรับการส่งจ่ายก๊าซที่ติดไฟ
Ball (บอลวาล์ว)	เหมาะสมสำหรับการปิดวาล์วอย่างรวดเร็ว	ราคาแพง

ฉ-1 วาล์วป้องกันความดันย้อนกลับ (Back Pressure Check Valve)

ติดตั้งที่ท่อทางส่งของบิ๊มส่งก๊าซเพื่อป้องกันความดันย้อนกลับขณะบิ๊มส่งก๊าซหยุดทำงาน



- ◆ วาล์วกันกลับควรติดตั้งในจุดที่มีแรงดันต่ำด้านท้ายของมิเตอร์ตัวปรับ แรงดัน และอุปกรณ์ควบคุมก๊าซอื่นๆที่อาจเกิดความเสียหายจากการไหลย้อนของแรงดันในระบบอันเนื่องมาจากคลื่นแรงดันหรือสภาพอื่นๆ
- ◆ ขนาด 2 นิ้ว - 12 นิ้ว
- ◆ ต้องการการไหลเต็มท่อด้วยแรงดันสูญเสียต่ำ และการไหลสูงสุด
- ◆ วาล์วที่ทำด้วยวัสดุที่ทนทานการกัดกร่อน ได้แก่อลูมิเนียม (เกรด 356) เหล็กและสแตนเลส

ฉ-2 วาล์วป้องกันความดันสูงเกินกำหนด (Pressure Relief Valve)

เป็นอุปกรณ์สำหรับป้องกันความดันสูงเกินกว่ากำหนดในระบบกรณีที่ชุดบิ๊มส่งก๊าซ ไม่สามารถควบคุมแรงดันการส่งจ่ายได้



- ต้องสามารถระบายก๊าซออกรวดเร็ว และทันต่อปริมาณของก๊าซที่ส่งไปใช้งาน
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดี เนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลส
- ต้องสามารถปรับตั้งแรงดันได้ตรงกับการใช้งานจริง

รูปที่ 3-24 วาล์วป้องกันความดันสูงเกินกำหนด (Pressure Relief Valve)

- ขนาด 2 นิ้ว – 12 นิ้ว
- ค่าแรงดันที่ตั้งไว้ $0.5 \text{ oz/in}^2 - 15 \text{ PSIG}$
- ค่าสูญญากาศที่ตั้งไว้ $0.5 \text{ oz/in}^2 - 12 \text{ PSIG}$
- วัสดุที่ใช้ ได้แก่ อลูมิเนียม (เกรด 356) เหล็ก สแตนเลส ไฟเบอร์กลาส และวัสดุอื่นๆ
- ติดตั้งเป็นโมดูล

ขนาดและวัสดุ

ช่วงการตั้งแรงดัน : $2.5 - 3.5 \text{ mbar}$

ช่วงอุณหภูมิใช้งาน : $-192 - 150^\circ\text{C}$

ขนาด : 2" - 12"

วัสดุ : อลูมิเนียม, เหล็กหล่อ, สแตนเลสสตีล

ข. การเลือกอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

ข-1 การเลือกใช้ Blower ส่งก๊าซสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท

เป็นอุปกรณ์สำหรับดูดก๊าซจากบ่อเก็บก๊าซชีวภาพแล้วส่งไปยังจุดใช้งานที่ต้องการแรงดันสูงหรืออาจจะเป็นการส่งไปใช้งานในระยะทางไกลและจำเป็นต้องมีชุดควบคุมแรงดัน สำหรับส่งจ่ายก๊าซ



รูปที่ 3-25 Blower

- ต้องสามารถส่งก๊าซได้เพียงพอกับปริมาณการใช้จริง
- ต้องมีอุปกรณ์รองรับการสั่นสะเทือนของ Blower และ มอเตอร์
- ท่อก๊าซที่ต่อเข้ากับตัว Blower ต้องมี ท่ออ่อนรองรับการสั่นสะเทือน
- มอเตอร์ต้องเป็นชนิดกันระเบิด (สำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่)
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนจาก Biogas

ช-2 การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันการระเบิด

ควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เป็นแบบป้องกันการระเบิด (Explosion Proof) เช่น มอเตอร์ / ไฟฟ้าแสงสว่างที่อยู่ในบริเวณระบบผลิต/ระบบส่งจ่าย/ระบบใช้ก๊าซชีวภาพ

ช-3 กับดักระบายคอนเดนเสทและสิ่งปนเปื้อน (Condensate and Sediment Traps)

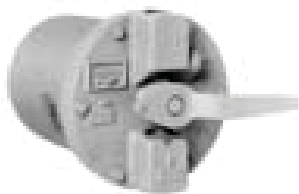
ติดตั้งที่ท่อส่งก๊าซ เพื่อใช้ระบายน้ำและสิ่งปนเปื้อนออกจากระบบส่งก๊าซ



- ช่วงอุณหภูมิ : -30 °C ถึง 150 °C
- ขนาด : 2 นิ้ว - 12 นิ้ว
- วัสดุที่ใช้ ได้แก่ เหล็ก สเตนเลส และวัสดุอื่นๆ
- ความจุต่ำสุด 12 แกลลอน
- แรงดันมาตรฐาน 5 PSIG และสูง ถึง 25 PSIG
- สามารถดักน้ำและสิ่งแปลกปลอมในก๊าซชีวภาพ
- มีความจุที่มาก / มีที่ระบายน้ำอัตโนมัติ

รูปที่ 3-26 กับดักระบายคอนเดนเสทและสิ่งปนเปื้อน (Condensate and Sediment Traps)

ช-4 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap – Manual



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

รูปที่ 3-27 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap – Manual

ช-5 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap – Automatic



- ต้องสามารถระบายน้ำได้ทัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการส่งก๊าซ
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดี เนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสเตนเลส

รูปที่ 3-28 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap – Automatic

ช-6 ระบบกรองก๊าซชีวภาพ (Gas Purifiers)

ชุดดักน้ำและสิ่งสกปรก (Gas Filter)

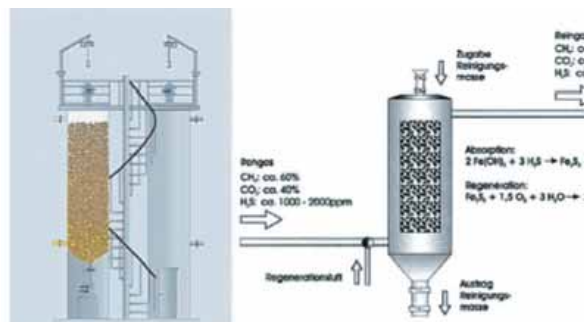


รูปที่ 3-29 ระบบกรองก๊าซชีวภาพ (Gas Purifiers)

ช. การเลือกประเภทชุดกรองก๊าซชีวภาพ (H₂S Removal)

ระบบกำจัดกำมะถันจากก๊าซชีวภาพ (Desulphurization Unit) ระบบกำจัดกำมะถันหรือระบบกำจัดก๊าซ H₂S ออกจากก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซ H₂S นี้จะเป็นสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบก๊าซชีวภาพเกิดความเสียหาย

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



รูปที่ 3-30 ชุดฟอกก๊าซชีวภาพต่าง ๆ

หมายเหตุ : วัสดุที่ใช้ทำชุดฟอกก๊าซหากทำด้วยคอนกรีตหรือก่ออิฐฉาบปูนจะมีอายุการใช้งานสั้น ประมาณ 3-4 ปี
ปูนภายในบ่อจะเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว

3.3 ส่วนการนำก๊าซไปใช้ประโยชน์

ก่อนที่จะนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์นั้น สิ่งที่ต้องพิจารณาคือ แรงดันในการส่งก๊าซไปยังจุดใช้งานซึ่งอุปกรณ์ที่นำก๊าซชีวภาพแต่ละชนิดต้องการไม่เท่ากันซึ่งอาจจะอยู่ในช่วง 200-300 mbar (2.9-4.3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ส่วนอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่นำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์โดยจะมีเกณฑ์ในการกำหนดจากความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพจำเพาะ และที่สำคัญไม่น้อยไปกว่ากันก็คือเปอร์เซ็นต์มีเทน CH_4 ซึ่งโดยทั่วไปจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 และ H_2S จะต้องอยู่ในช่วง 200-500 ppm. ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานว่าจะกำหนดสูงสุดไม่เกินเท่าไร

ก. การนำก๊าซชีวภาพใช้ในรูปของความร้อนโดยตรง

โดยทั่วไปแล้วจะนิยมนำก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง หัวกกลูกลูกร และการใช้ในครัวเรือน เป็นต้น ทางเลือกนี้จะเหมาะสำหรับฟาร์มหรือโรงงานที่มีรูปแบบการใช้พลังงานความร้อนอยู่แล้วและปริมาณความต้องการก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงมีเพียงพอ เมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ โดยส่วนใหญ่จะเป็นการดัดแปลงอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิมให้สามารถใช้งานกับก๊าซชีวภาพได้จะเป็นการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานที่ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง

ทั้งนี้ในการนำก๊าซชีวภาพในรูปความร้อนทั้งที่ผลิตในประเทศหรือนำเข้าจากต่างประเทศหรือดัดแปลงจากเชื้อเพลิงประเภทอื่น (เช่น น้ำมันเตา) จะต้องมีการวิเคราะห์รับรองการออกแบบและติดตั้งตามกฎหมาย กำหนดสาขา วิชาชีพวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ. 2550



รูปที่ 3-31 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในรูปของความร้อนโดยตรง

ข. การนำก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า

ข-1 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบเชื้อเพลิงคู่

ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึงระบบเครื่องยนต์เล็กที่ใช้น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิงใช้สำหรับเป็นต้นกำลังสำหรับขับเคลื่อนควมคุมอุณหภูมิหรือสำหรับสูบน้ำใช้ในกิจกรรมภายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เมื่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพแล้วสามารถนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์เล็กได้โดยการดัดแปลงเครื่องยนต์ให้เป็นระบบเชื้อเพลิงคู่ โดยจะสามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ประมาณร้อยละ 50-80



รูปที่ 3-32 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบเชื้อเพลิงคู่

ข-2 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์เบนซินดัดแปลง (BG 100%)

เครื่องยนต์เบนซินโดยทั่วไปสามารถดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งสามารถใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนเชื้อเพลิงเดิม (น้ำมันเบนซิน) ได้ทั้งหมดซึ่งเป็นที่นิยมสำหรับฟาร์ม เลี้ยงสัตว์ขนาดกลาง เนื่องจากการดูแลรักษาง่าย ระบบไม่มีความซับซ้อนมากทางเจ้าหน้าที่ของ ฟาร์มที่มีความรู้เรื่องเครื่องยนต์บ้างก็สามารถปฏิบัติงานซ่อมบำรุงหรือซ่อมแซมเล็กน้อยได้เอง



รูปที่ 3-33 เครื่องยนต์เบนซินดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพได้ 100 % ต่อร่วมกับ

Synchronous/Induction Generator เพื่อผลิตไฟฟ้า

ข-3 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลง (BG 100%)

ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่หรือในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการกำลังผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ 100 kW ขึ้นไปมักจะหันมาใช้เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพแทนได้ทั้งหมด เนื่องจาก เครื่องยนต์เบนซินขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 100 kW ขึ้นไปหาได้ยากในท้องตลาด จะมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลที่มีขนาดความจุระบอกลูกสูบที่ใหญ่กว่าเครื่องยนต์เบนซินทำให้ สามารถผลิตกำลังได้ตามที่ต้องการได้ แต่เนื่องจากการดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลนี้ มีความซับซ้อน และมีรายละเอียดมากกว่าเครื่องยนต์เบนซิน ทำให้การบำรุงรักษาต่างๆ มักจะกระทำโดยผู้ผลิตหรือ ผู้ดัดแปลงดังกล่าวเป็นผู้ทำการบำรุงรักษา



รูปที่ 3-34 เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพแทนได้ทั้งหมดต่อร่วมกับ
Synchronous/Induction Generator เพื่อผลิตไฟฟ้า

ข-4 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (เครื่องนำเข้า)

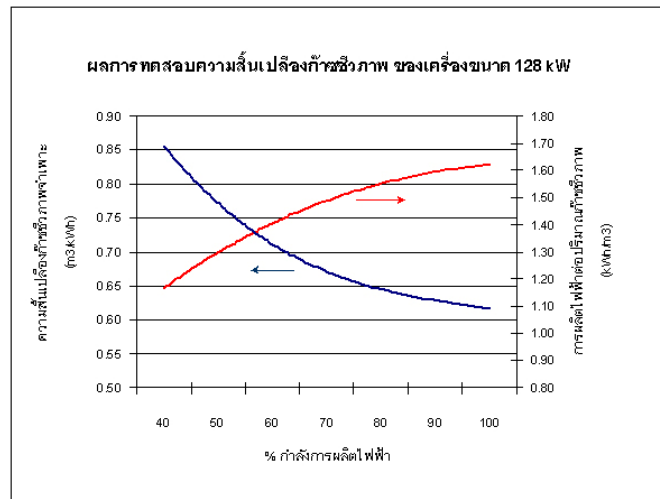
ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความต้องการไฟฟ้ามากกว่า 200 kW ขึ้นไป นิยมเลือกเครื่องปั่นไฟที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งจะเป็นเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพโดยเฉพาะซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากก๊าซชีวภาพเป็นไฟฟ้าได้สูง เครื่องยนต์ที่ดัดแปลงจากเครื่องยนต์เบนซินหรือเครื่องยนต์ดีเซลแต่อาจจะมีข้อจำกัดเรื่องราคาเครื่องและค่าบำรุงรักษาที่สูงกว่าเครื่องยนต์ดัดแปลงภายในประเทศ



รูปที่ 3-35 เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโดยเฉพาะ (เครื่องยนต์นำเข้า) โดยต่อร่วมกับ
Synchronous Generator ในการผลิตไฟฟ้า

ค. การเลือกขนาดเครื่องปั่นไฟ

การเลือกขนาดหรือกำลังการผลิตของอุปกรณ์นำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้ก๊าซชีวภาพ มีความจำเป็นมากเนื่องจากส่วนใหญ่ผู้ประกอบการมักจะเลือกเครื่องปั่นไฟตามราคา/ขนาดกำลังผลิต (บาท/kW) ซึ่งขนาดเครื่องยนต์ที่ใหญ่ขึ้น ราคา/กำลังผลิตไฟฟ้าจะต่ำลง แต่ผลที่ตามมาคือฟาร์มใช้เครื่องยนต์ที่ประมาณร้อยละ 30-50 ของกำลังผลิตทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องปั่นไฟตกลงในขณะที่ยังค่าบำรุงรักษาต่างๆจะขึ้นอยู่กับชั่วโมงใช้งาน จึงทำให้ผู้ประกอบการได้ประโยชน์จากระบบก๊าซชีวภาพลดลงอีกด้วย



รูปที่ 3-36 กราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์แก๊สชีวภาพของเครื่องขนาด 128 kW.

จากรูปกราฟจะเห็นว่าการเดินเครื่องปั่นไฟที่ร้อยละของกำลังผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป การผลิตไฟฟ้าต่อปริมาณแก๊สชีวภาพที่ใช้ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากแก๊สชีวภาพไปเป็นไฟฟ้าลดลงอย่างมาก ดังนั้นผู้ออกแบบควรจะแนะนำให้ผู้ประกอบการเลือกขนาดเครื่องให้เหมาะสม กล่าวคือการใช้งานจริงควรอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 70-85 ของกำลังผลิตจะได้ประสิทธิภาพที่ดีและสามารถใช้เครื่องปั่นไฟได้คุ้มค่าน่ามากยิ่งขึ้น

ง. ปล่องเผาแก๊สชีวภาพทิ้ง (Flare)

Flare ใช้สำหรับระบายแก๊สในระบบทิ้งโดยเผาไหม้ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ เมื่อปริมาณแก๊สมากเกินความต้องการใช้งานโดยจะมีชุดควบคุมและตรวจจับแรงดันของแก๊สเพื่อสั่งให้ปล่องเผาแก๊สทำงาน รวมถึงมีอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับเข้าไปในระบบในขณะมีการทำงานของปล่องเผาแก๊สด้วย Flare ที่ผลิตในประเทศหรือนำเข้าจากต่างประเทศจะต้องมีวิศวกรเซ็นรับรองการออกแบบและติดตั้งตามกฎหมายกระทรวงกำหนดสาขาวิชาชีพอวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ. 2550



รูปที่ 3-37 ปล่องเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง (Flare)

- ✍ ติดตั้งห่างอย่างน้อย 30 เมตรจากแหล่งกำเนิดก๊าซชีวภาพหรือเก็บก๊าซชีวภาพ
- ✍ ใช้วัสดุที่ทำด้วยสแตนเลสในบริเวณที่มีเปลวไฟ
- ✍ มีหัวเผาหน้า
- ✍ สามารถเผาไหม้ในกรณีที่ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำกว่า 400 BTU./ลบ.ฟุต
- ✍ มีระบบป้องกันการไหลย้อนลงด้านล่าง เพื่อป้องกันลม
- ✍ การเผาไหม้แบบวอร์เท็กซ์ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้

- ✘ สามารถจุดไฟแบบอัตโนมัติ และสามารถจุดไฟซ้ำ
- ✘ ระบบหัวเผานำต้องสามารถทำงานที่ต่ำกว่า 23 mbar (องค์ประกอบมาตรฐาน)
- ✘ เผาไหม้เร็ว และง่ายในการดูแลรักษา
- ✘ ติดตั้งก่อนท่อส่งก๊าซ Generator (FFG)
- ✘ ต้องมีระบบป้องกันไฟย้อนกลับ ในขณะที่เผาไหม้
- ✘ ต้องมีชุดควบคุมการจ่ายก๊าซอัตโนมัติ
- ✘ ต้องออกแบบให้เผาไหม้ก๊าซเพียงพอกับปริมาณก๊าซที่ระบายทิ้ง



จ. ส่วนอุปกรณ์หรือพื้นที่อื่นที่มีผลต่อความปลอดภัย

จ-1 ระบบป้ายสัญญาณเตือนเพื่อความปลอดภัยและระบบดับเพลิง

ในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพนั้น เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานของพนักงานในหลายจุด ดังนั้น นอกเหนือจากการออกแบบและการดูแลระบบที่เหมาะสมดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ทางผู้ประกอบการสามารถนำระบบป้ายสัญญาณเตือนเพื่อความปลอดภัยมาใช้ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพได้ตามความเหมาะสม ทั้งนี้บริเวณที่ควรมีการติดป้ายเตือนความปลอดภัยควรมีอย่างน้อยดังนี้

(1) บริเวณถังหมักและถังเก็บก๊าซชีวภาพ

- ควรติดป้าย ห้ามจุดไฟ ห้ามสูบบุหรี่ ห้ามใช้โทรศัพท์และห้ามเข้าก่อนได้รับอนุญาต



(2) บริเวณพื้นที่ส่วนเครื่องปั่นไฟ และหัวเผา

- ควรติดป้าย ห้ามจุดไฟ ห้ามสูบบุหรี่ ห้ามใช้โทรศัพท์และห้ามเข้าก่อนได้รับอนุญาต
- สวมหมวกนิรภัย สวมรองเท้านิรภัย สวมปลั๊กอุดหูลดเสียง



(3) บริเวณอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบก๊าซชีวภาพ

- ควรติดป้าย ห้ามจุดไฟ ห้ามสูบบุหรี่ และห้ามเข้าก่อนได้รับอนุญาต



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



รูปที่ 3-38 การติดตั้งถังดับเพลิงใกล้ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

จ. อุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้อง

จ-1 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ (Biogas analyzer)

เป็นอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ความเข้มข้นขององค์ประกอบต่างๆในก๊าซชีวภาพ เช่น ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไข่เน่า (H_2S) และสามารถส่งสัญญาณไปเตือนภัย หรือ ส่งสัญญาณไปหยุดการทำงานของหัวพันไฟ เมื่อคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพผิดปกติเช่น

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



- ☆ ต้องสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมงและอ่านค่าได้ แม่นยำ
- ☆ ต้องมีปุ่มเก็บก๊าซตัวอย่าง ชุดหล่อเย็น ไล่กรองฝุ่นและอุปกรณ์ดักน้ำ
- ☆ ต้องสามารถใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์และมีโปรแกรม ประมวลผล
- ☆ ต้องสามารถส่งสัญญาณไปเตือนภัยและหยุดการทำงานของหัวพันไฟ
- ☆ ต้องสามารถตรวจสอบการทำงานได้เอง (Self - test) และแสดงสัญญาณเตือนในกรณีไม่พร้อมใช้งาน (Error display)

รูปที่ 3-39 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ

จ-2 เครื่องวัดการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ (Biogas leakage detector)

เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจหาการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ ณ จุดต่างๆ เช่น ข้อต่อ หน้าแปลน และผ้าใบเพื่อความปลอดภัย คุณสมบัติของเครื่องวัดควรมีรายละเอียดดังนี้



- ต้องอ่านค่าได้แม่นยำ
- ต้องสามารถปรับเทียบได้เอง (Self - calibrate)
- ต้องสามารถแสดงค่าสูงสุดของการวัด

รูปที่ 3-40 เครื่องวัดการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ

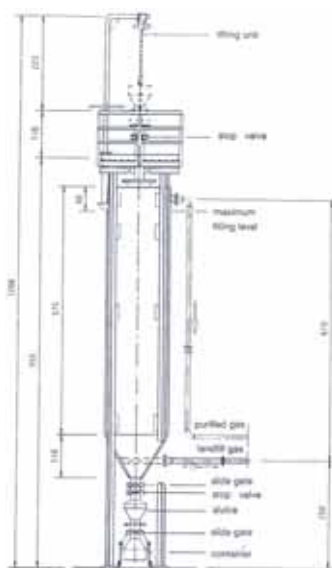
3.4 ส่วนของระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพและกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

การปรับลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพนั้นมีคุณสมบัติเป็นก๊าซพิษและ เมื่อสัมผัสกับน้ำหรือไอน้ำจะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรดหรือไอรกรดที่สามารถ กัดกร่อนโลหะและวัสดุอุปกรณ์ได้ ดังนั้นการลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในก๊าซชีวภาพก่อนการนำไปใช้ประโยชน์นั้นจะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปและจะช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ใช้ก๊าซด้วย

สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการปรับลดไฮโดรเจนซัลไฟด์นั้น สามารถทำได้ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

1) การฉีดสารละลายเหล็กออกไซด์ (Iron Chloride Injection)

วิธีการนี้จะเป็นการใช้สารละลายเหล็กออกไซด์ฉีดเข้าไปในถังที่มีก๊าซผสมที่มีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่มากโดยตรง เพื่อให้เหล็กออกไซด์เข้าไปทำปฏิกิริยากับ H_2S เกิดเป็นตะกอนของเหล็กขึ้นมา วิธีการนี้จะสามารถลดปริมาณก๊าซ H_2S ได้เป็นจำนวนมาก แต่ก็ยังไม่มากพอที่จะลดปริมาณได้ถึงระดับที่สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ได้

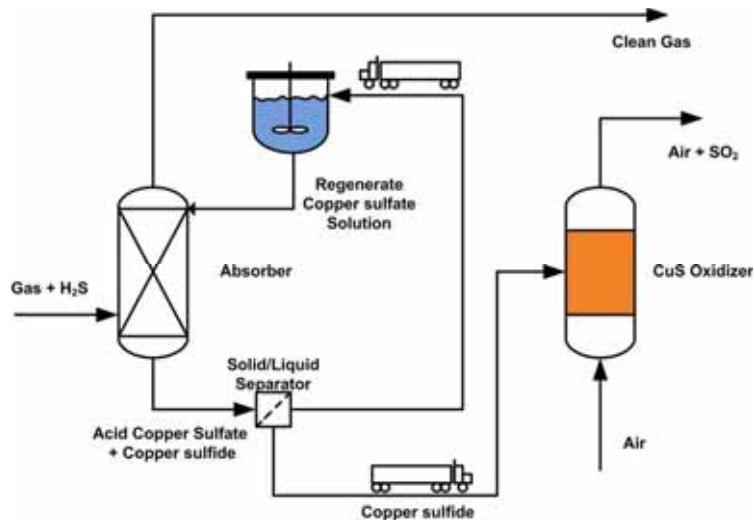


รูปที่ 3-41 การกำจัด H_2S โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีในการกำจัดและปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ด้วยวัสดุเหล็ก (Ferrous)

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 เมื่อเทียบกับเบดที่เป็นหินไม้หรือวัสดุอื่นๆ

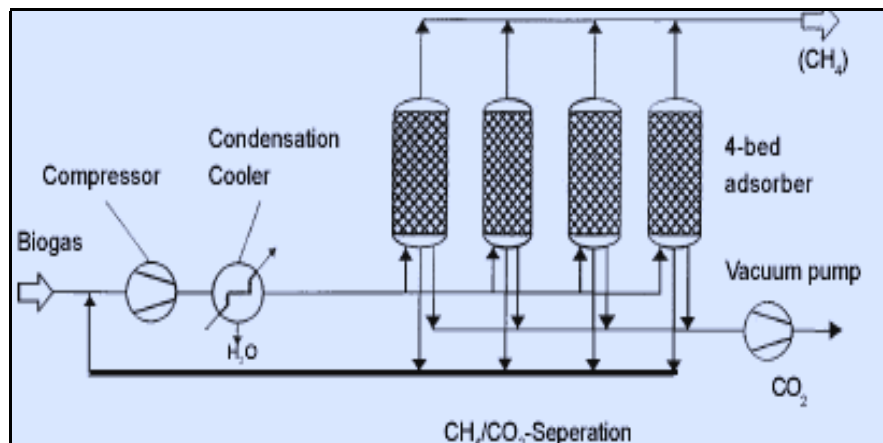
สำหรับวิธีการรีเจนเนอเรตสารละลายเหล็ก เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่นั้น จะใช้การฉีดพ่นอากาศเข้าไป ซึ่งจากวิธีการนี้พบว่าเกิดปัญหาขึ้นได้ กล่าวคือ ปฏิกิริยาการรีเจนเนอเรต สารละลายเหล็กแบบนี้จะเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน จึงต้องใช้ความระมัดระวังในการดำเนินกระบวนการเป็นอย่างมาก



รูปที่ 3-42 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารละลายเหล็ก

3) การใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon Sieve)

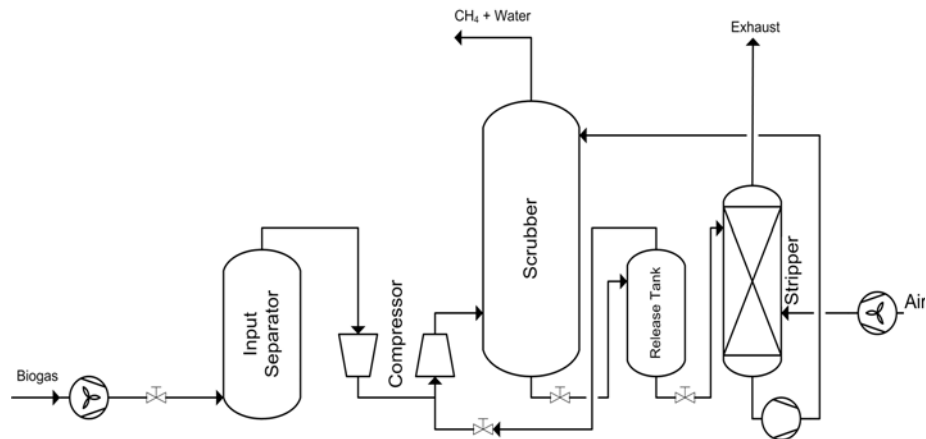
วิธีการนี้มักจะนำไปใช้เพื่อในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ผ่านทางกระบวนการ pressure swing โดยโมเลกุลของ H_2S จะถูกดักจับโดยรูพรุนที่มีอยู่ในถ่านกัมมันต์ โดยการใช้ความดันจากระบบ pressure swing เป็นตัวเสริม โดยผงถ่านกัมมันต์จะถูกบรรจุอยู่ในเพลท ที่วางขวางอยู่ในถังแยกก๊าซ โดยทั่วไปเพลทที่ใช้บรรจุถ่านกัมมันต์จะมีทั้งหมด 4 เพลท และเมื่อถ่านกัมมันต์ดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถึงระดับอิ่มตัวแล้ว ก็จะถูกนำออกมาเพื่อบรรจุถ่านกัมมันต์รุ่นใหม่ลงไป วิธีการนี้ยังสามารถใช้ได้กับการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพอีกด้วย



รูปที่ 3-43 กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธี Pressure swing adsorption

4) Water Scrubbing

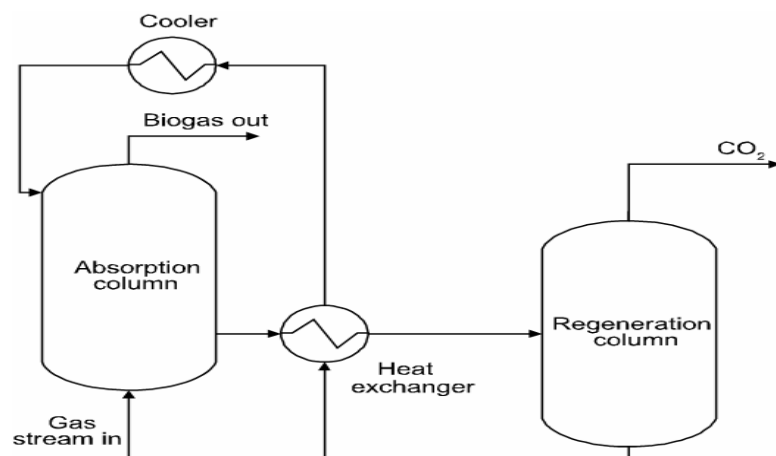
เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้มาเป็นระยะเวลานานแล้ว หลักการคือ การใช้ละอองน้ำฉีดเป็นฝอยจากยอดหอ เพื่อดักจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้จะทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ก็คือ น้ำที่จับกับก๊าซ H_2S จะกลายเป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งยากต่อการกำจัด เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมสำหรับการกำจัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นด้วย



รูปที่ 3-44 ผังกระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยน้ำภายใต้ความดันสูง
(High pressure water scrubbing)

5) Selexol Scrubbing

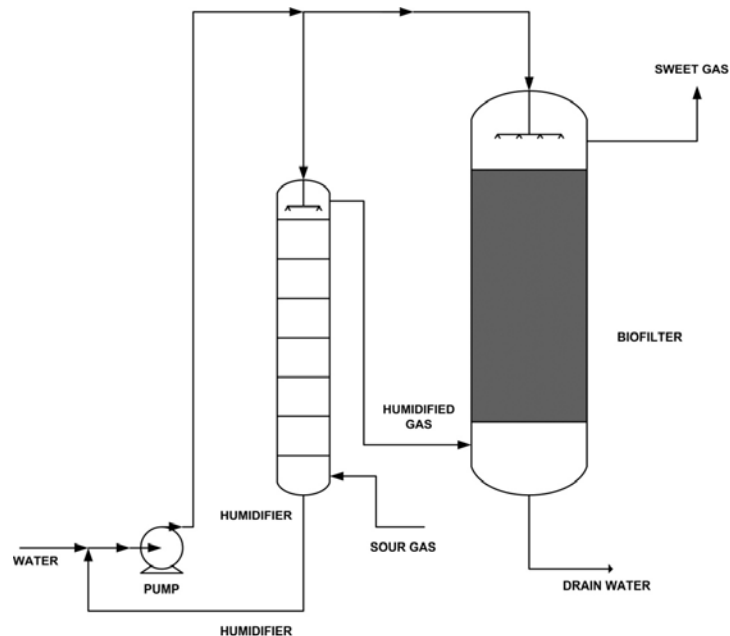
สารละลาย Selexol คือสารละลายของ polyethylene glycol ซึ่งถูกนำมาใช้ในการกำจัดก๊าซ H_2S และ CO_2 ซึ่งได้กล่าวถึงมาแล้วในส่วนของกำจัด CO_2



รูปที่ 3-45 กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยสาร “Selexol” ภายใต้ความดันสูง

6) Biological Filter

เป็นการใช้ตัวกรองทางชีวภาพร่วมกันกับน้ำ หลักการคือ เมื่อน้ำจับกับก๊าซ H_2S แล้วเกิดเป็นน้ำเสียขึ้นมา แล้วนั้น น้ำเสียเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียบางชนิด ที่ติดอยู่ในตัวกรองที่กั้นห่อ เป็นการกำจัดกลิ่นออกจากน้ำเสีย เพื่อสามารถนำน้ำไปใช้ในการเกษตรต่อไปได้



รูปที่ 3-46 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบต่อเนื่องด้วยปฏิกรณ์ชนิด Bio-Filter

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. สถานที่ซึ่งมีก๊าซอย่างต่อเนื่องและความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้
- ข. สถานที่ซึ่งมีก๊าซตลอดเวลาและความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้

2 บริเวณอันตราย โซน 1 ได้แก่บริเวณดังต่อไปนี้

- ก. สถานที่ซึ่งในภาวะการทำงานปกติอาจมีก๊าซที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้
- ข. สถานที่ซึ่งอาจมีก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้บ่อยๆ เนื่องจากการซ่อมแซมบำรุงรักษาหรือรั่ว
- ค. สถานที่ซึ่งเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหายหรือทำงานผิดพลาดอาจทำให้เกิดก๊าซที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้และในขณะเดียวกันอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งเป็นสาเหตุให้อุปกรณ์ไฟฟ้าดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดของการระเบิดได้
- ง. สถานที่ซึ่งอยู่ใกล้บริเวณอันตรายโซน 0 และอาจได้รับการถ่ายเทก๊าซที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้ 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 1
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. เครื่องสูบลดก๊าซชีวภาพ (ในอาคาร)	ก. ภายในห้องที่มีเครื่องดังกล่าว ข. ภายในระยะ 5.00 เมตร ภายนอกห้องที่มีเครื่องดังกล่าว หรือภายในระยะ 5.00 เมตรของช่องเปิดภายนอกใดๆ	โซน 0 โซน 1
4. ระบบท่อส่งก๊าซ	ภายในระยะ 1.50 เมตร ทุกทิศทาง	โซน 1
5. จุดนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	ก. ภายในระยะ 1.50 เมตร ทุกทิศทางจากจุดที่มีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	โซน 1

4.3 ระบบไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ ที่ใช้ในบริเวณอันตรายในระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ

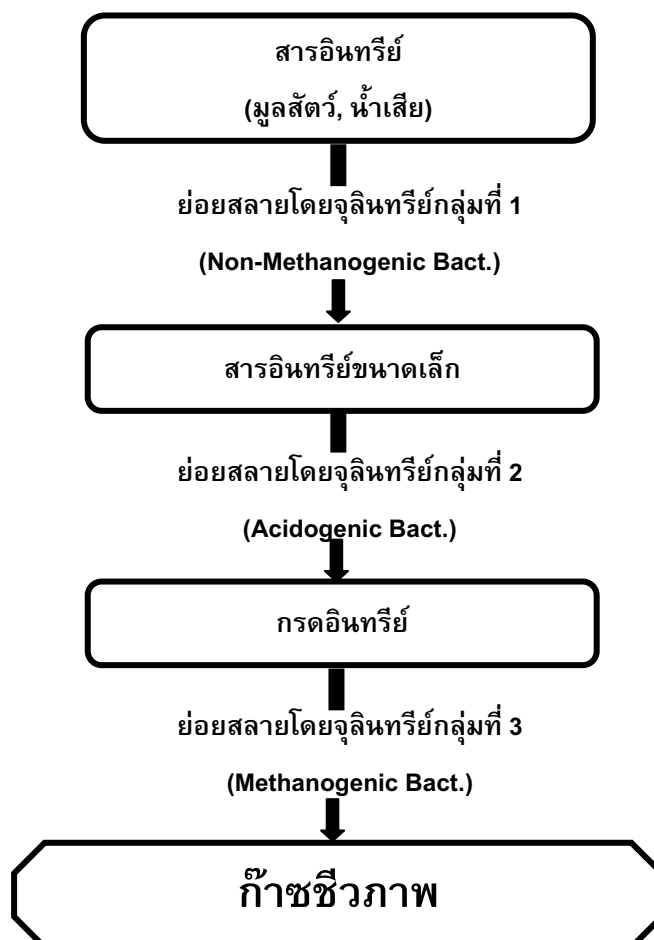
- 1) ระบบไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้า บริภัณฑ์และอุปกรณ์ ที่ใช้ในบริเวณอันตรายโซน 0 โซน 1 ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลอันเป็นที่ยอมรับ เช่น NFPA* หมายเลข 70 NEC IEC*
- 2) อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด ที่จะนำมาใช้ในบริเวณอันตรายโซน 0 โซน 1 จะต้องได้รับการรับรองจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ส่วนราชการหรือรัฐวิสาหกิจที่เกี่ยวข้อง หรือได้รับการรับรองจากสถาบันต่างประเทศ เช่น สถาบัน UL แห่ง ประเทศสหรัฐอเมริกา หรือสถาบัน BASEEFA แห่งประเทศอังกฤษ หรือสถาบัน PTB แห่งประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน เป็นต้น

บทที่ 5

การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสียในฟาร์มปศุสัตว์

การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปใช้เป็นพลังงานทดแทน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมการทำงานของระบบให้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ ดังนั้นต้องมีการรักษาและตรวจสอบการทำงานของหน่วยบำบัดย่อยต่างๆ ให้ทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต้องมีการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ อยู่อย่างสม่ำเสมอ

ทั้งนี้รายละเอียดของหน่วยย่อยต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถเขียนได้ดังแสดงในรูปที่ 5-1 ซึ่งจะแยกองค์ประกอบของระบบเป็นสองกลุ่มคือหน่วยบำบัดทั่วไป กับหน่วยบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพ หน่วยบำบัดทั่วไปคือระบบบำบัดน้ำเสียในส่วนที่ไม่ก่อให้เกิดกระบวนการหมักและผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ระบบรวบรวมน้ำเสีย ระบบถังตกตะกอนชั้นต้น ระบบบำบัดขั้นหลัง เป็นต้น ส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพคือส่วนของกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งมีการสร้างก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 5-1 ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในฟาร์มปศุสัตว์

แนวทางปฏิบัติในการควบคุมและดูแลการทำงานระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จะเกี่ยวเนื่องกับหน่วยต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งมีความสัมพันธ์กัน จึงควรพิจารณาและปฏิบัติเป็นประจำเพื่อเพิ่มทักษะ เข้าใจในขั้นตอน เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพดี ใช้ได้ยาวนาน และลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง

5.1 แนวทางปฏิบัติในการเดินระบบ

5.1.1 การเตรียมความพร้อมก่อนเริ่มต้นเดินระบบ

- 1) ความพร้อมของบุคลากรที่จะทำหน้าที่ดูแลระบบก๊าซชีวภาพทางฟาร์มฯ ต้องจัดเตรียมบุคลากร เพื่อปฏิบัติงานดูแลระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีคนดูแลระบบและคนงาน เพื่อทำหน้าที่ ดังต่อไปนี้
 - ดูแลระบบส่งน้ำเสียตั้งแต่โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ ท่อส่งน้ำเสีย รางและบ่อรวมน้ำเสีย
 - ดูแลระบบก๊าซชีวภาพให้สามารถใช้งานได้ดีอยู่เสมอ
 - ดูแลรักษาความสะอาดบริเวณโดยรอบ ของระบบก๊าซชีวภาพ และระบบบำบัดขั้นหลัง
 - ดูแลบำรุงรักษาเครื่องยนต์ผลิตพลังงานไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง
 - ดูแลบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานอื่นๆ ที่ใช้ภายในฟาร์ม
 - ดูแลการหมุนเวียนน้ำตะกอนและจัดเก็บกากตะกอนแห้งออกจากลานกรองของแข็ง
 - บันทึกข้อมูลการใช้พลังงานจากก๊าซชีวภาพและปริมาณการใช้น้ำในแต่ละวัน
- 2) ความพร้อมของระบบก๊าซชีวภาพ จะต้องพิจารณาความพร้อมและความเหมาะสมก่อนทำงาน เริ่มต้น การเดินระบบคือ
 - ความพร้อมของระบบก๊าซชีวภาพ
 - ประดิษฐ์ความพร้อมของชุดบ่อผึ่งแบบผสม พืชน้ำที่ได้ปลูกไว้ในบึง จะต้องเจริญเติบโต พร้อมที่จะรับภาระที่เกิดจากน้ำเสียที่จะทำการบำบัดได้

5.1.2 การเริ่มต้นเดินระบบ

- ก. การตรวจสอบความพร้อมของระบบก๊าซชีวภาพ ทำการเติมน้ำสะอาดเข้าสู่ระบบ โดยปล่อยเข้าทาง บ่อเติมน้ำเสีย จนถึงระดับที่ได้ออกแบบไว้ และในระหว่างการเติมน้ำนั้น ให้ทำการตรวจสอบสิ่ง ต่างๆ ดังต่อไปนี้
 - 1) การกระจายน้ำจากบ่อรวมน้ำเสียเข้าสู่บ่อเติมทั้งหมดเท่ากันหรือไม่
 - จะต้องทำการปรับกระจายน้ำบริเวณบ่อเติมให้เท่ากันทั้งหมด (บ่อแผด)
 - 2) บริเวณเวียร์ของบ่อหมักแบบ UASB มีน้ำรั่วซึมเข้าด้านในบ่อหรือไม่
 - ถ้ามี จะต้องทำการอุดรอยรั่วที่เกิดขึ้นเหล่านั้นก่อน
 - 3) มีรอยรั่วซึมหรือแตกร้าวในตัวระบบก๊าซชีวภาพ หรือไม่
 - 4) การไหลของน้ำในท่อทุกเส้น ไหลไปสู่ระบบบำบัดขั้นหลังทั้งหมดหรือไม่
 - 5) การไหลของน้ำในท่อที่เชื่อมต่อระบบบำบัดขั้นหลังแต่ละบ่อ เท่ากันหรือไม่
- ข. เมื่อเริ่มสูบน้ำเสียเข้าระบบ ต้องปรับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบให้เหมาะสม โดยสังเกต จากเวียร์น้ำล้นบริเวณบ่อตกทราย และปรับอัตราการไหลของน้ำเสียโดยวาล์วบริเวณบ่อรวมน้ำเสียให้มีความเหมาะสม และควรให้น้ำเสียเข้าบ่อเติมทั้ง 2 ด้านเท่ากัน



รูปที่ 5-2 การไหลของน้ำเสียที่มีอัตราการไหลสูงเกินไปจนน้ำเสียไหลล้นเวียร์



รูปที่ 5-3 การไหลของน้ำเสียที่มีอัตราการไหลเหมาะสมกับระบบน้ำจะไม่ล้นเวียร์

การวัดอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ ทำได้โดยการ

- ปิดทางเข้าน้ำเสียบริเวณบ่อเติม วัดปริมาตรน้ำ แล้วจับเวลา
- คำนวณจากเวียร์
- คำนวณจากการจับเวลาขณะน้ำลดในบ่อรวมน้ำเสีย
- เมื่อน้ำเข้าระบบ ให้ปรับวาล์วบริเวณบ่อดักกาก เพื่อให้อัตราการไหลของน้ำใสจากบ่อหมักทรงมีความเหมาะสม โดยมีวิธีตรวจสอบ ดังรูปที่ 5-4 ถึงรูปที่ 5-12



รูปที่ 5-4 วาล์วที่บริเวณบ่อดักกาก ที่ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของน้ำส่วนใสจากบ่อหมักทรง ซึ่งวาล์ว ทั้ง 2 ตัว ต้องปรับให้เท่ากัน



รูปที่ 5-5 ระดับน้ำที่มีการปรับวาล์วพอดี ทำให้ ระดับน้ำมีความเหมาะสม คือ ไม่เกินกว่าระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดในบ่อหมักกรางตามระดับน้ำที่ออกแบบไว้ ซึ่งถ้าน้ำอยู่ระดับนี้ จะทำให้น้ำที่เข้าระบบและออกระบบ มีปริมาณเท่า ๆ กัน



รูปที่ 5-6 ระดับน้ำที่สูงเกินไป จนท่วมท่อแสดงตั้งวาล์วให้น้ำมีอัตราการไหลน้อยเกินไป ซึ่งถ้าหากระดับน้ำสูงเกินระดับสูงสุดที่ออกแบบไว้ในบ่อหมักกราง จะทำให้ ตะกอนไหลข้ามคาน มาเข้าด้านบนของชุดดักตะกอนปนกับน้ำใสออกมา อาจทำให้บ่อ UASB ทำงานได้ไม่ดี



รูปที่ 5-7 ระดับน้ำที่ต่ำกว่าปกติแสดงว่าปรับระดับวาล์วให้มีอัตราการไหลมากเกินไป ปรับระดับวาล์วให้พอดี เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่ให้ก๊าซชีวภาพรั่วออกมาที่บ่อ ดึงกากผ่านทางท่อน้ำใส



รูปที่ 5-8 น้ำส่วนใส ที่ออกจากบ่อหมักกราง ควรจะมีลักษณะใส ไม่มีตะกอนปน

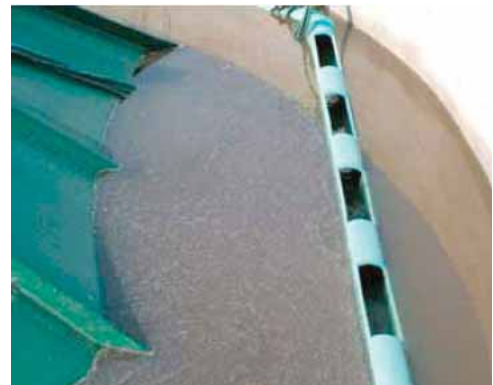


รูปที่ 5-9 การใส่ seed ลงในบ่อ UASB โดยอาจใช้ ตะกอนจากบ่อหมักกรอง โดยใส่ประมาณ 10% ของปริมาตรบ่อ UASB ในรูป ใช้ปั๊มสูบน้ำสูบตะกอนจากบ่อตั้งกากไปยังบ่อพักน้ำส่วนใส เพื่อให้ไหลไปยังบ่อ UASB



รูปที่ 5-10 การปรับวาล์วที่หมุนเวียนตะกอนจากบ่อหมัก รวบรวมน้ำเสียให้มีปริมาณ 10 % ของปริมาตรของน้ำเข้าระบบ

รูปที่ 5-11 การปรับระดับน้ำออกตรงบ่อ UASB ไม่ควรให้น้ำท่วมท่อและเวียร์น้ำออก การกระจายน้ำเข้าสู่เวียร์ในแต่ละอันต้องเท่ากัน ถ้าหากน้ำที่ออกมีอัตราการไหลมากเกินไป ต้องไปปรับวาล์วบริเวณบ่อตั้งกาก ซึ่งการปรับวาล์วต้องควบคุมให้ระดับน้ำทั้งในบ่อตั้งกากและอัตราการไหลออกตรงบ่อ UASB มีความเหมาะสมทั้ง 2 แห่ง ในรูปจะแสดงการปรับอัตราการไหลได้เหมาะสม



รูปที่ 5-12 ถ้าอัตราการไหลมีมากเกินไป จะทำให้น้ำท่วมบริเวณท่อและเวียร์น้ำออก ซึ่งจะทำให้บ่อ UASB ทำงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ



5.1.3 ตัวอย่างการเริ่มเดินระบบของบ่อหมักกราง

การเริ่มต้นเดินระบบที่ใช้บ่อหมักแบบราง หรือบ่อหมักกรางร่วมกับบ่อ UASB เข้าด้วยกันนั้น วิธีการเดินระบบจะเหมือนกับระบบเดิม ต่างกันเพียงบางจุดเท่านั้น ซึ่งมีดังนี้

๑๐ การตรวจสอบความพร้อมของบ่อหมักกรางและบ่อ UASB

- 1) ท่อดึงกากบริเวณบ่อดึงกากที่เป็นวงส้วม มีระดับถูกต้องและการเชื่อมต่อระหว่างบ่อดึงกาก ทั้งสองบ่อถูกต้องหรือไม่ และสามารถดึงกาก จากทั้งบ่อหมักกรางและบ่อ UASB ให้ไหลมารวมกันแล้วไหลไปลานตากพร้อมๆ กันได้หรือไม่
- 2) น้ำใสที่ออกจาก บ่อ UASB ผ่านทางท่อน้ำใสทั้ง 3 ท่อ ไหลมายังบ่อรวมน้ำใสที่เป็นวงส้วม มีอัตราการไหลในแต่ละท่อเท่ากันหรือไม่ และท่อทั้ง 3 ท่อมีระดับถูกต้องหรือไม่
- 3) การติดตั้งวาล์วของบ่อรวมน้ำใสไปยังระบบบำบัดชั้นหลังถูกต้องหรือไม่
- 4) เมื่อนำน้ำเข้าสู่บ่อหมัก ต้องให้ระดับน้ำทั้งในบ่อหมักกรางและบ่อ UASB มีระดับเท่าๆ กัน เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายกับผนังกันระหว่างบ่อ แต่ถ้าจำเป็นต้องนำน้ำเข้าที่ละบ่อ ควรสลับกันนำน้ำเข้าและให้ระดับน้ำในแต่ละบ่อ ต่างกันได้ไม่เกิน 2 ม.
- 5) ในบ่อ UASB ควรใส่น้ำเสียลงไปด้วยประมาณ ๓.๓ เพื่อเป็นตัวเพาะเชื้อ (Seed) ให้บ่อ UASB ทำงานมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

๑๐ การเริ่มต้นเดินระบบของบ่อหมักกรางและบ่อ UASB

- 1) ถ้าหากระดับน้ำใสในบ่อรวม (วงส้วม) มีระดับที่สูงกว่าท่อจากบ่อ UASB แสดงว่าน้ำในบ่อ UASB มีระดับสูงกว่าท่อออก ควรปรับวาล์วให้น้ำใสไหลออกได้มากขึ้นเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) ระดับน้ำที่ปกติควรให้มีระดับอยู่ที่ประมาณครึ่งท่อของท่อน้ำใสจากบ่อ UASB

๑๐ การตรวจสอบเมื่อระบบเริ่มผลิตก๊าซชีวภาพ

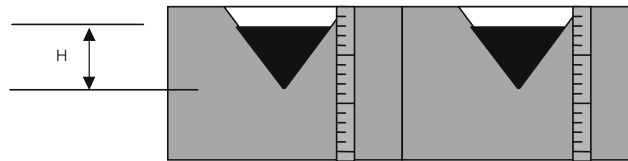
เมื่อเริ่มเดินระบบได้ประมาณ 7 วัน จะมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นจนเต็มปริมาตรของพลาสติกคลุมเก็บก๊าซที่บ่อหมักแบบราง ที่ปรึกษาและ/หรือผู้ดูแลระบบฯ จะทำการตรวจสอบสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ชุดควบคุมแรงดันแบบธรรมดาของบ่อหมักแบบรางมีระดับน้ำตรงตามที่กำหนดไว้หรือไม่ หากไม่ตรง จะต้องเติมน้ำจนได้ระดับตามที่กำหนด และควรหมั่นตรวจดูเป็นประจำ
- 2) ชุดควบคุมแรงดันบ่อรางทำงานเป็นปกติหรือไม่ นั่นคือ เมื่อมีแรงดันในบ่อหมักแบบรางสูงประมาณ 1.5-2.0 ซม. น้ำ ชุดระบายก๊าซจะระบายก๊าซออกและจะหยุดทำงานเองเมื่อแรงดันในบ่อหมักกรางลดต่ำลง หากสังเกตได้ว่าแรงดันในบ่อหมักแบบรางมีมากเกินไปปกติ (พลาสติกคลุมเก็บก๊าซโป่งเกินไปปกติ) ชุดควบคุมแรงดันบ่อรางตั้งแรงดันสูงไว้สูงเกินไป (เติมน้ำในชุดควบคุมแรงดันมากเกินไป ให้ปรับลดระดับน้ำให้อยู่ระดับที่กำหนดไว้)
- 3) พลาสติกคลุมเก็บก๊าซและชุดจับยึดพลาสติก อยู่ในสภาพที่เรียบร้อยดีและใช้งานได้เป็นปกติ และควรทำความสะอาดพลาสติกคลุมเก็บก๊าซทุก 2 สัปดาห์

- 4) ให้ระดับน้ำในรางน้ำรอบบ่อหมักแบบรางอยู่ในระดับปกติ และควรทำความสะอาดเปลี่ยนน้ำทุก 1 เดือน

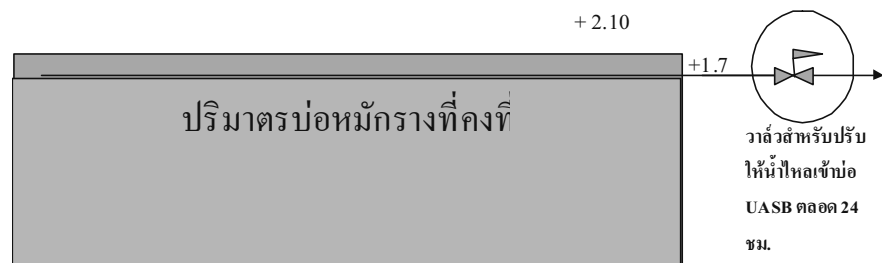
๑๐ การควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียในระบบ

- การสังเกตอัตราการไหลของน้ำเสียในระบบ ให้ดูจากความสูงของน้ำ ที่ไหลผ่านไม้บรรทัด ว่ามีความสูงเกินจากที่กำหนดให้ไว้หรือไม่ ถ้าสูงไปแสดงว่า อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบมีค่ามากเกินไป



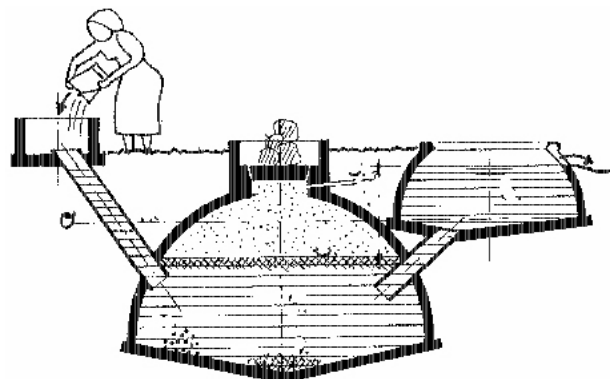
๑๑ การควบคุมปริมาตรของน้ำในบ่อหมักราง

- ระดับน้ำสูงสุดที่ออกแบบไว้ คือระดับ +2.10 และ ต่ำสุดคือ +1.70 ซึ่งต้องรักษาระดับน้ำในบ่อหมักราง ให้อยู่ในช่วงนี้ โดยปรับวาล์วให้อัตราการไหลเหมาะสม และวิธีการสังเกตและวิธีควบคุมให้ทำตามวิธีการเดินระบบ
- ระดับน้ำในบ่อหมักราง ถ้าต่ำกว่า +1.70 อาจจะทำให้ก๊าซรั่วออกไปทางท่อน้ำในไปยังบ่อดักกากได้



5.2 การดูแลรักษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบต่างๆ

5.2.1 ระบบก๊าซชีวภาพแบบ Fixed-dome



รูปที่ 5-13 การเทมูลลงบ่อเดิม

5.2.1.1 การเริ่มต้นเดินระบบ

การเติมมูลสัตว์

- 1) การเติมมูลครั้งแรก (7 วันแรก) ให้ใช้มูลวัวหรือควายเติมทุกวัน ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ปริมาณเติมมูลเมื่อเริ่มต้นเดินระบบ

ชนิดของส่วนผสม	ขนาดของบ่อก๊าซชีวภาพ		
	8 ม. ³	12 ม. ³	16 ม. ³
มูลวัว หรือ มูลควาย	30 ปีบ	40 ปีบ	60 ปีบ
น้ำ	30 ปีบ	40 ปีบ	60 ปีบ

- 2) ถ้าไม่สามารถหามูลวัวควายได้ ให้ใช้มูลสุกรเติมได้โดยเติมในอัตราส่วนครึ่งหนึ่งของมูลวัวที่ได้แนะนำไว้ ซึ่งจะใช้เวลาในการเติมประมาณ 2 สัปดาห์แล้วจากนั้นจึงเติมตามปกติ
- 3) หลังการสร้างบ่อเสร็จและได้มีการทดสอบบ่อด้วยน้ำแล้วไม่ต้องสูบน้ำออก ให้เปิดวาล์วปล่อยลมทิ้งจนแฉะวัดความดันอยู่ที่เลข 0 แล้วเติมมูลสัตว์ได้เลย
- 4) การเติมมูลครั้งแรกไม่ควรเติมครั้งเดียวเต็มบ่อเลย เพราะจะทำให้เกิดก๊าซซำหรือเกิดการเน่าเสีย ควรทยอยเติมไปเรื่อยๆ จนกว่าจะเต็ม
- 5) การเติมมูลครั้งต่อไปหลังจากเติมครั้งแรกได้ 7 วันแล้ว ครั้งต่อไปให้เติมตามปกติทุกวัน ดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 ปริมาณเติมมูลประจำวัน

ชนิดของส่วนผสม	ขนาดของบ่อก๊าซชีวภาพ		
	8 ม. ³	12 ม. ³	16 ม. ³
มูลวัว หรือ มูลควาย	3.5 ปีบ	5 ปีบ	7 ปีบ
น้ำ	3.5 ปีบ	5 ปีบ	7 ปีบ
มูลวัว หรือ มูลควาย	2.5 ปีบ	3.5 ปีบ	4.5 ปีบ
น้ำ	5 ปีบ	7 ปีบ	9 ปีบ

การเติมในลักษณะนี้ จะมีก๊าซใช้ในเวลา 2-3 วันและ ต้องเปิดก๊าซทิ้ง 3 ครั้ง ก่อนใช้งานไม่ควรเติมมากกว่านี้เพราะก๊าซจะไม่เกิด หรือหากเติมน้อยกว่านี้ ก๊าซก็จะเกิดซำ การเติมมูลสัตว์ต้องใช้มูลสัตว์สดเท่านั้น ห้ามใช้มูลสัตว์แห้งเพราะจะไม่ช่วยให้เกิดก๊าซ และยังจะทำให้บ่อเกิดการอุดตันอีกด้วย

5.2.1.2 การปฏิบัติงานดูแลระบบในการเดินระบบก๊าซชีวภาพแบบ fixed-dome

ก. การดูแลรักษาคอกสัตว์และรางระบายมูลสัตว์

- 1) ต้องมีการดูแลรักษาและทำความสะอาดคอกสัตว์ทุกวันโดยการตักหรือกวาดมูลไปใส่บ่อเดิม
- 2) ใช้น้ำล้างคอก ให้สะอาดและไหลไปสู่รางระบายมูลสัตว์
- 3) ไม่ควรให้น้ำที่มีการใช้สารเคมีหรือสารปฏิชีวนะหรือยาฆ่าเชื้อล้างคอก ไหลเข้าบ่อหมัก เพราะสารเหล่านั้นจะทำให้แบคทีเรียที่ทำให้มูลสัตว์เกิดก๊าซภายในบ่อตายได้



รูปที่ 5-14 การดูแลรักษาคอกและรางระบาย

ข. การดูแลรักษาบ่อเดิม

- 1) ขณะที่มีการกวนมูลสัตว์กับน้ำก่อนที่จะปล่อยลงบ่อเดิม ให้เก็บเศษฟางข้าว แกลบ หิน ดิน ทราย หรือเศษวัสดุที่ไม่ย่อยสลาย ออกจากมูลสัตว์ทุกครั้ง เพราะสิ่งเหล่านั้นจะทำให้พื้นบ่อหมักตื้นเขิน และเกิดการอุดตันภายในบ่อได้



รูปที่ 5-15 การกวนบ่อเดิม เปิดลิ้นชักและปิดให้เรียบร้อย

- 2) คนหรือกวนส่วนผสมจนเหลวเข้ากันดีทุกครั้งในช่องเดิมมูลสัตว์ จากนั้นจึงเปิดลิ้นชักที่ปากบ่อเดิม ให้ส่วนผสมไหลลงในบ่อหมัก



รูปที่ 5-16 การทำความสะอาดบ่อเติม และการใช้ไม้กระทุ้งบ่อเติม

- 3) ทำความสะอาดบ่อเติมและปิดลิ้นชักที่ปากบ่อเติมทุกครั้ง หลังจากเติมมูลสัตว์ลงในบ่อหมักแล้ว
- 4) ใช้ไม้กระทุ้งแห่บ่อเติมอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้มูลก๋อตัวติดกันเป็นก้อนกีดขวางทางเข้าของมูลสัตว์ และ เป็นการช่วยไม่ให้มูลตกตะกอนกันบ่อหมักอีกด้วย
- 5) ในการเติมมูลสัตว์ควรมีการเปิดก๊าซใช้ไปส่วนหนึ่งก่อน เพื่อให้มูลสัตว์ไหลลงบ่อหมักได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความดันในบ่อหมักที่มีอยู่มาก จะทำให้มูลที่เติมไหลลงได้ยาก

ค. การดูแลรักษาบ่อหมักและท่อตั้งกาก

- 1) หมั่นเติมน้ำสะอาดบนฝาบ่อหมัก เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเหนียวที่ใช้ปิดปากบ่อแห้ง เพราะจะนำไปสู่ปัญหาการเกิดก๊าซรั่วที่ปากบ่อได้
- 2) การเติมน้ำที่ฝาบ่อหมัก ไม่ควรเติมจนท่วมปลอกเหล็กที่ใช้รัดสายยางก๊าซ เพราะจะทำให้เกิดสนิม
- 3) ควรมีฝาปิดปากบ่อไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้สัตว์เลื้อยมากินน้ำนี้ และยังเป็นการป้องกันไม่ให้น้ำที่ใสไว้นั้น ระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว
- 4) ควรทำการเปิดฝาบ่อหมักปีละครั้งเพื่อตรวจสอบ และถ้าเป็นไปได้ควรเอามูลที่เป็นฝ้า (สำหรับมูลวัว) ออกจากบ่อ



รูปที่ 5-17 หมั่นเติมน้ำบนฝาบ่อ และปิดทุกครั้ง

ง. บ่อดึ่งกากสำหรับบ่อมูลสุกร (ที่ติดตั้งท่อดึ่งกาก)

การตกตะกอนของมูลสุกรในบ่อหมัก จะเร็วกว่ามูลวัวหรือมูลควาย และการจะเอาตะกอน
กันบ่อหมักออกก็เป็นเรื่องที่ยุ่งยาก ดังนั้นเพื่อป้องกันการอุดตันหรือทำให้บ่อตันขึ้นเร็ว ควร
ปฏิบัติดังนี้

- 1) ควรดึ่งลิ้นชักช่องดึ่งกากในขณะที่บ่อมีความดันสูงสุด เพราะแรงดันก๊าซจะช่วยผลัก
ตะกอนกันบ่อออก
- 2) ดึ่งลิ้นชักค้างไว้สักพักจนได้กลิ่นก๊าซออกมา หรือ จนกว่าส่วนที่ลิ้นชักออกมา มีความ
เหลวมาก จึงปิดลิ้นชักให้สนิทตามเดิม
- 3) ควรดึ่งกากอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง หากดึ่งลิ้นชักแล้ว มูลในท่อดึ่งกากไหลออก ให้ใช้
ไม้ทะลวงท่อลิ้นและท่อดึ่งกาก
- 4) อย่าดึ่งกากทุกวัน เพราะมูลสัตว์ในบ่อจะไม่มีระยะเวลาในการหมักสร้างก๊าซทำให้
แรงดันลดลงและก๊าซมีปริมาณน้อย
- 5) ดูแลให้ลิ้นชักของช่องดึ่งกากปิดให้สนิท ไม่มีน้ำรั่วซึมออกมา มิฉะนั้นจะทำให้แรงดัน
ภายในบ่อหมักลดลง
- 6) ถ้าบ่อรับกากจากท่อดึ่งกากเต็ม ต้องดักกากออกไปใช้งาน



รูปที่ 5-18 การดึ่งลิ้นชักดึ่งกาก และปิดให้สนิทดังเดิม

จ. การดูแลรักษาบ่อลิ้น

- 1) ดูแลปากบ่อลิ้นอย่าให้อุดตันโดยมันเกลี้ยกากมูลสัตว์ที่แห้งหรือตกค้างบริเวณปากช่อง
ระบายกากเพื่อให้มูลสัตว์ไหลออกได้สะดวก
- 2) ควรปิดฝาที่บ่อลิ้นเพื่อป้องกันไม่ให้สัตว์หรือน้ำฝนตกลงไป
- 3) ใช้ไม้แห่ทะลวงท่อบ่อลิ้นและกวาดภายในบ่อลิ้น อย่างน้อยสัปดาห์ละครั้งเพื่อป้องกัน
ไม่ให้มูลก่อตัวติดกันเป็นก้อนกีดขวางทางออกของมูลสัตว์และเป็นการช่วยไม่ให้มูล
ตกตะกอนกันบ่อหมักด้วย



รูปที่ 5-19 การทำความสะอาดปากบ่อล้น ทะลวงท่อ และปิดปากท่อล้นให้เรียบร้อย

ฉ. การดูแลรักษาบ่อรับกากจากบ่อล้นและกระบะกรอง

- 1) ไม่ควรปล่อยให้กากมูลสัตว์ล้นและทะลักออกมาจากบ่อรับกากจากบ่อล้น เพราะจะทำให้ไม่สบายตา และยังก่อให้เกิดความสกปรกแก่สถานที่ด้วย
- 2) ควรตักกากมูลสัตว์ออกจากบ่อรับกากจากบ่อล้นหรือกระบะกรองอย่างสม่ำเสมอ และนำไปใช้ใน สวน ไร่ นา หรือเก็บกองไว้ขาย ทั้งนี้เพื่อให้บ่อเต็มและไหลย้อนกลับเข้าบ่อหมัก
- 3) กากมูลสัตว์ที่อยู่ในบ่อรับกากจากบ่อล้น นอกจากจะใช้ในรูปของปุ๋ยน้ำแล้ว ยังสามารถนำมาผสมกับเศษวัชพืชทำเป็นปุ๋ยหมักหรือตากแห้งเพื่อนำไปใช้หรือขายในรูปปุ๋ยแห้งได้ด้วย



รูปที่ 5-20 การตักกากจากบ่อล้นที่มีมากเกินไปนำไปใช้ในส่วนอื่น

ช. การดูแลรักษาอ็อกดักน้ำ

- 1) ควรเปิดอ็อกดักน้ำ (Water trap) ทุก 2 สัปดาห์โดยไม่ต้องปิดวาล์วที่ปากบ่อ เพื่อปล่อยให้ น้ำที่ เกิดขึ้นภายในท่อไหลออกจากท่อให้หมดแล้วปิดอ็อกให้สนิท ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำขวางกันทางเดินก๊าซ
- 2) บ่ออ็อกดักน้ำควรมีฝาปิดไว้เพื่อป้องกันขยะ เศษใบไม้และน้ำฝน เข้าไปขังภายในบ่อ ซึ่งจะ ทำให้วาล์วกักมี ปัญหาหรือเกิดสนิมได้
- 3) ถ้าวาล์วกักเกิดการชำรุดเสียหาย ให้ทำการซ่อมแซมหรือทำการเปลี่ยนวาล์วกักใหม่ทันที

ข. การดูแลรักษาท่อนำก๊าซ

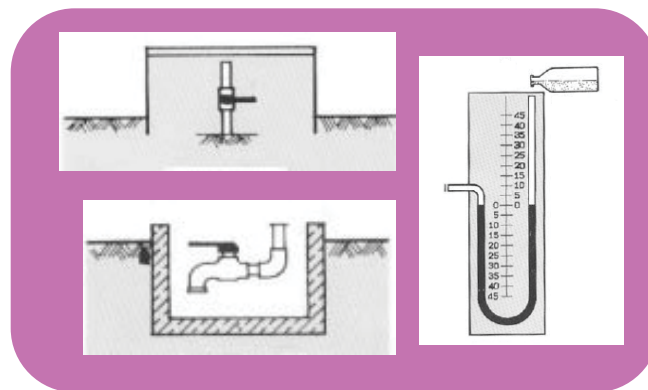
- 1) ดูแลในท่อแนบชิดติดผนังหรือเสาและมีปลอกกรัดท่อให้เรียบร้อย เพื่อยึดท่อให้มั่นคง ไม่ควรปล่อยให้ท่อติดตั้งอยู่ลอยๆ หรือสั่นคลอนเพราะจะทำให้โยกหักได้ง่าย
- 2) ท่อก๊าซที่เดินไว้ใต้ดินควรกลบดินฝังท่อให้มิดชิดเพื่อป้องกันการแตกหักจาก สัตว์เลี้ยง คน หรือยานพาหนะ
- 3) ทุกเดือนต้องตรวจสอบดูสายยางอ่อนที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์ว่ามีน้ำขังอยู่หรือไม่ถ้ามีน้ำขัง ให้ปิดวาล์วก๊าซและถอดสายยางอ่อนออก เทน้ำที่ขังอยู่ทิ้งไป แล้วต่อสายยางกลับ เข้าที่เดิม ใส่ปลอกกรัดให้เรียบร้อย



รูปที่ 5-21 การวางแนวท่อก๊าซที่ไม่ดีและที่ดี

ฅ. การดูแลรักษาแผงวัดความดันก๊าซ

- 1) แผงวัดความดันก๊าซ (Manometer) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบบ่อก๊าซชีวภาพ เพราะเป็นเครื่องชี้บอกความปกติของระบบก๊าซชีวภาพได้
- 2) ระดับน้ำของแผงวัดความดันก๊าซทั้ง 2 ข้าง ควรเท่ากัน (เมื่อปล่อยก๊าซออกจากท่อ จนหมด) เพื่อจะได้รู้ปริมาณของก๊าซที่ถูกต้องทำการปรับได้โดย ปิดวาล์วที่บ่อหมัก เปิดวาล์วก๊อกดักน้ำ เติมน้ำเข้าทางปลายท่อ จนน้ำทั้งสองข้างอยู่ที่ระดับศูนย์



รูปที่ 5-22 การดูแลรักษาแผงวัด

5.2.2 ระบบก๊าซชีวภาพแบบ MC-UASB

ระบบก๊าซชีวภาพ เป็นระบบที่มีองค์ประกอบและอุปกรณ์ต่างๆ ทำงานสัมพันธ์กัน ดังนั้นการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงระบบก๊าซชีวภาพ จึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรปฏิบัติตามคำแนะนำ ดังนี้

ก. ระบบรางและท่อส่งน้ำเสีย

เป็นระบบที่ใช้ส่งลำเลียงน้ำเสียจากโรงเรือนไปยังระบบก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะรองรับน้ำเสียจากโรงเรือนสุกรทั้งหมด วันละประมาณ 150 ม.3 ต่อระบบ 1,000 ม.3 จึงควรดูแลรักษาไม่ให้เกิดการแตกหักอันเนื่องมาจาก กิจกรรมต่างๆ ภายในฟาร์ม เพราะการซ่อมแซมท่อต่างๆ จะมีความยุ่งยากและไม่สามารถกระทำได้อย่างง่าย



รูปที่ 5-23 รางรวบรวมน้ำเสีย

- 1) ควรแยกน้ำฝนไม่ให้ไหลปนกับน้ำเสียเข้าสู่ระบบท่อส่งน้ำเสีย เพราะจะเป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบก๊าซชีวภาพมากเกินไป
- 2) ตรวจสอบการปล่อยน้ำเสียของแต่ละโรงเรือนจากรางส่งน้ำเสียเข้าสู่ระบบท่อส่งน้ำเสีย โดยไม่ให้สิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ขยะ เศษพลาสติก ไม้ หรืออื่นๆ หลุดปนกับน้ำเสียเข้าสู่ระบบท่อส่งน้ำเสีย มิฉะนั้นจะทำให้ท่อส่งน้ำเสียอุดตันได้ ซึ่งแก้ไขได้ยาก
- 3) ตะแกรงกรองสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ในน้ำเสียก่อนเข้าสู่บ่อพัก (Manhole) แต่ละโรงเรือนจะต้องอยู่ในสภาพที่ดีมีการทำความสะอาดหรือนำขยะและสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ออกทุกวันเพื่อป้องกันการอุดตันในท่อส่งน้ำเสีย และเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อเครื่องสูบน้ำเสียได้

ข. บ่อรวบรวมน้ำเสีย

- 1) ตรวจสอบดูบ่อรวมน้ำเสียว่าอยู่ในสภาพเรียบร้อยดีหรือไม่ และควรทำความสะอาดและนำทรายออกจากก้นบ่อเป็นครั้งคราว หรือประมาณ 6 เดือนต่อครั้ง
- 2) ตรวจสอบดูความเรียบร้อยของเครื่องสูบน้ำ ขาดัง บันไดให้อยู่ในสภาพที่สามารถทำงานได้ดี รอกดึงเครื่องสูบน้ำเสียควรมีการหล่อลื่นน้ำมันที่โซ่เพื่อป้องกันสนิม และควรตรวจสอบอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำ เช่น ลูกกลิ้ง ตัวควบคุม

ทุกวันให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานหรือทำงานได้อย่างเป็นปกติ และควรดื่มน้ำ น้ำเสีย ขึ้นมาตรวจสอบทุกวัน

- 3) ถ้าหากมี SCUM หรือเศษพวก หญ้า ไม้ และ ขยะ ลอยรวมตัวกันอยู่บริเวณ ผิวหน้าของน้ำเสีย ควรจะมีการฉีดน้ำลงไป ให้ SCUM หรือตะกอนขยะอื่นๆเกิด การแตกตัว เพื่อที่จะได้ไม่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของบิ๊มน้ำเสีย และถ้าในบ่อ รวมน้ำเสีย มีขยะ หรือ เศษต่างๆ มากเกินไป ควรมีการตักออกไม่ให้มีการสะสม มากเกินไป
- 4) ถ้ามีเศษขยะติดมากับน้ำเสียมามาก ควรติดตั้งตะแกรงดักตะกอนบริเวณปลายท่อ น้ำเสียในบ่อรวบรวมน้ำเสีย และอาจต้องมีตะแกรงครอบบริเวณบิ๊มน้ำเสีย เพื่อ ป้องกันบิ๊มน้ำเสียเกิดการเสีย
- 5) ขณะเวลาบิ๊มน้ำเสียเข้าระบบ ควรเปิดวาล์วบริเวณท่อน้ำออกเพื่อให้ น้ำเสียนกกลับ มาเพื่อให้เกิดการกวนผสมในบ่อรวมน้ำเสีย
- 6) ถ้าบริเวณบ่อรวมน้ำเสียมีกลิ้น หรือ มีแมลงลงไปทำแหล่งเพาะพันธุ์ ควรมีการปิด คลุมบ่อน้ำเสียอาจใช้วัสดุจำพวก พลาสติกคลุมโรงเรือน หรืออุปกรณ์อื่นๆ ตาม ความสะดวกของฟาร์ม



รูปที่ 5-24 บ่อรวมน้ำเสีย

ค. บ่อดักทราย

- 1) ควรทำความสะอาดตะแกรงกรองสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ และนำตะกอนออกจากบ่อ ดักทรายทุกวัน
- 2) ถ้าหากตะกอนจากบ่อดักทรายมีมาก อาจจะทำลานตากตะกอนจากบ่อดักทราย เพิ่มเติมซึ่งขนาดขึ้นอยู่กับปริมาณตะกอน และวัสดุอาจจะใช้ตามความสะดวก ของฟาร์ม



รูปที่ 5-25 บ่อตกทราย

ง. บ่อเติม

- 1) ตักตะกอนที่ตกค้างอยู่ในบ่อเติมออกทุกวัน
- 2) ทำความสะอาดท่อโดยใช้ไม้ไผ่ผ่าซีกหรือท่อพลาสติกในหารล้างและทำความสะอาดท่อเป็นประจำทุกวัน เพื่อป้องกันการก่ตัวของตะกอน (Struvite)
- 3) ตรวจสอบบริเวณเวียร์น้ำล้น ว่าน้ำมีการรั่วซึมข้างเวียร์หรือไม่ ถ้ามีอาจต้องอุดไม่ให้น้ำรั่วซึม

จ. บ่อหมักแบบราง

- 1) ตรวจสอบและดูแลรักษาพลาสติกคลุมเก็บก๊าซและชุดจับยึดพลาสติกให้อยู่ในสภาพที่ดีและใช้งานได้เป็นปกติทุกวัน และทำความสะอาดพลาสติกคลุมเก็บก๊าซทุก 1 เดือน
- 2) ตรวจสอบระดับน้ำที่ใช้กักเก็บก๊าซในรางน้ำรอบบ่อหมักแบบรางทุกวัน และควรทำความสะอาดและเปลี่ยนน้ำทุกๆ 1 เดือน
- 3) ควรคาดเชือกรัดพลาสติกประมาณ 3 เส้น เพื่อใช้สังเกตพลาสติก ถ้าพลาสติกรัดเชือกมากเกินไป แสดงว่ามีก๊าซชีวภาพอยู่ภายในพลาสติกมาก ควรระบายก๊าซบางส่วนทิ้งเพื่อไม่ให้พลาสติกเสียรูป และตรวจสอบชุดควบคุมแรงดันด้วยว่าทำงานได้ปกติหรือไม่
- 4) ตรวจสอบชุดควบคุมแรงดันควรมีระดับน้ำตามที่กำหนด เพื่อให้ก๊าซชีวภาพมีแรงดันตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 5-26 บ่อหมักราง

จ. บ่อหมัก ยูเอเอสบี

- 1) ทำความสะอาดบ่อ UASB บริเวณ ท่อน้ำล้น UASB อย่างสม่ำเสมอไม่ควรมีเศษขยะ หรือตะกอนอยู่ในท่อน้ำล้น ควรทำความสะอาดทุกๆ วัน
- 2) ตักขยะ เช่น ถูพลาสติก ใบไม้ SCUM ที่ลอยขึ้นมาบริเวณผิวน้ำในบ่อ UASB อย่างสม่ำเสมอ
- 3) ตรวจสอบสภาพน้ำที่ล้นออกจากบ่อหมักแบบ UASB ควรให้มีอัตราการไหลคงที่ตลอดเวลา และไหลเท่ากันทุกช่อง และไม่ควรให้น้ำไหลท่วมท้นน้ำออก ถ้าท่วมแสดงว่า ปรับวาล์วที่บ่อดิ่งกากให้น้ำไหลออกมากเกินไป
- 4) ตรวจสอบดูแลสภาพท่อส่งน้ำเสีย ท่อก๊าซชีวภาพและท่อน้ำใสให้อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ
- 5) ตรวจสอบฝาไฟเบอร์กลาสว่ามีรอยร้าว แตก ฉีกหรือไม่ และทำความสะอาดฝาไฟเบอร์กลาสอยู่เสมอ
- 6) น้ำใสที่มาจากบ่อ UASB ควรให้ไหลลงในบ่อรวมโดยไม่ให้แตกเป็นฟองควรให้ปลายท่อออกจุ่มอยู่ใต้ระดับผิวน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำกระจายหนีไป และเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนต้องจุ่มอยู่ใต้น้ำลึกประมาณ 1.5-2.0 ม. เพื่อป้องกันการจับตัวของ Struvite



รูปที่ 5-27 บ่อหมัก UASB

ข. บ่อดิ่งกาก

- 1) ตรวจสอบบ่อดิ่งกาก เช่น ผืนบ่อ ท่อดิ่งกาก ตะแกรง ให้อยู่ในสภาพที่ดีอยู่เสมอ
- 2) ตรวจสอบระดับน้ำในบ่อดิ่งกาก ว่าเหมาะสมหรือไม่ และทำการปรับวาล์วเมื่อระดับน้ำไม่เหมาะสม เพื่อเป็นการปรับอัตราการไหลของตะกอนและน้ำเสีย ในบ่อหมักทรงให้เหมาะสม ส่วนวิธีการสังเกตระดับน้ำและปรับวาล์ว ให้ทำตามวิธีที่บอกไว้ในวิธีเดินระบบ
- 3) ทำความสะอาดท่อ โดยใช้ไม้ไผ่ผ่าซีกหรือท่อพลาสติก ในการทะลวงล้างทำความสะอาด เป็นประจำทุกๆ วัน ป้องกันการสะสมของตะกอน (Struvite)

- 4) หลังจากเดินระบบไปได้ 40 วัน ควรมีการดื่งกากทุกวัน และสังเกตตะกอนที่ออกมาด้วยว่า มีความเข้มข้นมากน้อยเพียงใด ถ้าตะกอนมีความเข้มข้นมาก มีสีดำสนิท ให้เพิ่มอัตราการดื่งกากด้วย
- 5) ตรวจสอบดูว่า บริเวณท่อนำกากตะกอนจากบ่อหมักราง กากตะกอนสามารถไหลออกได้เป็นปกติหรือไม่ ถ้ากากตะกอนไหลไม่เต็มที่ ไหลน้อย และช้า หรืออาจจะมีกากตะกอนไหลออกเพียงท่อเดียว อาจจะต้องมีการล้างท่อ ทำความสะอาด และควรทำความสะอาดท่อดื่งกากทุกวัน
- 6) ควรมีการยกตะแกรงมาทำความสะอาดเป็นครั้งคราว เพราะเมื่อมีเศษตะกอนติดเพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำไหลไม่สะดวก



รูปที่ 5-28 บ่อดื่งกาก

ช. ลานตากตะกอน

- 1) จัดแบ่งช่องในลานกรองของแข็งออกเป็น 8 ส่วน เพื่อใช้สำหรับรับกากตะกอนที่หมักย่อยแล้วจากบ่อหมักแบบรางในแต่ละวัน และใช้แต่ละส่วนหมุนเวียนต่อเนื่องกัน
- 2) เปิดท่อดื่งกากท้ายตรงอาคารกระจายน้ำท้ายบ่อหมักแบบราง เพื่อปล่อยกากตะกอนเข้าสู่ลานของแข็ง โดยสังเกตความสูงของน้ำมูลหมักในลานกรองจะอยู่ในระดับประมาณ 25 ถึง 30 ซม. จากพื้นผิวของลานกรอง
- 3) ปล่อยกากตะกอนทิ้งไว้ให้แห้ง โดยใช้เวลาประมาณ 7 วัน หลังจากนั้นทำการเก็บกากตะกอนที่แห้งแล้วออกจากลานกรองของแข็ง หมุนเวียนกันไปทุกวัน และทางฟาร์มอาจจะสังเกตระยะเวลาการแห้งของตะกอนซึ่งอาจจะน้อยกว่าหรือมากกว่า 7 วัน โดยทางฟาร์มสามารถปรับอัตราการดื่งกากเองได้ตามความเหมาะสม
- 4) เมื่อกากตะกอนแห้งพอที่จะเก็บได้แล้ว ควรจะเก็บทันที เพราะจะได้มีลานตากเหลือเพื่อการดื่งกากวันต่อ ๆ ไป



รูปที่ 5-29 ลานตากตะกอน

ณ. ระบบบำบัดขั้นหลัง

- 1) บ่อบำบัดไร้อากาศ (Anaerobic Pond) ให้อยู่ในสภาพปกติและตรวจว่ามีตะกอนตกค้างที่ก้นของน้ำเข้าหรือไม่ ถ้ามีให้ทำการติดตั้งปั๊มและสูบน้ำออกเป็นระยะ ๆ
- 2) ตรวจสอบระบบระบายน้ำออกทุกท่อของบ่อทุกเดือน เพื่อให้ปริมาณน้ำที่ไหลออกในแต่ละท่อมีปริมาณเท่า ๆ กัน และให้ท่ออยู่ในสภาพดีพร้อมใช้งานอยู่เสมอ
- 3) ดูแลตัดหญ้าบริเวณหลังคันดินอย่างสม่ำเสมอ พร้อมทั้งสำรวจดูว่ามีการพังทลายของดินหรือไม่ หากคันดินชำรุดพังทลาย ให้ทำการปลูกหญ้าและถมอัดดินใหม่
- 4) ในส่วนของบึงประดิษฐ์ ตรวจสอบชุดบ่อผักตบชวาหรือต้นกกหรือพืชเป็นระยะ ๆ และสังเกตสภาพพืชที่ปลูกไว้เป็นอย่างไร และควรทำการจดบันทึกเมื่อพบสิ่งผิดปกติ และกรณีมีศัตรูพืชระบาดให้ฉีดพ่นด้วยสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเป็นครั้งคราว
- 5) ตรวจสอบระดับน้ำในสระพักน้ำ และท่อน้ำล้นว่าสามารถระบายน้ำออกในฤดูฝนได้หรือไม่ ควรระบายน้ำจากด้านล่างของสระพักน้ำในกรณีที่มีน้ำมากเกินความต้องการ



รูปที่ 5-30 ระบบบำบัดขั้นหลัง

ญ. ระบบท่อส่งก๊าซและอุปกรณ์การใช้ก๊าซชีวภาพ

- 1) ตรวจสอบชุดควบคุมแรงดันของบ่อหมักราง โดยให้มีระดับความดันไม่เกิน 2 ซม. หากมีความดันเกินต้องระบายก๊าซออกทันที มิฉะนั้นจะทำให้พลาสติกเสียหายได้
- 2) ตรวจสอบรอยรั่วของท่อส่งก๊าซทุกแนว รวมทั้งปล่อยน้ำในจุดระบายน้ำทิ้ง ออกจากท่อส่งก๊าซทุกจุดก่อนการใช้งานกับอุปกรณ์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ ดังนี้
 - ระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซหลัก ที่ออกจากบ่อหมักแบบรางทุกวัน
 - ระบายน้ำและสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ออกจากชุดดักกรองสิ่งแปลกปลอมในก๊าซ



รูปที่ 5-31 ชุดดักและกรองสิ่งแปลกปลอมที่มากับก๊าซชีวภาพและดักน้ำก่อนส่งก๊าซไปใช้งาน

5.2.3 ระบบก๊าซชีวภาพแบบ H-UASB

มีขั้นตอนการดูแลตั้งแต่หัวข้อ ก. ถึง หัวข้อ ญ. ของการดูแลรักษาระบบ **MC-UASB** เว้นแต่ในหัวข้อ จ.และ หัวข้อ ฉ. จะกลายเป็นบ่อหมักแบบ **buffer tank** และ **H-UASB** ซึ่งในการดูแลรักษาเป็นดังนี้

ก. Buffer tank

- 1) ตรวจสอบและดูแลรักษาพลาสติกคลุมเก็บก๊าซและชุดจับยึดพลาสติกให้อยู่ในสภาพที่ดี และใช้งานได้เป็นปกติทุกวัน
- 2) ตรวจสอบน้ำที่ใช้กักเก็บก๊าซในรางน้ำรอบ Buffer tank ทุกวัน นอกจากนี้ควรทำความสะอาดและเปลี่ยนน้ำในรางน้ำทุกๆ 2 สัปดาห์
- 3) ตรวจสอบดูแลบ่อตั้งกากและประตูน้ำให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดีอยู่เสมอทุกวัน
- 4) การดึงกากจากบ่อ Buffer tank เป็นการดึงเอากากตะกอนหนักที่ย่อยสลายยาก รวมไปถึงทรายให้ออกมาจาก Buffer tank ไหลไปยังลานตากต่อไป ดังนั้นจึงต้องดึงกากให้แรงแต่ใช้เวลาสั้น ทั้งนี้ควรดึงประมาณวันละ 1 นาที โดยในขณะที่ระดับน้ำใน Buffer tank อยู่ในระดับสูงจะเปิดประตูดึงกากออกเพื่อให้น้ำไหลออกโดยฉับพลัน แรงดันน้ำจะผลักดันตะกอนหนักบริเวณก้นถังออกมาได้ดี หากตะกอนที่ออกมายังมีความหนืดอยู่มากให้ใช้เวลาในการเปิดนานขึ้น จนสังเกตเห็นความหนืดลดลง



รูปที่ 5-32 Buffer tank

ข. บ่อหมักแบบ H-UASB

- 1) ปรับระดับของท่อน้ำออกจาก Three Phase Separator ให้เท่ากันในบ่อเดียวกัน ไม่ให้เอียงไปทางด้านใดด้านหนึ่ง เพื่อจะสามารถแบ่งกระจายน้ำได้ถูกต้องและควรทำความสะอาดร่อง Weir ในส่วนต่างๆ ไม่ให้มีการอุดตัน
- 2) ดูดตะกอนจากบ่อ H-UASB เป็นประจำโดยจะมีเครื่องสูบลอยอยู่สองระดับคือ ระดับชั้นล่างสุดและระดับชั้นกลางในระดับใต้ชาย Three Phase Separator การดูดตะกอนของทั้งสองระดับจะมีปริมาณการดูดไม่เท่ากัน โดยจะต้องสังเกตลักษณะดังนี้
 - การสูบลอยระดับล่างจะต้องสูบลอยสัปดาห์ละ 1 รอบ หากสังเกตเห็นว่าตะกอนมีความหนืดมากให้ดูดเพิ่มอีก 1 รอบ
 - การสูบลอยระดับบนจะต้องสูบลอยวันละ 2 รอบ หรือสังเกตว่า ตะกอนค่อนข้างใสจึงหยุดสูบ

(หมายเหตุ : ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนหมูในแต่ละช่วงเวลาอาจมีจำนวนไม่เท่ากัน หรือว่ามี การเปลี่ยนสูตรอาหารหมู ทำให้ไม่สามารถบอกได้แน่นอนว่าจะต้องสูบลอยในแต่ละระดับมากน้อยแค่ไหน)

- 3) ทำความสะอาดบ่อแบ่งน้ำและบ่อกระจายน้ำโดยการเปิดท่อระบายเมื่อสังเกตเห็นว่า มีตะกอนหนักตกค้างมากเกินไป



รูปที่ 5-33 บ่อหมัก H-UASB

5.2.4 ระบบก๊าซชีวภาพแบบ Covered-lagoon

ในส่วนที่เป็นบ่อหมักแบบ Covered-lagoon โดยปกติจะไม่ค่อยมีการดูแลมากนักเพราะบ่อหมักแบบ Covered-lagoon จะไม่ทำการระบายกากออก ดังนั้นการดูแลโดยทั่วไปทำได้ดังนี้

- 1) ตรวจสอบรอยรั่วของพลาสติกคลุมบ่อ ถ้ามีการฉีกหรือรั่วให้ทำการซ่อมแซมทันที
- 2) หลังฝนตก บริเวณพลาสติกคลุมบ่อไม่ควรให้เกิดน้ำขัง ถ้ามีให้สูบน้ำออก
- 3) ต้นไม้หรือต้นหญ้าที่ขึ้นบริเวณรอบๆ บ่ออาจทำให้พลาสติกเสียหาย ควรตัดเป็นประจำ
- 4) กรณีที่ระบบทำงานไปแล้วประมาณ 5 ปี หรือก๊าซชีวภาพไม่เกิด (กรณีดูและระบบปกติ) แสดงว่าต้องทำการขุดลอกตะกอนในบ่อ Covered-lagoon และเตรียมบ่อใหม่โดยทำการเตรียมบ่อ Covered-lagoon ใหม่ที่อยู่ใกล้ๆ กัน และย้ายน้ำเสียออกจากบ่อเดิมมาเข้าที่บ่อใหม่แทน
- 5) บ่อ Covered-lagoon เดิมให้ทำการเปิดฝืนพลาสติกแล้วสูบน้ำออก ตากตะกอนให้แห้ง แล้วนำตะกอนไปเป็นปุ๋ยหรือทำประโยชน์อื่นๆ

5.3 การบำรุงรักษาเพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

5.3.1 การบำรุงรักษาในส่วนผลิตก๊าซชีวภาพ

ก. ระบบลำเลียงน้ำเสีย

ต้องมีระบบป้องกันน้ำฝนมิให้ไหลเข้าสู่ระบบท่อส่งน้ำเสีย เพราะจะเป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบก๊าซชีวภาพมากเกินไป และอาจมากจนกระทั่งแรงดันภายในบ่อเก็บก๊าซชีวภาพอาจสูงเกินกว่าที่การใช้งานปกติอันเนื่องมาจากการแทนที่ของน้ำจำนวนมากซึ่งหากชุดระบายแรงดันทำงานไม่ทัน อาจเป็นสาเหตุทำให้พลาสติกเก็บก๊าซชีวภาพฉีกขาดได้



ข. บ่อรวมน้ำเสีย

มีหน้าที่รวบรวมน้ำเสีย ที่ออกมาจากการทำกิจกรรมของฟาร์มปศุสัตว์ เพื่อป้อนเข้าบ่อหมักก๊าซชีวภาพต่อไป ก๊าซที่เกิดขึ้นในฟาร์มโดยตัวมันเองมักไม่มีอันตรายต่อคนและสัตว์ ถ้ามีการระบายอากาศเป็นปกติแต่ในบริเวณบ่อรวมน้ำเสีย ของฟาร์มปศุสัตว์ จะมีความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 , NH_3 , CH_4 , H_2S อาจสูงมากทำให้ O_2 ลดต่ำลงมากจนคน ถึงหมดสติหรือตายได้ถ้าช่วยไม่ทัน นอกจากนั้นก๊าซอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัว เป็นก๊าซที่ไม่มีอันตรายโดยตรงหรือไม่ทราบอันตราย

แต่มีกลิ่นซึ่งรบกวนความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษย์ ก๊าซชนิดต่างๆ มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี ก่อให้เกิดพิษต่อคน สัตว์ และพืชได้ในลักษณะต่างๆ กันถ้ามีความเข้มข้นสูงเกิน บางชนิดมีผลรบกวนต่อระบบประสาทสัมผัส บางชนิดมีผลระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในทางเดินหายใจและเยื่อเมือกตา สำหรับก๊าซที่น่าจะเป็นสาเหตุทำให้เสียชีวิตจากการขาดอากาศหายใจได้นั้น ตัวที่มีน้ำหนักมากที่สุดคือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งหนักกว่าอากาศทำให้สะสมอยู่ภายในบริเวณก้นของบ่อรวมน้ำเสีย จนมีปริมาณมากและแทนที่อากาศภายในบ่อรวมน้ำเสีย ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในบ่อมีปริมาณลดน้อยลง ซึ่งคุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เมื่อหายใจเข้าไปทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ คลื่นไส้ ถ้าได้รับปริมาณมากจะทำให้หมดสติ หรือมีอาการโคม่าอาจทำให้เสียชีวิตได้ ซึ่งบริเวณในบ่อรวมน้ำเสีย เมื่อมีการใช้งานแล้ว จะถือว่าเป็น **“สถานที่อับอากาศ”**



รูปที่ 5-34 แสดงบ่อรวมน้ำเสียที่ยังไม่ได้เดินระบบ รูปที่ 5-35 แสดงบ่อรวมน้ำเสียที่เดินระบบแล้ว

ข้อควรปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

- ❖ ควรนำทรายออกจากก้นบ่อและทำความสะอาดบ่อเป็นครั้งคราว อย่างน้อย 6 เดือนต่อครั้ง โดยต้องปฏิบัติตามมาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายจากการทำงานในสถานที่อับอากาศ ตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องสูบน้ำเสียไม่ว่าจะเป็น ขาดตั้งเครื่อง รอกดึงเครื่องสูบน้ำเสีย โดยควรมีการชะลอมน้ำมันที่โซ่และอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำ เพื่อป้องกันสนิมและ
- ❖ ดูแลให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานหรือทำงานได้อย่างเป็นปกติ นอกจากนี้ควรมีเครื่องสูบน้ำเสียสำรองไว้ 1 ชุด ที่พร้อมจะนำมาใช้ทดแทนได้ทันทีที่เกิดเหตุขัดข้อง
- ❖ ตรวจสอบสภาพฉนวนสายไฟที่ต่อจากตู้ควบคุมไปยังปั๊มน้ำเสีย ฉนวนต้องอยู่ในสภาพที่ดีเพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูด
- ❖ ปกติบ่อรวมน้ำเสียจะมีราวกันตกหรืออาจมีขอบบ่อที่สูงกว่าระดับพื้นดินเพื่อป้องกันการตก แต่ควรห้ามเด็กเล็กเข้าไปเล่นในบริเวณนี้
- ❖ บริเวณปากบ่อที่มีโครงสร้างเหล็กหรือแผ่นพื้นซีเมนต์สำเร็จ สำหรับเข้าไปปฏิบัติงานบำรุงรักษา ต้องหมั่นดูแลสภาพ ให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย เพื่อป้องกันการพลัดตกลงไปในบ่อรวมน้ำเสีย

ค. บ่อดักทราย (Sand Trap)

- กรณีที่บ่อดักทรายมีระบบยกลอยสูงกว่าพื้นมากกว่า 80 cm และไม่มีการถมดินด้านข้างจะต้องมีการสร้างทางเดินโดยรอบบ่อดักทราย โดยมีความกว้างทางเดินอย่างน้อย 60 cm สำหรับการเข้าไปบำรุงรักษาได้อย่างปลอดภัย และมีบันไดที่สามารถขึ้น-ลงได้อย่างสะดวก
- ห้ามเด็กเข้าไปเล่นบริเวณบ่อดักทราย เพราะอาจพลัดตกลงไปในบ่อเติมน้ำเสีย หรืออาจจะต้องทำตะแกรงดักปากบ่อเติมน้ำเสีย



รูปที่ 5-36 บ่อดักทรายที่มีทางเดินโดยรอบและมีบันไดขึ้นลงอย่างสะดวก

ง. บ่อหมักก๊าซชีวภาพ/บ่อเก็บก๊าซชีวภาพ

บ่อหมักและบ่อเก็บก๊าซชีวภาพเป็นองค์ประกอบหลักของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะทำหน้าที่หมักย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียแล้วเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซชีวภาพ โดยน้ำเสียที่ผ่านการหมักย่อยในบ่อหมักนี้แล้ว ค่าความสกปรกจะลดลงไป ส่วนกากตะกอนที่หมักจนได้สมบูรณ์แล้วก็จะถูกดึงออกไปเข้าระบบจัดการกากตะกอนต่อไป ส่วนก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในบางรูปแบบของบ่อหมักก็อาจจะมีพื้นที่สำหรับเก็บก๊าซชีวภาพอยู่เหนือบ่อหมัก หรือบางระบบก็จะส่งไปเก็บยังบ่อเก็บก๊าซชีวภาพที่แยกออกมาต่างหาก

ในบ่อหมักและบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ เมื่อมีการใช้งานแล้ว จะถือว่าเป็น “สถานที่อับอากาศ” การที่จะ เข้าไปบำรุงรักษาหรือซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ ต้องใช้ความระมัดระวัง โดยอาจจะต้องใช้มาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายจากการทำงานในสถานที่อับอากาศ เช่นเดียวกับบ่อรวมน้ำเสียที่กล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 5-37 บ่อหมักวางเมื่อมีการลงไปบำรุงรักษา (ดักตะกอนส่วนเกินออก)

- กรณีที่เป็นหมักแบบยกลอยจากพื้นและมีการถมดินด้านข้าง จะต้องทำทางเดินโดยรอบกว้างอย่างน้อย 60 cm. ให้มีความราบเรียบสม่ำเสมอ และควรจะมีการตัดหญ้าอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันอันตรายจากสัตว์ร้าย หรือไฟไหม้ลามเข้ามายังบ่อเก็บก๊าซ
- ห้ามเดินเหยียบบนพลาสติกคลุมบ่อเก็บก๊าซ เพราะพลาสติกอาจขาดทำให้คนที่ยืนเหยียบอยู่ทะลุตกลงไปในบ่อหมักหรือบ่อเก็บก๊าซได้
- หากใช้ระบบรางน้ำสำหรับกักเก็บก๊าซ ระดับน้ำในรางรอบบ่อควรเต็มตลอด และควรมีการเปลี่ยนน้ำในรางอย่างน้อยเดือนละครั้ง
- กรณีในฤดูฝน ไม่ควรใช้ก๊าซชีวภาพจนพลาสติกคลุมบ่อยุบมากเกินไป เพราะเมื่อเวลาฝนตกจะมีโอกาสที่จะทำให้เกิต้น้ำขังบนพลาสติกคลุมบ่อ อาจทำให้พลาสติกขาดและเกิดก๊าซรั่วไหลออกไปเกิดอันตรายได้
- เมื่อเกิดน้ำขังพลาสติกคลุมบ่อก๊าซ ควรรีบทำการสูบน้ำออก เพื่อให้พลาสติกคืนสู่รูปทรงปกติโดยเร็ว เพื่อป้องกันการเสียรูปของพลาสติก ที่เกิดจากน้ำหนักของน้ำฝนที่ค้างในพลาสติก ทำให้พลาสติกเกิดการยืดตัว ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการรั่วและฉีกขาดต่อไป



- ควรมีการตัดหญ้าในบริเวณรอบบ่อหมักก๊าซและบ่อเก็บก๊าซชีวภาพในรัศมีไม่ต่ำกว่า 5 เมตร เพื่อป้องกันไฟไหม้หญ้าลามมาถึงบ่อก๊าซชีวภาพ
- ต้องหมั่นตรวจสอบตัวจับพลาสติกหรือแนวผังชายพลาสติกบริเวณบ่อเก็บก๊าซให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานไม่มีการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพ
- จะต้องมีการควบคุมแรงดันในบ่อเก็บก๊าซ และหมั่นดูแลรักษาให้สามารถใช้งานได้ อย่างถูกต้องและสามารถระบายก๊าซชีวภาพทิ้งได้ทัน กรณีที่มีการใช้ก๊าซชีวภาพน้อยกว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อป้องกันความเสียหายพลาสติกฉีกขาด



รูปที่ 5-38 ชุดควบคุมแรงดันบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ

กรณีที่พลาสติกเก็บก๊าซรั่วควรปฏิบัติดังนี้

- ห้ามก่อให้เกิดประกายไฟในบริเวณนั้นอย่างเด็ดขาด และมีการปักป้ายเตือนชั่วคราวในตำแหน่งที่เกิดก๊าซรั่ว
- แจ้งหัวหน้างานเพื่อรับทราบความเสียหาย เพื่อจะได้แจ้งให้บริษัทหรือผู้ที่ทำการติดตั้งพลาสติกกลับมาทำการซ่อมแซมโดยด่วน
- หากในขณะนั้นมีแรงดันในบ่อเก็บก๊าซสูง ควรระบายก๊าซชีวภาพทิ้งเพื่อลดแรงดันในระบบบ่อเก็บก๊าซ เพื่อป้องกันการฉีกเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงดันก๊าซที่สูง
- สอบสวนหาสาเหตุการเสียหายเพื่อจะปรับปรุงการเชื่อมพลาสติกในกรณีที่พลาสติกเกิดการรั่วหามาตรการป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นอีก



รูปที่ 5-39 การเชื่อมพลาสติกในกรณีที่พลาสติกเกิดการรั่ว

* กรณีที่ตัวจับพลาสติกหลุดหรือชายพลาสติกมีก๊าซรั่วออกมา

- ห้ามก่อให้เกิดประกายไฟในบริเวณนั้นอย่างเด็ดขาด และมีการปักป้ายเตือนชั่วคราว “มีก๊าซรั่ว” ในตำแหน่งที่เกิดก๊าซรั่ว
- ระบายก๊าซชีวภาพออกจากบ่อเก็บก๊าซ เพื่อให้สามารถประกอบตัวจับพลาสติกหรือสามารถซ่อมชายพลาสติกที่ก๊าซเกิดการรั่วไหลได้

จ. ระบบบำบัดชั้นหลัง

- ดูแลตัดหญ้าบริเวณหลังคันดินอย่างสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันอันตรายจากสัตว์ร้าย รวมถึงป้องกันไฟไหม้ลามเข้ามายังระบบผลิตก๊าซชีวภาพ พร้อมทั้งสำรวจดูว่ามีการพังทลายของดินหรือไม่ หากคันดินชำรุดพังทลายให้ขุดลอกและถมอัดดินใหม่
- ตรวจสอบชุดบึงประดิษฐ์เป็นระยะๆ สังเกตสภาพของพืชที่ปลูกไว้ และควรที่จะเก็บเกี่ยวพืชออกบ้างเพื่อป้องกันไฟไหม้ลามมายังระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

5.3.2 การบำรุงรักษาในส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

ก. ท่อส่งก๊าซชีวภาพ

- ในแนวการฝังท่อส่งก๊าซหรือเดินท่อส่งก๊าซลอยเหนือพื้น จะต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดแรงกระแทกหรือแรงกดทับ อันจะทำให้ท่อส่งก๊าซเกิดความเสียหายทำให้ก๊าซรั่วออกจากท่อส่งก๊าซเกิดอันตรายได้
- ในกรณีที่ระบบส่งจ่ายก๊าซเป็นแบบ Positive Pressure ต้องระวังจุดระบายต่างๆ เมื่อปล่อยน้ำทิ้งแล้วต้องปิดทันที เพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซชีวภาพได้
- ในกรณีที่ระบบส่งจ่ายก๊าซเป็นแบบ Positive Pressure จะต้องระวังจุดระบายน้ำต่างๆ รวมถึงรอยรั่วที่ในระหว่างเส้นท่อ เพราะอาจจะมีอากาศเข้าไปผสมกับก๊าซชีวภาพทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้เมื่อมีประกายไฟหรือเกิดเปลวไฟย้อนกลับ
- ท่อส่งก๊าซจะต้องมีวาล์วปิด-เปิดที่สามารถปิดก๊าซชีวภาพโดยการบิดมูมไม่เกิน 90 องศา
- ต้องหมั่นตรวจสอบน้ำค้างในท่อส่งก๊าซ ซึ่งอาจจะเข้าไปในอุปกรณ์ใช้ก๊าซชีวภาพทำให้เกิดความเสียหายได้

5.3.3 การบำรุงรักษาในส่วนนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

ก. หัวกกกลูกสุกร

- ตรวจสอบสายส่งก๊าซกับหัวกก ต้องอยู่ในสภาพที่แน่นอนเพื่อป้องกันไม่ให้ไฟไหม้ไหม
- หัวกกก๊าซที่ดัดแปลงใช้กับก๊าซชีวภาพแล้ว ห้ามนำกลับไปใช้กับ LPG



รูปที่ 5-40 หัวกกกลูกสุกรที่ดัดแปลงให้ใช้กับก๊าซชีวภาพแล้ว

ข. เครื่องยนต์ขับเคลื่อน

- ระบบส่งถ่ายกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังพัดลมโรตอรีควมมีระบบตัดต่อกำลัง
- ควรมีอุปกรณ์ครอบหรือป้องกันอันตรายจาก ส่วนที่มีการเคลื่อนไหว
- ควรมีการตรวจเช็คชนิดยี่ห้อต่าง ๆ ของเครื่องยนต์กับแท่นรองรับเครื่องยนต์รวมถึงระบบส่งกำลังต่าง ๆ ให้ในสภาพพร้อมใช้งาน
- ควรตรวจสอบสายพานส่งกำลังอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 5-41 เครื่องยนต์ขับเคลื่อนที่ไม่มีครอบป้องกัน

ค. เครื่องปั่นไฟแบบดัดแปลงภายในประเทศ

- ควรมีอุปกรณ์ครอบหรือป้องกันอันตรายจากส่วนที่มีการเคลื่อนไหว
- ควรมีการตรวจเช็คชนิดยี่ห้อต่าง ๆ ของเครื่องยนต์กับแท่นรองรับเครื่องยนต์รวมถึงระบบส่งกำลังต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
- ปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานจากผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด



รูปที่ 5-42 เครื่องยนต์ดัดแปลงภายในประเทศ

ง. เครื่องปั่นไฟ (ต่างประเทศ)

- ศึกษาวิธีการใช้งานจากคู่มือที่ได้จากผู้ผลิตให้เข้าใจ
- ปฏิบัติตามคู่มือจากผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด
- หากเครื่องปั่นไฟมีปัญหาหรือมีอาการผิดปกติให้รีบแจ้งให้หัวหน้างานเพื่อจะได้แจ้งให้กับผู้ผลิตดำเนินการแก้ไขต่อไป



รูปที่ 5-43 เครื่องปั่นไฟที่นำเข้าจากต่างประเทศ

จ. ระบบไฟฟ้าและการใช้งานก๊าซชีวภาพ

คำแนะนำ

การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของระบบก๊าซชีวภาพบางส่วนที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง และเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ดีและเกิดประโยชน์สูงสุด ผู้ดูแลระบบก๊าซชีวภาพควรศึกษาคู่มือปฏิบัติให้เข้าใจ เพื่อจะได้ทราบถึงหลักการทำงานและวิธีการใช้ระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ อย่างถูกต้องและปลอดภัยก่อนการใช้งาน

คำเตือน

1. ไม่ควรให้ผู้ที่ไม่มีความรู้เกี่ยวข้องกับด้านไฟฟ้าหรือไม่ได้ศึกษาคู่มือเล่มนี้อย่างละเอียด ใช้ตู้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือดัดแปลงระบบต่างๆ เพราะอาจเกิดอันตรายได้
2. ป้องกันมิให้น้ำสัมผัสกับตู้ควบคุมไฟฟ้า
3. ก่อนการเดินระบบ ให้ใช้ไขควงเช็คไฟตรวจสอบว่าไฟฟ้ามารับทั้ง 3 เฟสหรือไม่ ถ้าไม่ครบไม่ควรเดินระบบ เพราะอาจก่อให้เกิดอันตรายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าหรือมอเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้ หากมีปัญหา ควรติดต่อช่างหรือผู้มีความรู้ด้านไฟฟ้ามาตรวจสอบให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานทันที
4. กรณีที่เครื่องหรือระบบทำงานผิดปกติ ให้ติดต่อช่างหรือผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้องโดยตรง ทำการตรวจเช็คหรือแก้ไขซ่อมแซม
5. ไม่ควรดัดแปลง เพิ่มเติม หรือแก้ไขตู้ควบคุมไฟฟ้าก่อนได้รับการแนะนำจากผู้ผลิต
6. การเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหาย ควรเปลี่ยนให้ตรงกับอุปกรณ์เดิม (รุ่น, ยี่ห้อ) หรืออุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือสามารถใช้แทนกันได้

ฉ. ระบบควบคุมปั๊มส่งน้ำเสีย (CT)

1. คุณสมบัติของผู้ควบคุม

- ใช้ได้กับ MOTOR 3 เฟส (D.O.L)
- แสดงสภาวะการทำงานโดยหลอดไฟ

หลอดไฟสีแดง (STANDBY)	แสดงสภาวะเตรียมพร้อมทำงาน
หลอดไฟสีเขียว (RUN)	แสดงสภาวะกำลังทำงาน
หลอดไฟสีเหลือง (OVER LOAD)	แสดงสภาวะทำงานเกินกำลัง
- มีระบบป้องกันเฟสหรือกำลังไฟฟ้า ตก/เกิน (Phase Protective Relay)
- มีระบบตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์ใช้กระแสไฟฟ้าเกินกำลัง
- มีระบบนับจำนวนชั่วโมงการทำงาน เพื่อใช้หาปริมาณการสูบน้ำเสียเข้าระบบก๊าซชีวภาพ

2. หลักการทำงาน

การทำงานของระบบควบคุมปั๊มน้ำเสีย จะมีการทำงาน 2 แบบ คือ แบบควบคุมด้วยผู้เดินระบบเอง (Manual) และแบบอัตโนมัติ (Automatics) ซึ่งการทำงานแบบ Manual จะสั่งด้วยการเปิด-ปิดสวิตช์และตลอดการทำงานจะมีระบบป้องกันมอเตอร์ของปั๊มน้ำเสีย ทำการเช็คเฟสไฟฟ้าของมอเตอร์ว่าทำงานเป็นปกติหรือไม่ ส่วนการทำงานแบบอัตโนมัติจะทำงานเองโดยการตรวจสอบระดับน้ำเสียในบ่อรวมน้ำเสีย โดยอาศัยสวิตช์ลูลอย

ช. ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

คุณสมบัติของผู้ควบคุม

- แสดงระดับแรงดันสาย VOL METER
- แสดงระดับกระแส AMP METER
- หน่วยสะสม KILOWATT HOUR METER
- หลอดไฟแสดงไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส
- แสดงสภาวะการรันงานโดยหลอดไฟ

หลอดไฟสีแดง (STANDBY)	แสดงสภาวะเตรียมพร้อมทำงาน
หลอดไฟสีเขียว (RUN)	แสดงสภาวะกำลังทำงาน
หลอดไฟสีเหลือง (OVER LOAD)	แสดงสภาวะทำงานเกินกำลัง
- มีระบบตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์ใช้กระแสไฟฟ้าในการสตาร์ทเครื่องยนต์เกินระยะเวลาที่กำหนด
- ระบบควบคุมอุณหภูมิเครื่องยนต์
- ระบบตรวจสอบแรงดันน้ำมันเครื่องยนต์
- แสดงการนับชั่วโมงการทำงานเป็นตัวเลข แบบ Digital



รูปที่ 5-44 ตู้ควบคุม

หลักการทำงาน

หลักการทำงานของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนโดยเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพได้แบ่งหลักการทำงานเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของตู้ควบคุม และ ส่วนของมอเตอร์ ซึ่งแต่ละส่วนมีหลักการทำงานสัมพันธ์กันโดยตรง

1. หลักการทำงานในส่วนของตู้ควบคุม

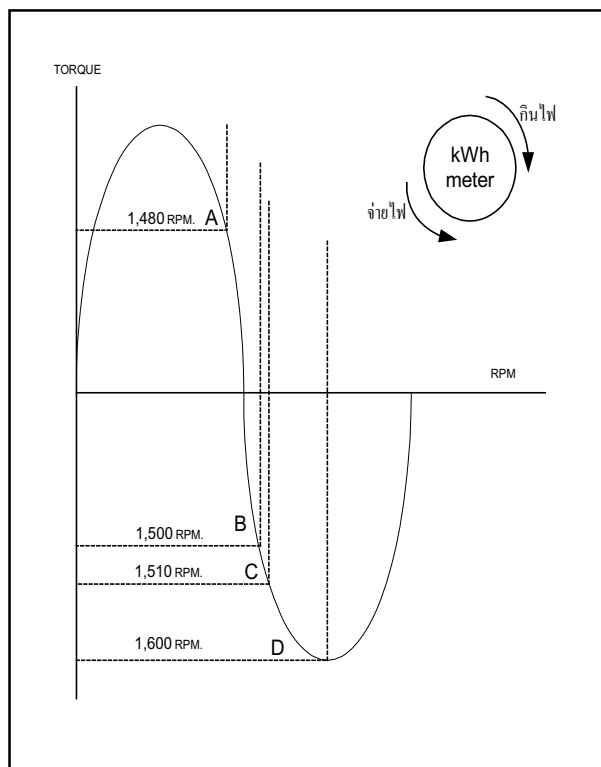
การทำงานของตู้ควบคุมมีหน้าที่สั่ง ตัด/ต่อ การจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ และทำหน้าที่ป้องกันไปในตัว กล่าวคือเมื่อต้องการเดินเครื่องสามารถสั่งได้โดยสวิตช์แบบกด (Start Button) ในวงจรควบคุม (Control circuit) และวงจรควบคุมก็จะสั่งให้วงจรกำลัง (Power circuit) สั่งต่อแมกเนติกส์ (Magnetic) ซึ่งมีหน้าที่ต่อการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ (Motor) โดยตรง ในขณะเดียวกันระบบตรวจสอบ (Sensor circuit) ในวงจรควบคุมก็จะทำการตรวจสอบเวลาที่ตั้งไว้ (Timer) สำหรับการสตาร์ทเครื่อง ถ้าถึงเวลาที่ตั้งไว้แล้วเครื่องยนต์ยังไม่ติด หรือเครื่องยนต์ดับในขณะที่เดินเครื่องวงจรตรวจสอบจะสั่งให้วงจรกำลังตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์โดยทันที เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้า แต่ถ้าเครื่องยนต์สตาร์ทติดภายในระยะเวลาที่กำหนดแล้ว วงจรกำลังจะแสดงหน่วยสะสมที่อ่านได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยกิโลวัตต์มิเตอร์ และเมื่อต้องการหยุดเครื่องก็สั่งได้โดยสวิตช์สั่งหยุดแบบกด (Stop Button) ในขณะที่เครื่องยนต์เดินอยู่ระบบป้องกันตัวเองของตู้ควบคุมนั้นจะทำหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของระบบโดยตลอดการทำงานถ้าตรวจสอบพบว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้น เช่น กระแสไฟฟ้ามามากเกิน 3 เฟส แรงดันไฟฟ้าเกินหรือตก ทำงานเกินกำลังของมอเตอร์ (Motor Load) เครื่องยนต์ดับระหว่างเดินเครื่อง ตรวจสอบแรงดันน้ำมันเครื่อง หากพบสิ่งผิดปกติระบบป้องกันตัวเองจะสั่งให้วงจรกำลังตัดการจ่ายไฟฟ้าโดยทันทีไม่ว่ากรณีใดและจะตัดเมื่ออุณหภูมิน้ำเครื่องยนต์สูงเกินกำหนดด้วย เพื่อเป็นการรักษามอเตอร์ เครื่องยนต์ และพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด

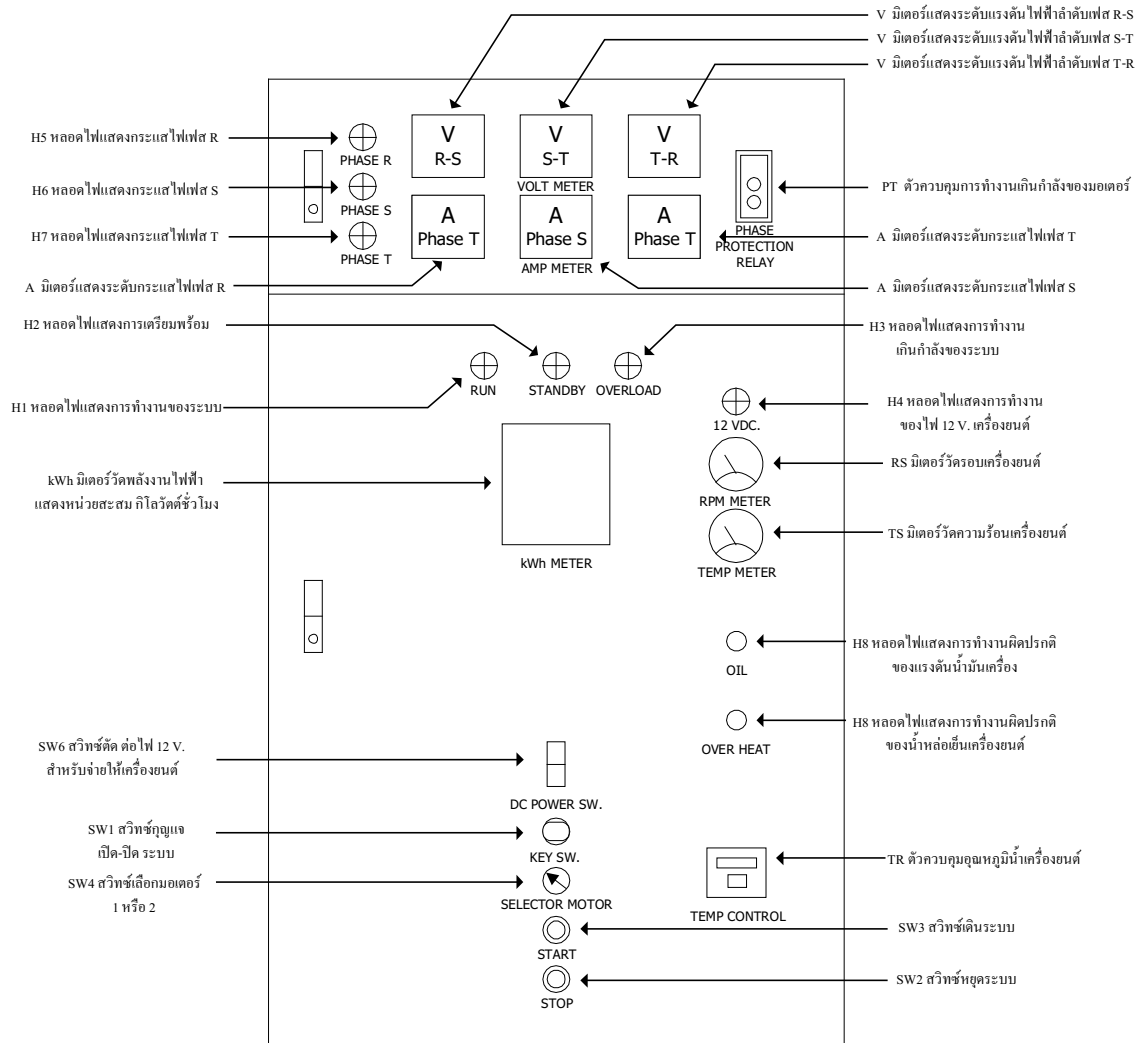


รูปที่ 5-45 ภายในตู้ควบคุมชุดผลิตพลังงานไฟฟ้า

2 หลักการทำงานในส่วนของมอเตอร์ (ไดนามอเตอร์)

- A. จุดที่มอเตอร์มีสภาพเป็นมอเตอร์ การสตาร์ทเครื่องยนต์หรือหลุดจากการผลิตกระแสไฟฟ้า
- B. จุดที่มอเตอร์มีสภาพเป็นไดนามอเตอร์คือจ่ายไฟออกมา แต่ Torque น้อยและรอบต่ำ จึงทำให้กำลังงานไฟฟ้า kW ออกมาน้อยตามไปด้วย สังเกตได้จากการหมุนของกิโลวัตต์มิเตอร์จะหมุนของกิโลวัตต์มิเตอร์จะหมุนช้า (Watt x RPM)
- C. จุดที่ Torque สูงขึ้นและรอบเพิ่มขึ้นกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าจะมากขึ้นด้วย
- D. จุดที่ Torque สูงสุดและรอบสูงสุดจะได้ กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าที่มากที่สุด แต่ว่าถ้า Torque เลยจุด D ไปจะทำให้ไดนามอเตอร์เปลี่ยนสภาพจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นการกินกระแสไฟฟ้าแทน เพราะฉะนั้นจะต้องปรับเครื่องยนต์ให้ได้ Torque ที่พอดี





รายละเอียดอุปกรณ์ตู้ควบคุมชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

การใช้งาน

1. ตรวจสอบสภาพตู้ควบคุมให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน
 2. เปิดฝาตู้ควบคุม แล้วขึ้นสะพานไฟ (เมนเบรกเกอร์เซอร์กิต)
 3. ปิดฝาตู้ควบคุม และสังเกตที่ฝาตู้ควบคุมจะแสดงผลของการเช็คไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส และแรงดัน
- การแสดงผลของไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส จะแสดงโดยหลอดไฟ 3 ดวงในแนวตั้งบริเวณของฝาตู้ควบคุม ส่วนบนคือ

- หลอดสีแดง แสดงว่ามีไฟในเฟส 1. (Phase R)
- หลอดสีเขียว แสดงว่ามีไฟในเฟส 2. (Phase S)
- หลอดสีเหลือง แสดงว่ามีไฟในเฟส 3. (Phase T)

ถ้าหลอดไฟแสดงผลของไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส มีหลอดใดหลอดหนึ่งหรือทั้ง 3 หลอดไม่ติดสว่างไม่ควรถ่ายทอดเครื่องเป็นอันตราย เพราะอาจทำอันตรายให้กับมอเตอร์หรือตู้ควบคุมได้ การแสดงแรงดันไฟฟ้าจะแสดงโดยโวลต์มิเตอร์ (Volt Meter) ทั้ง 3 ชุด ที่ฝาตู้ควบคุมส่วนบน ให้สังเกตมิเตอร์ทั้ง 3 ชุดว่ามีการแสดงผลของระดับแรงดันสายว่าอยู่ในช่วงใด ระดับแรงดันสายที่แสดงที่โวลต์มิเตอร์ต้องอยู่ในช่วงระหว่าง

360-400 โวลต์ ถ้าแรงดันสายมีระดับแรงดันต่ำหรือสูงกว่า 360-400 โวลต์ไม่ควรทำการเดินเครื่องและทำการตรวจสอบเพื่อหาสาเหตุโดยเร็ว

4. เปิดสวิตช์กุญแจ (Key Switch)

5. สังเกตการณ์แสดงผลที่ฟัดูควบคุมส่วนล่าง โดยหลอดไฟ 3 ดวงในแนวนอนจะทำหน้าที่แสดงภาพการทำงานของมอเตอร์ คือ

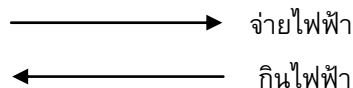
- หลอดไฟสีแดง แสดงสภาวะการเตรียมพร้อมหรือรอรับคำสั่ง (Standby)
- หลอดไฟสีเขียว แสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์ (Run)
- หลอดไฟสีเหลือง แสดงสภาวะการทำงานเกินกำลัง (Over load)

หลังจากเปิดสวิตช์กุญแจแล้วที่ฟัดูควบคุมส่วนล่างจะแสดงหลอดไฟฟ้าสีแดง (Standby)

ข้อควรระวังและการดูแลรักษา

1. เลือกมอเตอร์ก่อนว่าต้องการใช้มอเตอร์ตัวไหนทำงาน
2. เมื่อต้องการเริ่มเดินระบบ เปิดวาล์ว ก๊าซสำหรับเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์
3. เปิดสวิตช์เครื่องยนต์ที่ตู้ควบคุมเครื่องยนต์ (DC Power Switch) เพื่อจ่ายไฟกระแสตรงยังคอยล์ไปใช้ในการจุดระเบิดของระบบเครื่องยนต์
4. ถ้าต้องการทำการเดินเครื่องให้กดสวิตช์แบบกดสีเขียว (Start Button)
5. การแสดงผลที่ฟัดูควบคุมส่วนล่างจะมีหลอดไฟฟ้าสีเขียว (Run) ติดสว่างแสดงให้ทราบว่าตอนนี้มอเตอร์กำลังทำงาน และที่ฟัดูส่วนบนก็จะแสดงระดับของกระแสไฟฟ้าที่ใช้โดย แอมป์มิเตอร์ (Amp meter)

สังเกตการณ์หมุนของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Kilowatt-hour meter) ว่าตู้ควบคุมผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาหรือยังทำงานเป็นมอเตอร์อยู่ (ดังกล่าวมาแล้วในหลักการทำงานของมอเตอร์)



ถ้าต้องการหยุดการเดินเครื่องให้ กด สวิตช์แบบกดสีแดง (Stop Button)

1. การแสดงผลที่ฟัดูควบคุมส่วนล่างจะแสดงหลอดสีแดง (Standby) แทนสีเขียว (Run) และการแสดงผลที่ฟัดูควบคุมส่วนแอมป์มิเตอร์ก็จะมีค่าเท่าศูนย์
2. ปิดสวิตช์เครื่องยนต์ที่ตู้ควบคุมเครื่องยนต์ (DC Power Switch) เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายแก่ระบบคอยล์ที่ใช้ในการจุดระเบิดของระบบเครื่องยนต์
3. ถ้าระหว่างการเดินเครื่องเกิดการ ทำงานเกินกำลัง แรงดันตก/เกิน กระแสไฟฟ้ามาไม่ครบ 3 เฟส หรือตู้ควบคุมมีปัญหา ที่ฟัดูควบคุมส่วนล่างจะแสดงการติดสว่างของหลอดไฟสีเหลือง (Over Load) และตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับมอเตอร์ หลังจากการตัดกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์แล้วควรทำการตรวจสอบว่าการเกิด Overload นั้นเกิดจากสาเหตุใด ถ้าพบสาเหตุแล้วควรทำการแก้ไขโดยเร็ว

4. หลังจากการตรวจสอบและแก้ไขแล้ว ให้ทำการ Reset ที่มอเตอร์รีเลย์ (Motor Relay) สามารถทำการเดินเครื่องได้ตามปกติ



รูปที่ 5-46 ชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องยนต์ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

การบำรุงรักษาชุดผลิตพลังงานไฟฟ้า

► ► รายวัน :-

- ระบายท่อน้ำออกจากท่อส่งก๊าซ โดยใช้ Ring Blower ในการไล่น้ำออกจากท่อส่งก๊าซเข้าเครื่องยนต์
- ระบายน้ำออกจากชุดดักน้ำ (Particle Separator)

► ► รายสัปดาห์ :-

- ทำความสะอาดกรองอากาศ และเปลี่ยนใหม่ตามสภาพการใช้งาน

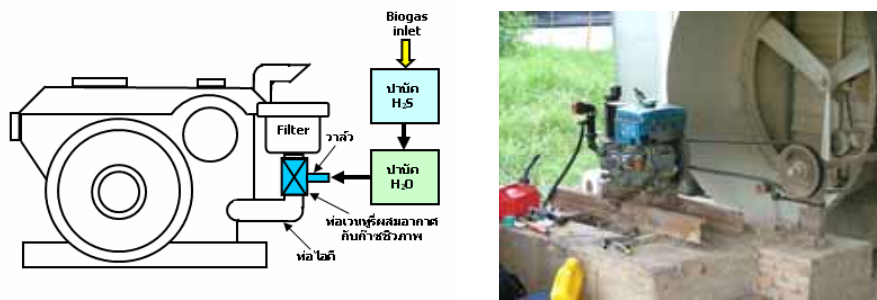
► ► รายเดือน :-

- ถ่ายน้ำมันเครื่อง ระยะเวลาตามที่ผู้ผลิตกำหนด
- เปลี่ยนกรองน้ำมันเครื่องทุกๆ 2 เดือน หรือครบ 500 ชั่วโมง
- ทำความสะอาดหัวเทียนและตั้งระยะไขว่หัวเทียนประมาณ 0.020-0.040 นิ้ว (W24ES) แล้วเปลี่ยนใหม่ทุกๆ 6 เดือน
- ตั้งองศาจุดระเบิดที่ประมาณ 20 องศา ก่อนศูนย์ตายบน (BTDC)

ข. เครื่องยนต์ระบบเชื้อเพลิงคู่ (ก๊าซชีวภาพ/น้ำมันดีเซล)

Dual Fuel Engine

หลักการทำงานของระบบเชื้อเพลิงคู่นี้จะใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ หรือที่เรียกว่า เชื้อเพลิงคู่ (Dual fuel) โดยใช้ก๊าซชีวภาพผสมกับอากาศเป็นไอดีเข้าห้องเผาไหม้ โดยอาศัยอุปกรณ์ที่มีชื่อว่าท่อ เวทรีเป็นตัวเพิ่มแรงดูดก๊าซชีวภาพและช่วยผสมคลุกเคล้ากับอากาศให้เป็นส่วนผสมเดียวกัน ส่วนการจุดระเบิดยังใช้น้ำมันดีเซลฉีดเข้าห้องเผาไหม้เหมือนเดิม วิธีการแบบนี้เครื่องยนต์ต้องการใช้น้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในการจุดระเบิดประมาณ 10-20% ของการใช้เครื่องยนต์ดีเซลปกติ ดังนั้นจึงประหยัดน้ำมันได้ถึง 80-90%



รูปที่ 5-47 การติดตั้งเครื่องยนต์เชื้อเพลิงคู่

คำแนะนำการติดตั้งเครื่องยนต์กับชุดผลิตลมอีแวป (EVAP) หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ

1. ควรติดตั้งเครื่องยนต์ให้อยู่ในแนวระดับ และฐานที่ติดตั้งต้องมั่นคง มีความแข็งแรง
2. ปรับตำแหน่งเครื่องยนต์ให้สายพานที่ส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังมู่เล่หรือเฟืองทดอยู่ในแนวตรงกัน
3. ปรับความตึงของสายพานให้เหมาะสม โดยให้มีค่าการตึงหย่อนระหว่าง 5-10 มม.
4. รอบเครื่องยนต์ทำงานควรอยู่ที่ประมาณ 1,500-1,800 รอบต่อนาที (รอบเครื่องยนต์ที่เหมาะสมสังเกตได้จากคว้นของเครื่องยนต์จะไม่มี)
5. ไม่ควรเดินเครื่องยนต์รอบต่ำขณะใช้ชุดผลิตลมจำนวนมาก เพราะจะทำให้เครื่องยนต์ทำงานหนัก และอาจทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์เสียหาย

ข้อควรระวังและการดูแลรักษา

1. ควรตรวจเช็คน้ำมันดีเซลและน้ำมันเครื่องเป็นประจำ
2. ก่อนเดินเครื่องยนต์ควรตรวจขันน็อตยึดฐานเครื่องยนต์กับแท่นยึดให้แน่นอยู่เสมอ
3. ตรวจดูว่าเครื่องยนต์ไม่มีเสียง และการสั่นสะเทือนที่ผิดปกติ
4. ตรวจดูรอยรั่วต่างๆ ที่ท่อส่งก๊าซ และที่เครื่องยนต์
5. การถอดหรือใส่สายพานที่ต่อระหว่างเครื่องยนต์กับอุปกรณ์ต่างๆ ต้องทำในขณะที่เครื่องยนต์ดับอยู่
6. การเติมน้ำหม้อน้ำเครื่องยนต์ต้องเติมขณะเครื่องยนต์หยุดทำงานและเครื่องเย็นเท่านั้น

5.4 ชุดทำความสะอาดและอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ

ก. ชุดทำความสะอาด

1. อุปกรณ์ดักน้ำ

เป็นชุด Cyclone สำหรับดักและลดสิ่งแปลกปลอมรวมถึงความชื้นและน้ำในก๊าซชีวภาพ ก่อนที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งมีลักษณะดังรูปซึ่งโดยปกติแล้วก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มักจะมี ความชื้นสูงเกือบถึงจุดอิ่มตัวท่อส่งก๊าซที่วางตัวอยู่ในดินมักจะทำให้ไอน้ำในก๊าซชีวภาพกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและสะสมจนอาจเกิดเป็นอุปสรรคในการส่งก๊าซควรให้ความลาดเอียงประมาณ 1% ลงไปหาจุดดักน้ำที่สามารถระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซได้ ซึ่งการวางท่อส่งก๊าซดังกล่าวจะช่วยลดปริมาณน้ำที่ค้างอยู่ในท่อส่งก๊าซลงได้จำนวนหนึ่ง



รูปที่ 5-48 ชุดโซโคลนตักน้ำก่อนเข้าไปในอุปกรณ์ใช้งาน

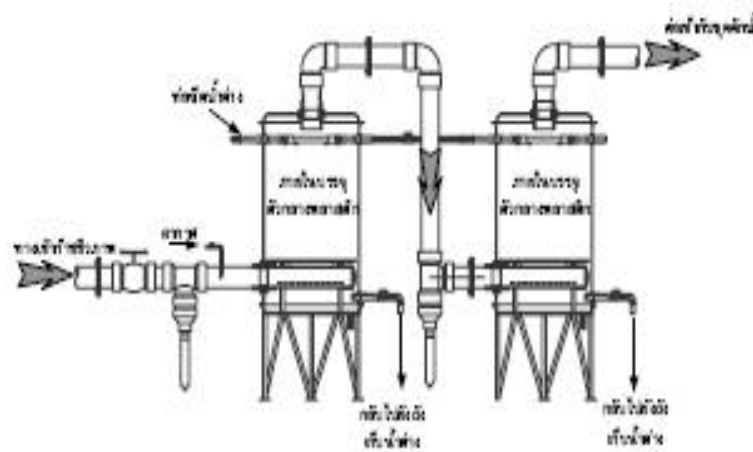
ในการใช้อุปกรณ์ตักน้ำและระบายก๊าซ ในท่อต้องหมั่นระบายน้ำที่สะสมอยู่เป็นประจำทุกวัน โดยต้องระบายน้ำทิ้งมากกว่าวันละ 1-2 ครั้ง ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศในวันนั้นๆ ข้อสังเกตคือในวันที่ฝนตก หรืออากาศเย็นจะมีการควบแน่นไอน้ำในเส้นท่อได้สูงกว่าปกติ จึงต้องมีการระบายน้ำบ่อยขึ้น แต่หากใช้ระบบระบายน้ำอัตโนมัติจะช่วยการทำงานสะดวกมากขึ้นแต่ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างก็จะสูงขึ้น นอกจากนี้ต้องทำการตรวจสอบการทำงานของระบบระบายน้ำอัตโนมัติด้วยว่าสามารถทำงานได้อย่างเป็นปกติ



รูปที่ 5-49 จุดระบายน้ำที่ควบแน่นในเส้นออกจากท่อส่งก๊าซ

2. อุปกรณ์ดักไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่สร้างปัญหาให้กับเครื่องยนต์ที่นำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน โดยทั่วไปในก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ประมาณ 1% แม้ว่าจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่หากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดปฏิกิริยากับไอน้ำที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพจะทำให้เกิดสารละลายกรดซัลฟูริก(Sulfuric Acid, H_2SO_4) ซึ่งคุณสมบัติเป็นกรดทำให้เกิดการกัดกร่อนวัสดุต่างๆ รวมไปถึงภายในเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ วิธีการกำจัดมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายและนิยมใช้ในประเทศไทยคือการฉีดสารละลายด่าง (NaOH หรือ $Ca(OH)_2$) เข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้การฉีดสารละลายต่างจากด้านบนของถัง ในขณะที่ให้ก๊าซชีวภาพไหลขึ้นจากทางด้านล่าง เพื่อให้สารละลายต่างเกิดปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้งนี้ผู้ควบคุมระบบจะต้องมีการตรวจสอบพีเอชของสารละลายต่างเสมอ หากมีพีเอชที่ลดลงต่ำกว่า 8.0 ควรเปลี่ยนสารละลายใหม่ซึ่งลักษณะการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 5-50

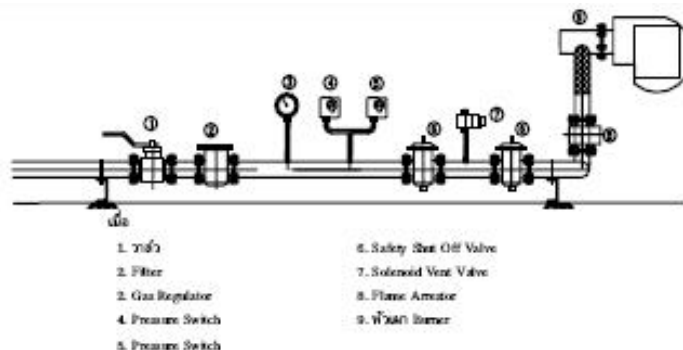


รูปที่ 5-50 แผนผังการทำงานของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



รูปที่ 5-51 ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือการควบคุมการไหลและแรงดันของก๊าซที่จะเข้าสู่เครื่องจักรกลให้มีความสม่ำเสมอเพื่อให้เครื่องจักรกลเดินได้เรียบไม่สะดุด โดยในการปรับแรงดันของก๊าซ นอกจากจะใช้ Blower ในการควบคุมแรงดันที่ต้นทาง ยังมีการควบคุมแรงดันและอัตราการไหลของก๊าซก่อนจะเข้าไปยังเครื่องจักรกลอีกด้วยซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่ Pressure Switch หรือ Pressure Regulator เป็นต้น



รูปที่ 5-52 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Burner

ข) อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย

1. Pressure Release Valve (PRV)

เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมความดันในถังปฏิกรณ์ไม่ให้เกินระดับที่เป็นอันตรายต่อโครงสร้างของถัง โดยหากระดับแรงดันในถังสูงเกินกว่าที่กำหนดและไม่มีการระบายก๊าซออก ก๊าซจะถูกดันออกมาทาง Pressure Release Valve โดยวิธีการติดตั้งจะติดตั้งส่วนที่เป็นถังดังแสดงในรูป ซึ่งระดับแรงดันที่จะเริ่มทำงานขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับแรงดันที่วิศวกรออกแบบไว้ ปกติจะควบคุมแรงดันในถังไม่ให้เกิน 25 มิลลิบาร์



รูปที่ 5-53 การติดตั้ง Pressure Release Valve

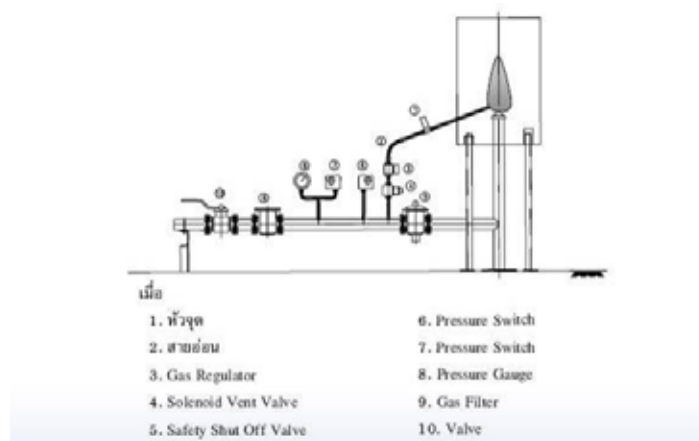
2. อุปกรณ์เผาก๊าซทิ้งอัตโนมัติ (Biogas Flare)

ในกรณีที่ปริมาณของก๊าซชีวภาพมีมากเกินไปความต้องการเนื่องจากบางครั้งความต้องการใช้พลังงานของโรงงานลดลง ดังนั้นระบบ Gas Flare หรือระบบการเผาก๊าซส่วนเกินทิ้ง ซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์ความปลอดภัยชนิดหนึ่งที่ต้องมีไว้

การทำงานของระบบ Gas Flare จะควบคุมด้วยแรงดันของก๊าซชีวภาพที่สะสมอยู่ในระบบ โดยในกรณีที่ไม่ได้ใช้ก๊าซหรือใช้ก๊าซน้อยกว่าก๊าซที่ผลิตได้ ทำให้แรงดันของก๊าซชีวภาพในระบบสูงขึ้น เมื่อมีแรงดันระบบสูงถึงค่าที่กำหนด ระบบเผาก๊าซจะทำการจุดและเผาก๊าซชีวภาพส่วนเกินทิ้งและหยุดทำงานเมื่อความดันระบบลดลงจนถึงระดับที่ปลอดภัย แต่หากปริมาณก๊าซมีมากเกินไปที่จะเผาได้ทัน และความดันในระบบยังเพิ่มสูงขึ้น ระบบความปลอดภัยอีกระดับคือ Pressure Release Valve จะทำงานโดยการระบายก๊าซชีวภาพออกสู่บรรยากาศโดยตรง



รูปที่ 5-54 Gas Flare



รูปที่ 5-55 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Biogas Flare แบบเปิด

ค. อุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานก๊าซชีวภาพ

ค-1 อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน

1. Pressure Switch

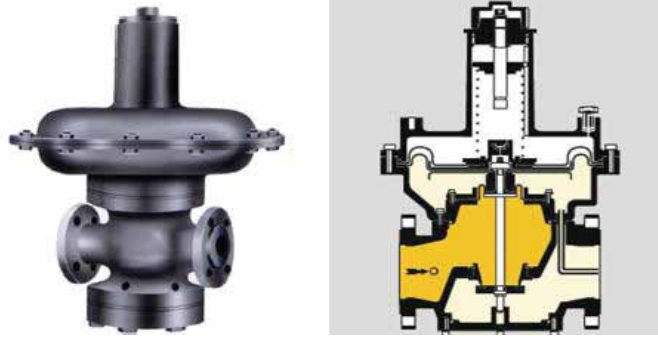
มีลักษณะทั่วไปดังรูปข้างล่าง เป็นตัวควบคุมการทำงานของวาล์วด้วยแรงดันในท่อโดยมีการตั้งค่าแรงดันในระบบที่จะให้มีการส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุม เพื่อทำการเปิดหรือปิดอุปกรณ์



รูปที่ 5-56 Pressure Switch และรูปแบบการติดตั้ง

2. Pressure Regulator

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมระดับแรงดันของก๊าซในเส้นท่อโดยหลังจากผ่าน Regulator ความดันในเส้นท่อจะมีค่าคงที่ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการใช้งาน โดยภายในจะมีสปริงหรือไดอะแฟรมติดตั้งอยู่ เมื่อแรงดันก๊าซที่ไหลเข้ามามีแรงดันมากกว่าที่ตั้งไว้ก๊าซจะดันสปริงให้ยกขึ้นทำให้แรงดันก๊าซในระบบลดลงหากแรงดันที่ส่งมาลดลงสปริงก็จะกดตัวกลับลงมาทำให้แรงดันในระบบเพิ่มขึ้น โดยจะมีลักษณะดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 5-57 ลักษณะของ Pressure Regulator

ค-2 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซธรรมชาติ

ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นนอกจากจะทำให้ทราบถึงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ยังสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและปริมาณก๊าซที่ได้ซึ่งจะทำให้ทราบสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์เปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ ถ้าหากสัดส่วนดังกล่าวสูงหรือต่ำกว่าสัดส่วนทางทฤษฎีจะต้องมีการตรวจสอบว่าความแตกต่างนั้นเกิดจากความผิดพลาดของระบบหรือเกิดจากเครื่องมือการตรวจวัดซึ่งจะสามารถช่วยให้แก้ไขปัญหาได้ทัน นอกจากนี้ยังนำไปใช้เพื่อประเมินความสามารถของอุปกรณ์ที่ใช้ก๊าซว่ามีประสิทธิภาพหรือไม่

สำหรับเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันสองแบบคือ แบบ Thermal Mass Flow Meter และแบบที่วัดจากปริมาตรการไหลของก๊าซโดยตรง ดังแสดงในรูป ซึ่งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซแบบ Thermal Mass Flow Meter จะอาศัยความร้อนในการวัดอัตราการไหลของก๊าซ หลักในการวัดสองรูปแบบ

- รูปแบบที่หนึ่งจะวัดอัตราการไหลโดยรักษาอุณหภูมิที่วัดได้ให้คงที่ โดยเมื่อมีมวลอากาศไหลผ่าน แสงความร้อนจะทำให้ความร้อนลดลง การวัดปริมาณก๊าซที่ไหลผ่านจะเป็นการเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้า ที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมิความร้อนให้คงที่
- แบบที่สองจะเป็นการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิสองจุด โดยจุดแรกจะเป็นตัวส่งความร้อน เมื่อก๊าซไหลผ่านก็จะนำเอาความร้อนไปด้วย ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองจุดจะถูกนำไปเปลี่ยนให้เป็นอัตราการไหลของก๊าซ



รูปที่ 5-58 เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซแบบ Thermal Mass Flow Meter
และแบบวัดปริมาตรของก๊าซที่ไหลผ่าน

บทที่ 6

รายละเอียดระยะเวลาและความถี่ในการตรวจสอบ และบำรุงรักษา

รายละเอียด ระยะเวลาและความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษาแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ การตรวจสอบรายวัน การตรวจสอบรายเดือน และการตรวจสอบรายปี รายละเอียดการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพดังตารางที่ 6-1 สำหรับการตรวจสอบและบำรุงรักษาในแต่ละส่วนมีดังนี้

6.1 การตรวจสอบรายวัน

เป็นการตรวจสอบระบบโดยทั่วไปเพื่อตรวจหาความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งปัญหาที่พบบางอย่างอาจต้องรีบแก้ไข เช่น การปรับอัตราการไหลของน้ำเสีย บางอย่างอาจต้องทำการวางแผนเพื่อที่จะแก้ไขในอนาคตในกรณีที่การแก้ไขต้องมีการวางแผนเพื่อที่จะแก้ไขในอนาคต ในกรณีที่การแก้ไขต้องมีการวางแผนและใช้งบประมาณมาก เช่น การเพิ่มเติมหน่วยบำบัดต่างๆ การตรวจสอบรายวันจะช่วยให้ทราบถึงความผิดปกติในระบบและทราบถึงความสามารถในการบำบัดของระบบได้เป็นอย่างดี โดยสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน

ก. การดูแลระบบบำบัด อุปกรณ์ ตรวจความผิดปกติของอุปกรณ์ต่าง ๆ

การตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรจะตรวจสอบในสองลักษณะคือ

- การตรวจเช็คเครื่องจักรประจำวัน เพื่อเป็นการตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักร สภาพการทำงาน เพื่อให้ทราบถึงสภาวะการทำงานโดยรวมของเครื่องจักร
- ตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นๆ มีสภาพการทำงานเป็นอย่างไร เช่น เปิด ปิด หรือ สั่งซ่อม เป็นต้น เพื่อให้ทราบถึงชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรแต่ละตัว จะได้นำไปวางแผนในการตรวจสอบโดยละเอียดตามชั่วโมงการทำงานต่อไป

ตารางที่ 6-1 รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพ

ลำดับ	รายละเอียดอุปกรณ์/ระบบที่ต้องตรวจสอบ	ความถี่ใน การตรวจสอบ	สถานภาพ ระบบ	หมายเหตุ
1.	รางระบายน้ำ			
	- ตรวจสอบขยะหรือสิ่งแปลกปลอมตกค้างในราง	รายวัน		
	- ตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของราง รอยแตก/ร้าว	รายเดือน		
2.	บ่อสูบน้ำเสีย			
	- สภาพโดยทั่วไปเช่น รอยร้าว การทำงานของปั๊มน้ำเสียฯลฯ	รายวัน		
	- ตรวจสอบตะกอนตกค้างในบ่อสูบน้ำเสีย	รายเดือน		
3.	ตะแกรงดักขยะ			
	- สภาพการทำงานทั่วไป/สภาพตะแกรง	รายวัน		
4.	บ่อดักไขมัน			
	- สภาพการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน		
	- ตรวจสอบอุปกรณ์ที่เป็นส่วนเคลื่อนไหว/บำรุงรักษา	รายเดือน		
5.	บ่อปรับเสถียรภาพ			
	- สภาพการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน		
	- ตรวจสอบอุปกรณ์ที่เป็นส่วนเคลื่อนไหว/บำรุงรักษา	รายเดือน		
6.	ถังตกตะกอน			
	- สภาพการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน		
7.	ถังปฏิกริยา			
	- สภาพการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน		
	- สภาพการทำงานของอุปกรณ์ประกอบเช่น เกจวัดความดัน	รายวัน		

ตารางที่ 6-1 (ต่อ)

ลำดับ	รายละเอียดอุปกรณ์/ระบบที่ต้องตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	สถานภาพระบบ	หมายเหตุ
8.	ระบบจ่ายสารเคมี			
	- ตรวจสอบปริมาณในถังเก็บ	รายวัน		
	- ตรวจสอบสภาพการทำงานโดยทั่วไป การรั่วซึมต่างๆ	รายวัน		
9.	ลานตากตะกอน			
	- ตรวจสอบการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน		
10.	การวิเคราะห์น้ำเสียในห้องปฏิบัติการ			
	- ตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำเสียที่จำเป็น	รายวัน		
11.	อุปกรณ์นำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์			
	- ตรวจสอบการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน		

คำแนะนำ : สถานภาพของระบบ หมายถึง ให้ระบุวันสุดท้ายที่พบปัญหาและระบุสาเหตุที่ต้องซ่อมแซม

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

1) รวบรวมข้อมูล โดยสังเกตถึง

- ปริมาณขยะและตะกอนตกค้างในรวบรวมข้อมูลน้ำเสีย
- เศษขยะหรือสิ่งตกค้าง

2) บ่อสูบน้ำเสีย

- สภาพของบ่อสูบน้ำ เช่น รอยร้าว รอยแตก ร้าว
- สภาพของเครื่องสูบน้ำเสีย ได้แก่ จุดรั่วซึมต่างๆ ระดับน้ำมันเครื่อง สภาพรอยแตก ของสายพาน สภาพการทำงานของมอเตอร์ จะต้องอยู่ในสภาพปกติ

- วาล์วต่างๆจะต้องทำงานโดยไม่มีเสียงดัง
- เกจวัดความดัน (Pressure Gage) จะต้องทำงานโดยที่เข็มชี้บอกความดัน จะต้องไม่มีการสั่น และสามารถอ่านค่าได้เมื่อเครื่องสูบน้ำทำงาน โดยความดันที่อ่านได้ต้องไม่สูงเกินกว่าที่กำหนด
- ท่อและข้อต่อต่างๆจะต้องไม่มีรอยรั่วซึม ลูกกลอยจะต้องทำความสะอาดไม่ให้มีคราบไขมันเกาะติด และตรวจสอบสายไฟไม่ให้พันกัน
- สถานการณ์ทำงานของเครื่องและไฟแสดงสถานะการทำงานที่ผู้ควบคุม รวมถึงในจุดต่างๆต้องสัมพันธ์กัน

3) ตะแกรงดักขยะ

- ปริมาณขยะและตะกอนอุดตันที่ช่องของตะแกรง
- สภาพของตะแกรงดักขยะ ได้แก่ จุดชำรุด สนิม ความแข็งแรงของจุดยึดกับผนังจะต้องไม่มีจุดชำรุดใดๆ

4) บ่อดักไขมัน

- ไขมันที่ลงบนผิวน้ำ
- การอุดตันภายในท่อของไขมัน
- สภาพของบ่อสูบลูบ เช่น รอบรั้วและรอยแตกร้าว
- การทำงานของเครื่องสูบลูบไขมัน
- สภาพการทำงานของเครื่องกวาดไขมัน

5) บ่อปรับเสถียร

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

6) ถึงตกตะกอน

- ตรวจสอบระดับตะกอนในถัง
- ตรวจสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำตะกอน
- ลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านถังตกตะกอน

7) ถึงปฏิบัติการ

- สีและสภาพของตะกอนจุลชีพ
- สภาพของเครื่องสูบน้ำเสียทุกชนิด ได้แก่ จุดรั่วซึมต่างๆ ระดับน้ำมันเครื่อง สภาพรอยแตกของสายพาน สภาพการทำงานของมอเตอร์จะต้องอยู่ในสภาพปกติ
- วาล์วต่างๆจะต้องทำงานไม่มีเสียง
- การไหลจะต้องควบคุมให้การไหลสลับกัน (เปิด-ปิด วาล์วสลับวันเว้นวัน) เพื่อป้องกันการอุดตันภายในท่อ
- เกจวัดความดัน (Pressure Gage) จะต้องทำงานโดยที่เข็มชี้บอกความดันจะต้องไม่มีการสั่นและสามารถอ่านค่าได้เมื่อเครื่องสูบน้ำทำงาน โดยความดันที่อ่านได้จะต้องไม่สูงเกินกว่าที่กำหนด
- ท่อและข้อต่อต่างๆจะต้องไม่มีการรั่วซึม
- สีและลักษณะของน้ำออก
- ลักษณะการไหลของน้ำ
- สถานะการทำงานของเครื่องสูบน้ำและไฟแสดงสถานการณ์ทำงานของตู้ควบคุม รวมถึงในจุดต่างๆต้องสัมพันธ์กัน

8) ระบบจ่ายสารเคมี

- ตรวจสอบปริมาณสารเคมีที่อยู่ในถังเตรียมสารเคมีทุกถัง จะต้องมีความเพียงพอต่อการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง
- ตรวจสอบระบบท่อบริเวณรอยต่อระหว่างท่อสารเคมีกับถังเตรียมสารเคมีว่ามีจุดรั่วซึมหรือไม่ หากพบจะต้องทำการแก้ไขทันที
- ตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของเครื่องสูบน้ำจ่ายสารเคมีทุกชุด (Auto-Manual)
- บริเวณข้อต่อต่างๆจะต้องไม่มีสารเคมีรั่วซึม

- ตัวเครื่องสูบน้ำจะต้องไม่มีน้ำหรือสารเคมีหรือกรดท่วม
- สายไฟสายควบคุมจะต้องไม่มีรอยฉีกขาด
- หน้าปิดตัวเครื่องจะต้องไม่มีรอยแตกร้าว

9) ลานตากตะกอน

- ตรวจสอบปริมาณตะกอนในถังเก็บตะกอนอยู่ในระดับใด
- ตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของเครื่องสูบน้ำตะกอน
- ตรวจสอบสภาพของเครื่องสูบน้ำตะกอน
- ปริมาณตะกอนแห้ง (Sludge Cake) ในถังเก็บตะกอนแห้ง (Sludge Hopper) หากมีค้างมากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาตรถัง จะต้องขนถ่ายไปกำจัด

ทั้งนี้รายละเอียดที่ต้องทำการตรวจวัดอาจมากหรือน้อยกว่านี้ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และระบบที่ใช้ ผู้ที่จะทำการควบคุมระบบจึงต้องศึกษารายละเอียดของอุปกรณ์ตลอดจนวิธีการตรวจสอบอุปกรณ์อย่างถี่ถ้วน

(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 ใบกวาดที่กั้นบ่อตกตะกอน เครื่องสูบน้ำที่จมน้ำ เป็นต้น

ตัวอย่างการทำตารางการตรวจสอบ

ตารางการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

วันที่	บ่อสูบล					
	การทำงานของเครื่องสูบน้ำ		พีเอช	อุณหภูมิ	อัตราการไหล (ม ³ /ชม.)	หมายเหตุ
	NO.1	NO.2				

ตารางการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

วันที่	ถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ													
	เครื่องสูบน้ำเสีย			อัตรา การไหล (ม³/ชม.)	พี เอช (pH)	เติม ด่าง	เครื่องสูบลมเวียน			พีเอช ในถัง	อัตราการ หมุนเวียนน้ำ (ม³/ชม.)	อัตราความเร็ว ไหลลิ้น (ม³/ชม.)	ตะกอน ในถัง (ม.)	หมายเหตุ
	NO.1	NO.2	NO.3				NO.	NO.	NO.					
1														
2														
3														

ตารางการวิเคราะห์ผลน้ำเสีย

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

วันที่	อุณหภูมิ				พีเอช (pH)				ซีโอดี (COD) (มก./ล.)				ความเป็นกรด(มก./ล.)			ความเป็นด่าง(มก./ล.)		
	บ่อ สูบ	บ่อ พัก น้ำ เสีย	ภายใน ถัง	น้ำ ออก	บ่อ สูบ	บ่อพัก น้ำเสีย	ภายใน ถัง	น้ำ ออก	บ่อ สูบ	บ่อ พัก น้ำ เสีย	ภายใน ถัง	น้ำ ออก	บ่อ พัก น้ำ เสีย	ภายใน ถัง	น้ำ ออก	บ่อ พัก น้ำ เสีย	ภายใน ถัง	น้ำ ออก
1																		
2																		
3																		

7.4 การตรวจสอบอุปกรณ์

การตรวจสอบอุปกรณ์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องสูบน้ำ ซึ่งถือได้ว่าเป็นเครื่องจักรกลที่สำคัญที่สุดในระบบผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากการไหลของน้ำเสียในระบบจะขึ้นอยู่กับเครื่องสูบน้ำเป็นหลัก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการตรวจสอบเครื่องสูบน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาโดยจะทำการตรวจสอบและบันทึกผลลงในตารางบันทึกผลประจำวันของเครื่องจักรแต่ละชนิดซึ่งในที่นี้จะยกตัวอย่างตารางการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องสูบน้ำ(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องจักรที่สำคัญของระบบ โดยตารางการตรวจสอบมีรายละเอียดดังนี้

การตรวจวัดการใช้พลังงานของมอเตอร์

ชนิด อุปกรณ์	ชนิด AC/DC	พิกัดมอเตอร์(ค่าจากป้ายเครื่อง)				ผลการตรวจวัด						ภาวะ (%)	การแก้ไขปรับปรุง		วิธีการ ปรับ ปรุง	กำลัง ไฟฟ้า หลังการ ปรับปรุง
		กำลัง ไฟฟ้า (kW)	แรง ดัน (V)	กระ แส (A)	ตัว ประกอบ กำลัง ไฟฟ้า (PF)	กระแส(A)			แรง ดัน (V)	กำลัง ไฟฟ้า (kW)	ตัว ประกอบ กำลัง ไฟฟ้า (PF)					
						R	S	T								

สมการในการคำนวณ

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

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

เมื่อ

PF = ตัวประกอบกำลังเครื่องไฟฟ้า

P_m = กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ (kW)

V = แรงดันไฟฟ้า (V)

I = กระแสไฟฟ้า (A)

L = ภาระการใช้งาน (%)

P_i = กำลังไฟฟ้าที่ป้ายเครื่อง (A)

ตัวอย่าง

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

จากสมการ

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

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

$$= 45.74 \%$$

จากข้อมูลการตรวจวัดดังตาราง

ชนิดอุปกรณ์	ชนิด AC/DC	ชม.การใช้ (ชม./วัน)	พิกัดมอเตอร์(ค่าจากป้ายเครื่อง)				ผลการตรวจวัด						ภา ระ (%)	การแก้ไขปรับปรุง		วิธีการปรับปรุง	กำลังไฟฟ้า หลังการปรับปรุง
			กำลังไฟฟ้า (kW)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)	กระแส(A)			แรงดัน (V)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)		ไม่ปรับปรุง	ปรับปรุง		
							R	S	T								
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

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

$$10.06 \times 1,000$$

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

$$= 0.53$$

จะเห็นว่ามอเตอร์ที่ใช้มีขนาดใหญ่เกินไป สามารถทำการเปลี่ยนมอเตอร์ให้เป็น 11 kW เพื่อใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ โดยมีภาระใช้งานเป็นภาระการใช้งาน

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

$$= 85.72 \%$$

การบันทึกข้อมูลการใช้งานของเครื่องสูบน้ำ

รหัสเครื่อง สูบน้ำ	ตำแหน่งที่ ติดตั้ง	ขนาด มอเตอร์	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. อุณหภูมิของร่อนลิ้น					
2. ความดันท่อดูดและท่อจ่าย					
3. การรั่วซึมจากกันรั้ว					
4. การหล่อลื่นกันรั้ว					
5. โหลดของปั๊มน้ำ					
6. ระดับเสียงและการสั่นสะเทือน					
7. ระดับน้ำมันหล่อลื่นที่มาหล่อเลี้ยงร่อนลิ้น					
การตรวจสอบทุก 6 เดือน					
1. การให้ศูนย์ระหว่างเครื่องสูบน้ำกับมอเตอร์ต้นกำลัง					
2. การเติมน้ำมันให้กับร่อนลิ้น					

การบันทึกข้อมูลตรวจสอบเครื่องสูบน้ำ (ต่อ)

การบำรุงรักษา	ผลการตรวจสอบและแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
การตรวจสอบทุก 1 ปี					
1. การรื้อตามเพลลาและการซ่อมบำรุงกันรั่ว					
2. การสีของปลอกเพลลา					
3. ช่องว่างระหว่างใบพัดกับแหวนเล็ก					
4. การทดสอบและปรับแก้มอเตอร์ที่ใช้วัด					

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 ตีมน้ำเกลืออุ่นๆ (เกลือแกง 1 ช้อนโต๊ะ ต่อน้ำอุ่น 1 แก้ว)
2. พยายามลดความเข้มข้นของสารพิษโดยให้ดื่ม น้ำ นม น้ำแป้ง หรือ ไข่ดิบที่ตีแล้ว ถ้าผู้ป่วยอายุต่ำกว่า 5 ปี ให้ดื่มราว 1-2 แก้ว ถ้าอายุตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไปให้ดื่ม 4-5 แก้ว
3. รีบนำส่งโรงพยาบาล และพยายามบอกแพทย์ว่าผู้ป่วยได้รับสารพิษใด หากสามารถนำภาชนะบรรจุ หรือฉลากสารพิษนั้นๆ ติดไปด้วยจะยิ่งดี

แผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก

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

1. ลดความเจ็บปวด โดยแช่ส่วนที่ถูกไฟไหม้ ในน้ำเย็นหรือน้ำแช่เย็นนานราว 30 นาที
2. เอาผ้าวาสลินกอสบข้างขึ้นเดียว ปิดแล้วพันผ้าไว้
3. ก่อนนำส่งแพทย์ ต้องให้ผู้ป่วยได้รับความอบอุ่น โดยให้ใส่เสื้อผ้าแห้งและหนา
4. ให้ผู้ป่วยดื่มน้ำมากๆ เพื่อทดแทนน้ำและน้ำเหลืองที่ร่างกายเสียไป

การปฐมพยาบาลคนเป็นลม

การปฐมพยาบาลคนเป็นลม

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

น้ำ 1 แก้ว ปนเกลือครึ่งช้อนกาแฟ และให้ดื่มจำนวนมากๆ บ่อยๆ

ห้ามเลือด

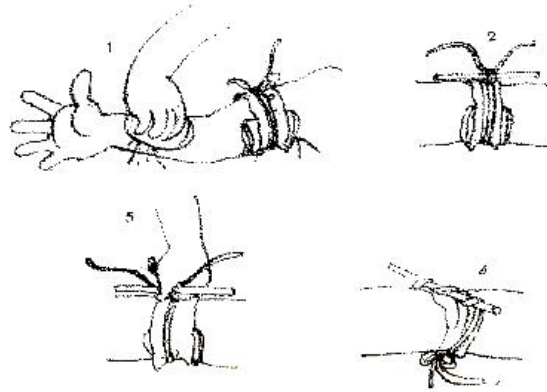
อุปกรณ์

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

หลักการใช้สายรัด

1. ใช้สายรัดพันเหนือบาดแผล 2 รอบ ใช้เงื่อนไข Square Knot เพราะมันคงแข็งแรงและ แก้ออกง่าย
2. อย่ารัดแน่นเกินไป รัดพอเลือดหยุด และคลายรัดทุกๆ 15-30 นาที คลายนานประมาณ 1/2-2 นาที
3. บริเวณที่รัดควรใช้ผ้าหรือสำลีรองทับปิดบาดแผล

การเคลื่อนย้ายผู้ป่วย



1. การอุ้มพุงเดิน มักใช้กับคนเจ็บ
ประเภทขาแพลง กระดูกหักบริเวณขา
แขนข้างใดข้างหนึ่ง ตาเจ็บ ปวดตา และใช้
กับผู้ป่วยที่รู้สึกตัวดี



2. อุ้มกอดด้านหน้า ใช้คนเจ็บที่
เดินไม่ได้ และน้ำหนักตัวไม่มาก
จนเกินไป และคนเจ็บใช้แขนข้างใด
ข้างหนึ่ง



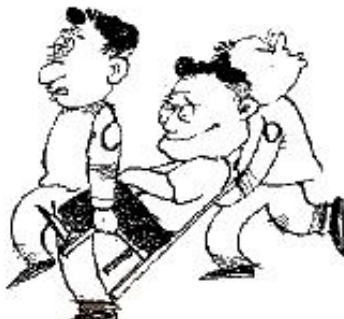
3. อุ้มทาบและกอดด้านหน้า ใช้กับ
คนเจ็บที่เดินไม่ได้ ข้อมเท้าเคล็ดหรือข้อ
เท้าแพลง

4. อุ้มทางหลัง ใช้กับบาดเจ็บที่เป็นเด็กหรือตัวเล็กและบาดเจ็บบริเวณขา



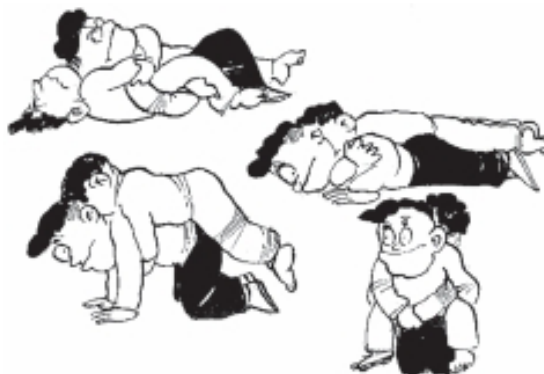
5. อุ้มเคียง ใช้กับคนเป็นลมหรือทำเจ็บ

6. อุ้มคู่กอดหลัง ใช้กับผู้บาดเจ็บที่เท้าเจ็บ บาดเจ็บที่ศีรษะ ตาเจ็บหรือต้องการเดินผ่านช่องแคบๆ



7. การเคลื่อนย้ายโดยใช้เก้าอี้ ใช้กับผู้บาดเจ็บที่ขา แขน ตาเจ็บ หรือปิดตา มีบาดแผลบริเวณท้อง หรือทรวงอก

8. อุ้มกอดด้านหลัง ใช้กับผู้บาดเจ็บที่หมดสติหรือไม่รู้สึกตัว และตัวโตกว่ามาก



9. อัมพยุด้วยคน 8 คน

ใช้กับผู้ป่วยที่สงสัยว่ากระดูกต้นคอหรือกระดูกสันหลังหัก หรือผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บสาหัส มีวิธีปฏิบัติดังนี้

9.1 ผู้ช่วยเหลือยีนเข้าแถวเรียงกระดาน หันหน้าเข้าหากัน 2 แถวละ 4 คน โดยมีผู้ป่วยนอนอยู่ตรงกลาง ผู้ช่วยทั้ง 8 คนคุกเข่าลงข้างหนึ่งสอดมือประสานกันใต้ตัวของผู้ป่วย

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

9.3 ขณะยกผู้ป่วยพยายามให้ตัวผู้ป่วยอยู่ในลักษณะตัวตรงที่สุดเท่าที่จะทำได้

9.4 เมื่อวางผู้ป่วยลง ให้ปฏิบัติทวนวิธีการยกขึ้น จากนั้นจึงยกลงจากเข่าวางบนไม้กระดานแข็งบนประตูหรือเปลที่รองรับอยู่

ข้อเคล็ด, ข้อเคลื่อน, กระดูกหัก

ข้อเคล็ด

- อย่างรวดเร็ว ใช้น้ำแข็งหรือผ้าเย็นประคบ
- อย่าเคลื่อนไหวส่วนที่บาดเจ็บ
- หลีกเลี่ยง 24 ชั่วโมงบนบริเวณที่บาดเจ็บด้วยน้ำอุ่น

ข้อเคลื่อน

- อย่าพยายามทำข้อที่เคลื่อนให้เข้าที่ด้วยตัวเอง
- อย่าเคลื่อนไหวส่วนที่บาดเจ็บ
- ใช้น้ำแข็งหรือผ้าเย็นประคบ
- รีบนำส่งโรงพยาบาล

กระดูกหัก

- ถ้าสงสัยว่าผู้ป่วยกระดูกหักต้องรีบนำส่งแพทย์
- ใช้น้ำแข็งประคบเพื่อลดความเจ็บปวด
- ให้ผู้ป่วยได้รับความอบอุ่นและให้ยาบรรเทาปวด
- อย่าให้ส่วนของอวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บนั้นเคลื่อนไหว ถ้าทำได้ให้เข้าเฝือกส่วนที่หักไว้ชั่วคราว

การเคลื่อนย้ายด้วยเปลหาม

การเคลื่อนย้ายด้วยเปลหาม

- ใช้ในการเคลื่อนย้ายผู้บาดเจ็บนอนราบ
- ใช้กับผู้บาดเจ็บได้หลายประเภท เช่น ผู้บาดเจ็บที่หมดสติ กระดูกขาหัก ฯลฯ
- วัสดุที่อาจหาได้ในขณะที่เกิดอุบัติเหตุ ได้แก่

(1) บานประตู

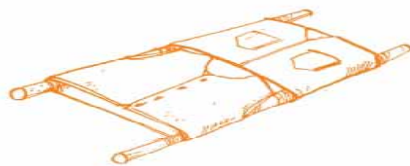
ใช้ได้ดีมาก เนื่องจากเป็นไม้กระดานแข็ง ใช้ได้ดีกับผู้บาดเจ็บที่กระดูกสันหลัง

(2) ผ้าห่ม ผ้าปูเตียง

พับผ้าห่มหรือผ้าปูเตียงบนไม้ยาวๆ 2 อัน โดยพับกลับไปมาหลายๆ ครั้ง และใช้แทนเปลหาได้

(3) เสื้อผ้า

- ใช้ไม้ยาวๆ 2 อัน สอดเข้าไปในตัวเสื้อ
- ดึงกระดุมเสื้อให้เรียบร้อยหรือใช้เข็มกลัดช่วย



(4) ผ้าขาวม้า

- ใช้ผ้าขาวม้าผูกปลายผ้าเข้าด้วยกัน แล้วสอดไม้ท่อนยาวๆ 2 ท่อนเป็นเปลหาม



ภาคผนวก ข

กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบการผลิต และใช้ก๊าซชีวภาพของฟาร์มปศุสัตว์

กรณีศึกษาการระเบิดของก๊าซชีวภาพ(Biogas)

กรณีที่ 1 22 สิงหาคม 2549 รายงานข่าวว่ามี สัตวแพทย์และหัวหน้าคนงานซ่อมบ่อผลิตแก๊สชีวภาพ เสียชีวิต 5 ศพ ที่ฟาร์มหมูหนองบัวฟาร์มโคเจนเนอเรชั่น ราชบุรี ได้ลงไปซ่อมบ่อดูดน้ำภายในบ่อปุณณะที่เชื่อม เหล็กวาล์วปิดท่อแก๊สรั่ว น้ำขี้หมูจากบ่อข้างๆ ไหลเข้ามาจนระดับน้ำสูงอย่างรวดเร็ว ทั้งหมดพยายามจะปีนขึ้น ปากบ่อแต่ไฟฟ้าช็อตทำให้หมดแรงและขาดอากาศหายใจ การลงไปในที่อับย่อมมีโอกาสขาดอากาศหายใจอยู่แล้ว จุดเสี่ยงอีกจุดหนึ่ง คือ การมีกิจกรรมเชื่อมที่ใช้ไฟฟ้าในที่เปียกแฉะยังมีแก๊สชีวภาพอยู่แถวนั้นด้วย เรื่อง ไฟช็อตหรือแก๊สลุกไหม้อาจเกิดขึ้นได้ถ้ามีการเตรียมการทุกอย่างแล้วยังไม่สามารถให้ความปลอดภัยได้ หากมี เชือกผูกรอบเอวทุกคนที่ลงไปในบ่อและมีคนที่ปากบ่อพร้อมที่จะสาวขึ้นมา ก็อาจจะช่วยชีวิตได้ได้ในกรณีนี้



ภาพผู้เสียชีวิตจากเหตุการณ์ซ่อมบ่อผลิตแก๊สชีวภาพ ที่ฟาร์มหมู จ.ราชบุรี

การวิเคราะห์สาเหตุของการประสบอันตราย

การปฏิบัติงานของลูกจ้างภายในบ่อพักรวมซีพี ซึ่งเป็นสถานที่เกิดอุบัติเหตุของบริษัท นายจ้างและผู้ที่เกี่ยวข้องไม่ทราบมาก่อนว่าสถานที่ดังกล่าวเป็นสถานที่อับอากาศ เมื่อมีการสูบน้ำออกจากบ่อจนเหลือระดับน้ำที่ความสูง ประมาณ 0.5 เมตร ทำให้ท่อส่งน้ำเสียจากบ่อหมักมายังบ่อพักรวมซีพีที่อยู่สูงกว่าระดับน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ ก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักไหลมายังบ่อพักรวมซีพี ภายในบ่อพักรวมซีพีจึงกลายเป็นสถานที่อับอากาศและมีบรรยากาศ อันตรายโดยมีการสะสมของสารเคมี (ก๊าซชีวภาพจากบ่อหมัก) ซึ่งเมื่อมีลูกจ้างลงไปภายในบ่อได้หายใจเอาก๊าซต่างๆ เข้าไปจนเป็นเหตุทำให้หมดสติและเสียชีวิตในที่สุดรวม 5 คน ก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊ส คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อย สลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่คือก๊าซ มีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซไนโตรเจน และน้ำ เป็นต้น ก๊าซที่เกิดขึ้นในฟาร์มโดย ตัวมันเองมักไม่มีอันตรายต่อคนและสัตว์ ถ้ามีการระบายอากาศเป็นปกติแต่ในบางแห่ง เช่น ที่ฟักมูลสัตว์หรือบ่อน้ำ เสียความเข้มข้นของก๊าซเหล่านั้น ($\text{CO}_2, \text{NH}_3, \text{CH}_4, \text{H}_2\text{S}$) อาจสูงมากทำให้ O_2 ลดต่ำลงมากจนคนถึงหมดสติหรือตายได้

ถ้าช่วยไม่ทัน นอกจากนั้นก๊าซอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัว เป็นก๊าซที่ไม่มีอันตรายโดยตรงหรือไม่ทราบอันตราย แต่มีกลิ่นซึ่งรบกวนความเป็นอยู่ที่ดีสุขสบายของมนุษย์ ก๊าซชนิดต่างๆ มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี ก่อให้เกิดพิษต่อคน สัตว์ และพืชได้ในลักษณะต่างๆ กันถ้ามีความเข้มข้นสูงเกิน บางชนิดมีผลรบกวนต่อระบบประสาทสัมผัส บางชนิดมีผลระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในทางเดินหายใจและเยื่อตา สำหรับก๊าซที่น่าจะเป็นสาเหตุทำให้เสียชีวิตจากการขาดอากาศหายใจได้นั้น ตัวที่มีน้ำหนักมากที่สุดคือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งหนักกว่าอากาศทำให้สะสมอยู่ภายในบริเวณก้นของบ่อพักรวมชีวมวล ซึ่งมีปริมาณมากและแทนที่อากาศภายในบ่อพักรวมชีวมวล ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในบ่อมีปริมาณลดน้อยลง ซึ่งคุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เมื่อหายใจเข้าไปทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ ถ้าได้รับปริมาณมากจะทำให้หมดสติหรือมีอาการโคม่าอาจทำให้เสียชีวิตได้

มาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายจากการทำงานในสถานที่อับอากาศ

การทำงานในสถานที่อับอากาศถือว่าเป็นงานที่อันตราย ดังนั้นผู้ที่จำเป็นต้องเข้าไปทำงานในสถานที่อับอากาศ จะต้องศึกษาและดำเนินการดังต่อไปนี้

1. จัดทำป้ายแจ้งข้อความว่า “ที่อับอากาศ อันตราย ห้ามเข้า” ให้มีขนาดมองเห็นได้ชัดเจนติดตั้งไว้โดยเปิดเผยบริเวณทางเข้าออกของที่อับอากาศ
2. จัดให้มีการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามหลักเกณฑ์ วิธีการ หลักสูตรที่กำหนด แก่ลูกจ้างที่ทำงานในที่อับอากาศ
3. จัดให้มีการตรวจวัด บันทึกผลการตรวจวัด และประเมินสภาพอากาศในที่อับอากาศว่ามีบรรยากาศ อันตรายหรือไม่โดยให้ดำเนินการทั้งก่อนให้ลูกจ้างเข้าไปทำงานและในระหว่างที่ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศ
4. จัดให้มีผู้ควบคุมงานผู้ช่วยเหลือในกรณีทำงานในที่อับอากาศ
5. จัดอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล อุปกรณ์ช่วยเหลือ และช่วยชีวิตที่เหมาะสมกับลักษณะงานแก่ลูกจ้างซึ่งทำงานในที่อับอากาศ
6. ปิด กั้น หรือกระทำโดยวิธีการอื่นใดที่มีผลในการป้องกันมิให้พลังงาน สาร หรือสิ่งที่เป็นอันตรายเข้าสู่ บริเวณที่อับอากาศในระหว่างที่ลูกจ้างกำลังทำงาน
7. จัดทำหนังสืออนุญาตให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศ

ข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้องในเรื่องสถานที่อับอากาศ

กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานในที่อับอากาศ พ.ศ. 2547

ข้อ 6 ให้นายจ้างจัดให้มีการตรวจวัด บันทึกผลการตรวจวัด และประเมินสภาพอากาศในที่อับอากาศว่ามี
บรรยากาศหรือไม่โดยให้ดำเนินการทั้งหมดให้ลูกจ้างเข้าไปทำงานและในระหว่างที่ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศ

ข้อ 7 กรณีที่นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศให้นายจ้างแต่งตั้งลูกจ้างที่มีความรู้ความสามารถและ
ได้รับการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามข้อ 21 ให้เป็นผู้ควบคุมงานคนหนึ่งหรือหลายคน
ตามความจำเป็นเพื่อทำหน้าที่ ดังต่อไปนี้

(1) วางแผนการปฏิบัติงานและการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงานและปิดประกาศ
หรือแจ้งให้ลูกจ้าง ทราบเป็นลายลักษณ์อักษร

(2) ชี้แจงและซักซ้อมหน้าที่ความรับผิดชอบ วิธีการปฏิบัติงานและวิธีการป้องกันอันตรายให้
เป็นไปตามแผนที่ กำหนดไว้

(3) ควบคุมดูแลให้ลูกจ้างใช้เครื่องป้องกันอันตราย และอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล
และให้ตรวจตราอุปกรณ์ดังกล่าวให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะใช้งาน

(4) สั่งให้หยุดการทำงานไว้ชั่วคราว ในกรณีที่มีเหตุซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อลูกจ้างจนกว่า
เหตุนั้นจะหมดไป และหากจำเป็นจะขอให้ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาตตามข้อ 18 ยกเลิกการอนุญาตนั้นเสียก็ได้

ข้อ 8 ให้นายจ้างจัดให้ลูกจ้างซึ่งได้รับการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามข้อ 21
คนหนึ่งหรือหลายคนตามความจำเป็น เป็นผู้ช่วยเหลือ พร้อมด้วยอุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิตที่เหมาะสมกับ
ลักษณะงานคอยเฝ้าดูแลบริเวณทางเข้าออกที่อับอากาศโดยให้สามารถติดต่อสื่อสารกับลูกจ้างที่ทำงานในที่อับอากาศ
ได้ตลอดเวลา เพื่อช่วยเหลือลูกจ้างออกจากที่อับอากาศ

ข้อ 9 ให้นายจ้างจัดให้มีอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล อุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิตที่
เหมาะสมกับลักษณะ งานตามมาตรฐานที่อธิบดีประกาศกำหนด และนายจ้างต้องควบคุมดูแลให้ลูกจ้างซึ่งทำงานใน
ที่อับอากาศ และผู้ช่วยเหลือสวมใส่หรือใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล และอุปกรณ์ช่วยเหลือและ
ช่วยชีวิตนั้น

ข้อ 11 ให้นายจ้างปิด กั้น หรือกระทำโดยวิธีอื่นใดที่มีผลในการป้องกันมิให้พลังงานสารหรือสิ่งที่เป็น
อันตรายเข้าสู่บริเวณ ที่อับอากาศในระหว่างที่ลูกจ้างกำลังทำงาน

ข้อ 19 ให้นายจ้างจัดให้มีหนังสืออนุญาตให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศทุกครั้งและหนังสืออนุญาตนั้น
อย่างน้อยต้องมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

(1) ที่อับอากาศที่อนุญาตให้ลูกจ้างเข้าไปทำงาน

(2) วัน เวลา ในการทำงาน

(3) งานที่ลูกจ้างเข้าไปทำ

- (4) ชื่อลูกจ้างที่อนุญาตให้เข้าไปทำงาน
- (5) ชื่อผู้ควบคุมงานตามข้อ 7
- (6) ชื่อผู้ช่วยเหลือตามข้อ 8
- (7) มาตรการความปลอดภัยที่เตรียมไว้ก่อนการให้ลูกจ้างเข้าไปทำงาน
- (8) ผลการตรวจสภาพอากาศและสภาวะที่อาจเกิดอันตราย
- (9) อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล และอุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิต
- (10) อันตรายที่ลูกจ้างอาจได้รับในกรณีฉุกเฉินและวิธีการหลีกเลี่ยง
- (11) ชื่อและลายมือชื่อผู้ขออนุญาต และชื่อและลายมือชื่อผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาต

ข้อ 21 ให้นายจ้างจัดให้มีการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศ ตามหลักเกณฑ์วิธีการ และหลักสูตรที่อธิบดีประกาศกำหนดแก่ลูกจ้างทุกคนที่ทำงานในที่อับอากาศ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีความรู้ความเข้าใจทักษะที่จำเป็นในการทำงานอย่างปลอดภัย ตามหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย พร้อมทั้งวิธีการและขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

กรณีที่ 2 เวลา 20.12 น. คุณฉัตรชัย วุฒิยางกูร ผู้สื่อข่าว ไอ.เอ็น.เอ็น. ประจำ จ.ลำปาง รายงานว่าเมื่อช่วง 18.00 น. ที่ผ่านมา เกิดอุบัติเหตุ เหตุการณ์จากวิทยาลัยการอาชีพเถิน ได้ทดลองผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสุกร แล้วเกิดระเบิด แรงระเบิดส่งผลให้นักเรียนได้รับบาดเจ็บ 3 คน ถูกนำส่งรักษาตัว รพ.เถิน ทราบชื่อดังนี้ 1. นายธิติพงษ์ แซ่หลี่ อายุ 18 ปี , 2. นายพิทักษ์ ธนันทชัย อายุ 18 ปี และ 3. นายธนวัฒน์ ปาคำ อายุ 17 ปี เหตุเกิดขณะกำลังทดลองที่บ่อแก๊ส ภายในหมู่บ้านเหล่า ต.ล้อมแรด อ.เถิน

การวิเคราะห์สาเหตุของการประสบอันตราย

พูดง่าย ๆ ว่า ก๊าซที่ติดไฟได้มันเป็นอันตราย การระเบิดหรือการติดไฟได้ ต้องอาศัยองค์ประกอบหลักสามอย่าง ถ้าขาดอย่างใดอย่างหนึ่งจะไม่ทำให้เกิดไฟได้ คือ หนึ่งก๊าซ (หรือเชื้อเพลิง) สองประกายไฟ สามคือออกซิเจน การที่จะเกิดการไหลย้อนกลับของประกายไฟเข้าไปในถังก๊าซนั้นยาก เนื่องจากในถังนั้นน้ำจะปราศจากออกซิเจน แต่ถ้าต้องการความปลอดภัยจริงๆ ติด check valve มันเป็นวาล์วที่ป้องกันการไหลย้อนกลับของก๊าซได้ เหมือนที่ติดที่ถังก๊าซหุงต้ม

กรณีที่ 3 11 มี.ค. 2553 ร.ต.อ.กระจาย ทันตะคุ ร้อยเวร สภ.อุดมทรัพย์ อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา รับแจ้งเกิดเหตุระเบิดมีผู้เสียชีวิตที่ รร.บ้านหนองสโมง ต.อุดมทรัพย์ จึงเดินทางไปตรวจสอบ พร้อมหน่วยกู้ภัยสุข 31 จุดวังน้ำเขียว ที่เกิดเหตุพบศพผู้เสียชีวิตนอนหงายใบหน้าแหลกเหลว แขนซ้ายหักหมุนเป็นเกลียว ทราบชื่อ นายพงษ์อิทธิพล ชัยดา อายุ 50 ปี เป็น ผอ.โรงเรียนบ้านหนองสโมง เจ้าหน้าที่จึงกันผู้ไม่เกี่ยวข้องให้ถอยห่างออกไป และนำร่างอันไร้วิญญาณของนายพงษ์อิทธิพล ส่งชันสูตรที่ รพ.วังน้ำเขียว ท่ามกลางความเศร้าโศกของคณะครู และนักเรียน



ภาพผู้เสียชีวิตจากเหตุการณ์ซ่อมบ่อผลิตแก๊สชีวภาพ ที่ฟาร์มหมู จ.ราชบุรี

จากการสอบสวนทราบว่า ก่อนเกิดเหตุนายพงษ์อิทธิพล ผู้ตาย ได้พาเด็กนักเรียนชั้น ป.4 ป.5 และ ป.6 ฝึกเรียนรู้การทำก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ เพื่อนำไปจัดนิทรรศการการเรียนรู้ที่สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ในอาทิตย์หน้า ระหว่างนั้นผู้ตายได้พยายามจุดไฟจากถังแก๊ส แต่จุดไม่ติด จึงลองใหม่อีกครั้ง โดยกันให้นักเรียนถอยห่างออกไป จากนั้นผู้ตายได้ยื่นคร่อมถังแก๊สชีวภาพ จู่ ๆ ถังแก๊สก็ระเบิดขึ้นเสียงดังสนั่นหวั่นไหว ทำให้ร่างของผู้ตายกระเด็นลอยละลือชนเพดานหลังคาอาคาร ก่อนตกลงบนพื้นอย่างแรง ทำให้เสียชีวิตทันที ส่วนเด็กนักเรียนปลอดภัย ไม่มีใครได้รับบาดเจ็บ นอกจากนี้ แรงระเบิดยังทำให้ถังแก๊สที่ทำจากวัสดุไฟเบอร์ กระเด็นออกไปนอกอาคารเรียนไกลกว่า 30 เมตร.

การวิเคราะห์สาเหตุของการประสบอันตราย

สำหรับสาเหตุที่อาจารย์เสียชีวิตคาดว่าน่าจะเกิดจากแก๊สชีวมวลได้ถูกปล่อยออกมาจนหนาแน่นแล้ว เพียงแต่อาจารย์อาจไม่ได้สังเกต พอมันหนาแน่น เวลาจุดไฟติดมันจะระเบิดรุนแรง เปรียบได้เหมือนเวลาที่จุดเตาแก๊สครั้งแรกไม่ติดไฟแต่แก๊สได้ออกมาแล้ว จะไต่กลิ่นที่ใส่ไว้ พอจุดอีกทีในเวลาใกล้ๆ กัน เปลวไฟจะลุกพริบรุนแรงถามว่าถึงที่บรรจุก๊าซแบบพลาสติกนั้นเพียงพอหรือเปล่า ยังตอบไม่ได้ต้องดูข้อมูลก่อนว่า การเก็บก๊าซชีวภาพนั้นเก็บไว้ที่แรงดันเท่าไร

ภาคผนวก ด

ราคากลางวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องด้านความปลอดภัย

รายชื่อหน่วยงานภาครัฐ รายชื่อที่ปรึกษาออกแบบระบบก๊าซชีวภาพ

และ แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย

ตารางที่ 1 ราคากลางของวัสดุต่อหน่วยของอุปกรณ์ชนิดต่างๆ 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 ทำ ด้วยสแตนเลส 316	เมตร เมตร	270 380
3	วาล์วป้องกันแรงดันเกิน กำหนด (Safety Relief Valve)	-อัตราการไหล 800 ลูกบาศก์เมตรต่อ ชั่วโมงปรับตั้งแรงดันได้ 100-350 มิลิ บาร์	ตัว	250,000
4	สวิตช์ป้องกันแรงดันเกิน กำหนด (Pressure Switch)	-Differential pressure switch -Out put : 4-20 mA -Indicator : Digital LCD Span 1- 100 mbar	ตัว	55,000
5	ตัวส่งสัญญาณแรงดัน ก๊าซ (Pressure Transmitter)	-out put : 4-20 mA -indicator : Digital LCD -Input put : 4-20 mA	ตัว	45,000

ตารางที่ 1 ราคากลางของวัสดุต่อหน่วยของอุปกรณ์ชนิดต่างๆ 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> -ทำด้วยสแตนเลส ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. -มีอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับ (Flame Arester) -มีชุดควบคุมการจุดน้ำอัตโนมัติ -มีอัตราการเผาไหม้ประมาณ 200 ลบ.ม./ชม.	ชุด	450,000
		<u>ระบบปิด</u> -ทำด้วยสแตนเลส ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 ซม. -มีอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับ (Flame Arester) -มีชุดควบคุมการจุดน้ำอัตโนมัติ พร้อมด้วยระบบตรวจจับแสง -มีอัตราการเผาไหม้ประมาณ 200 ลบ.ม./ชม.	ชุด	700,000
8	ถังป้องกันยุบตัวของบ่อ ก๊าซ (Water Seal Tank)	-วัสดุทำด้วยสแตนเลส -รองรับปริมาณก๊าซได้ 800 ลบ.ม./ ชม.ได้รับรองมาตรฐานสากล เช่น TUEV, UL	ตัว	350,000
9	เครื่องวัดการรั่วซึมของ ก๊าซชีวภาพ (Biogas leakage detector)	-สามารถตรวจหาการรั่วซึมของก๊าซ ชีวภาพ ณ จุดต่างๆ -Indicator : Digital LCD	ชุด	30,000

ตารางที่ 1 ราคากลางของวัสดุต่อหน่วยของอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	รายละเอียด	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)
10	ชุดควบคุมการจ่ายก๊าซ (Gas Train)	-ชุดควบคุมการจ่ายก๊าซได้ 600 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง -ชุดตรวจจับและป้องกันก๊าซรั่วในห้อง เผาไหม้ -ชุดวาล์วนิรภัยแบบบอลวาล์ว -ได้รับรองตามมาตรฐานสากล เช่น TUEV -ป้องกันระเบิด Zone 1, 2	ตัว	400,000
11	แสงสว่าง (Lighting)	-หลอดไฟฟ้าลู่ออเรสเซนต์ขนาด 18 x 18 วัตต์ มาตรฐาน IEC Ex ed II C T4	ชุด	16,000
12	วาล์ว (Valve)	ขนาด 4 นิ้ว ขนาด 6 นิ้ว -ตัววาล์วทำจากเหล็กหล่อ -แผ่นหน้าวาล์วเป็นสแตนเลส 316 -ที่รองรับวาล์วเป็น EDPM	ตัว ตัว	2,000 3,000
13	หัวพ่นไฟ (Burner)	-ขนาด 3,200,000 Kcal/Hr. -แบบผสมเชื้อเพลิง ใช้ร่วมกันได้ รับรองตามมาตรฐาน DIN 4748 & TRD 412	ชุด	3,000,000
14	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ชีวภาพ (Biogas analyzer)	-วัดความเข้มข้นของ ก๊าซมีเทน (CH ₄), ก๊าซออกซิเจน (O ₂), ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) และก๊าซ ไฮโดรเจน (H ₂ S) -สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง ตลอด 24 ชั่วโมง -Out put : 4-20 mA and on-off contact Indicator : Digital LCD	ชุด	650,000

ตารางที่ 2 รายนามบริษัทที่ปรึกษาที่สามารถให้คำแนะนำหรือดำเนินการออกแบบก่อสร้าง

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 อาคารบางกอกไทยทาว เวอร์ ชั้น10 พญาไท ราชเทวี กรุงเทพฯ	02-642-7115-7	02-642-7115
4	สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	อาคารสถาบัน 3 ชั้น 12 ถ.พญา ไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ	02-218-8096-7	02-254-7579
5	คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	126 ถ.ประชาธิปไตย บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ	02-4708-613	02-4708-635
6	สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน คณะ วิศวกรรมศาสตร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 ถ. มิตรภาพขอนแก่น จ.ขอนแก่น	043-362-299	043-362-299
7	บริษัท ดอร์ซ คอนซัลท์ เอเชีย จำกัด	1016 อาคารศรีเฟื่องฟู 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	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีแห่งชาติ	111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศ ไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี	02-564-7000	02-564-7001-5
11	บริษัท ปภพ จำกัด	10/35 ซ.ลาดพร้าว 44 แขวงสาม เสนนอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ	02-938-2923-4	02-513-5814
12	บริษัท อินเตอร์ เอ็นจิเนียริงมาเนจเม้นต์ จำกัด	2013 อาคารอิติลไทย ชั้นที่6 ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ ห้วยขวาง กทม.	02-718-0424	02-718-0425
13	บริษัท ไบโอฟูเอล จำกัด	49/533 หมู่ที่ 5 ซ.บุญส่งโสพิศ ถ.นวมินทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ	02-734-5450	02-734-5450 ต่อ 103
14	บริษัท แชน.อี. 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิ เนียร์ส 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 เพ็องสิริ เอ็นจิเนียริง จำกัด	111/379-380 หมู่ 6 ถ.เลียบคลอง ภาษีเจริญฝั่งใต้ 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 กรุงเทพฯ	02-273-0037	02-273-0735
18	บจก.แมเนจเม้นท์ โซลูชั่นส์ อินเตอร์ เนชั่นแนล	151 อาคารทีเอ็ม ถ.นวลจันทร์ แขวง คลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ	02-509-9094-5	02-509-9060
19	บริษัท ทีเอ็ม เอ็นเนอร์ยี่ แมเนจเม้นท์ จำกัด	152 หมู่ 12 ถ.นวลจันทร์ แขวง คลองกุ่ม 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.สุทธิสาร วินิจฉัย กิ่งแดง 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 อินเตอร์ เนชั่นแนล	ชั้น 12 อาคารสิริถิปัญญา 475 ถ.ศรีอยุธยา ราชเทวี กรุงเทพฯ	02-201-3466	02-201-3465
24	บริษัท เดคทอป เมนูเฟคทอริง จำกัด	80 ซ.จันทนชาติ ถ.ประชาชื่น แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ	02-913-6099	02-913-6098
25	บริษัท ฟันฟูสิ่งแวดล้อมไทย จำกัด	667/5 ซ.วชิรธรรมสาธิต 45 ถ.สุขุมวิท 101/1 แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ	02-398-5607	02-746-4465
26	มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและ พลังงาน	12/9 อาคารเอวี 3A ถ.เทศบาล สงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขต จตุจักร กทม.	02-580-6242-3	02-580-5103
27	บริษัท เอิร์ธ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	อาคาร เอสพี ชั้น 17 เลขที่ 388 ถนนพหลโยธิน เขตพญาไท กรุงเทพฯ	02-273-0037	02-273-0735
28	สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและ ขนาดย่อม	99 อาคารสถาบันพัฒนา SMEs (ยื่นเนเขียน 1) มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต จ.ปทุมธานี	02-564-4000	02-564-2737
29	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	50 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ	02-579-0113 ต่อ 2050-1	02-940-7110

ตารางที่ 2 รายชื่อบริษัทที่ปรึกษาที่สามารถให้คำแนะนำหรือดำเนินการออกแบบก่อสร้าง (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
30	บริษัท เกษมดีชาชาติ แอนด์ คอนกรีต แทนท์ จำกัด	180/61-62, 95 อาคารสุขสวัสดิ์โม เดิร์นคอนโดมิเนียม ถนนสุขสวัสดิ์ แขวง ราษฎร์บูรณะ กรุงเทพฯ	02-818-0881-2	02-818-1369
31	ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบ การผลิต	ชั้น 3, อาคาร 4 คณะ วิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย 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 พัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน ไทย จำกัด	639/16 ซ.วชิรธรรมสาริต 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	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง	3 หมู่ 2 ถ.ฉลองกรุง เขต ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520	02-737-3000	02-737-2583
37	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที-แฟม	206/127 หมู่ 3 (หมู่บ้านทิพย์ภมร ฮิลล์ ซอย 3 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	053-839-271	053-839-272
38	บริษัท ศาเลเทค รีเสิร์ช แอนด์ คอนซัล แตนท์ จำกัด	9/431 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ต. กระทุ่มล้ม อ.สามพราน จ.นครปฐม	034-230-903-4	034-230-903
39	บริษัท อินโนเวชั่น เทคโนโลยี จำกัด	51/29 ถ.งามวงศ์วาน แขวง ลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ	02-941-4080-1	02-941-4080-1
40	บริษัท อันดามันเอนไวรอนเมนทอล คอนซัลแตนท์ จำกัด	86 ถ.เยาวราช ซอย 1 ต.ตลาด ใหญ่ 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	หน่วยปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและ สิ่งแวดล้อม มทส.	111 ถ.มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา	044-224-834	
43	บริษัท การจัดการสิ่งแวดล้อมขนาดใหญ่ จำกัด	572/25-26 ถ.กาญจนวนิช ต.บ้านพรุ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	074-739-575	074-439-585

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
1	บริษัท สไปแร็กซ์ ชาร์โก(ประเทศไทย) จำกัด	222 อาคาร เจ วี เค ชั้น 9 กรุงเทพฯ กรีฑา หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ	02-379-3211	02-379-4656
2	บริษัท เทอร์เรค ไดนิเมติกส์ จำกัด	9/174 หมู่บ้านริมคลองบางมดหมู่ 7 ถ.พุทธบูชา แขวงบางมด เขต จอมทอง กรุงเทพฯ	02-874-8178-80	02-874-8179-80
3	บริษัท พีแอนด์เอส เอนเตอร์ไพรส์ (ประเทศไทย) จำกัด	921/6-7 หมู่ 5 ถ.ศรีนครินทร์ ต. ลำโพงเหนือ 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 ดลิ่งชัน กรุงเทพฯ	02-887-6901-6	02-887-6907
5	บริษัท ซี.เค.อี.เล็คเทค จำกัด	31/14 ถ.ดำรงรักษ์ คลองมหานาค ป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพฯ	02-280-0150-4	02-280-3663-4
6	บริษัท วิชชุภัณฑ์ อิมพอร์ต เอ็กซพอร์ต จำกัด	85 ซ.โบสถ์พราหมณ์ ถ.บำรุงเมือง เสาชิงช้า พระนคร กรุงเทพฯ	02-222-3161	02-224-0671
7	บริษัท วิค แอนด์ สุกแลนด์ 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 ไทยสตีลเมอริสแอนด์ซัพพลาย จำกัด	754/31-31 ซ.ปณณวิถี สุขุมวิท 101 บางจาก พระโขนง กรุงเทพฯ	02-332-7700-2	02-311-4840
10	บริษัท ไทย ไปโอแก๊ซ เอ็นเนอร์ยี 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	02-379-4660	02-379-4661-2
12	บริษัท เยอรมันเอ็นจิเนียริงแอนด์แม ชชีนเนอรี่ จำกัด	399 หมู่ 17 ถนนบางนา-ตราด กม. 23 แขวงบางเสาธง เขตบางเสาธง สมุทรปราการ 10540	02-315-3331-2 02-315-3662 ,0 27058947-8	02-315-3212
13	บริษัท เกตตาเบคอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	อาคาร จีทีบี เลขที่ 79/7 หมู่2 ถ.ศรี นครินทร์	02-366-0400-7	02-366-0399, 366-0413
14	บริษัท บางกอก อินดัสเทรียล บอลโลว์ จำกัด	386 หมู่ 6 ถ.สุขุมวิท ลำโพงเหนือ อ. เมือง จ.สมุทรปราการ ประเทศไทย 10270	02-398 0143	02-749 1969
15	บริษัท สเปกโก้ เอเชีย จำกัด	487 ชั้น 2 อาคาร B.S.V. ถ.ศรี อยุธยา แขวงพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400	02-642-6850-2	0264- 6850

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
16	บริษัท พรีเมียร์ โปรดักส์ จำกัด	2 ซ.พรีเมียร์ 2 ถ.ศรีนครินทร์ ประเวศน์ กรุงเทพฯ 10250	02-301-1340	02-301-2202
17	บริษัท ซาดากะ (ประเทศไทย) จำกัด	133 ม.5 นิคมอุตสาหกรรมบางกะดี ต.บางกะดี อ.เมืองปทุมธานี 12000	02-501-1223	02501-1188
18	บริษัท เซ็นเนท เอนจิเนียริง จำกัด	9/136 หมู่ 2 ถ. เพชรเกษม แขวง หนองค้างพลู เขต หนองแขม กรุงเทพฯ 10160	0-421-1600	0-2808-9782
19	บริษัท บ้านโป่ง เอนจิเนียริง จำกัด	21 หมู่ 1 ถ.หัวโพ บ้านสิงห์ หัวโพ บางแพ ราชบุรี 70160	032-349 515	032-349 398
20	บริษัท ธรรมศร เอนจิเนียริง จำกัด	156/20 ถ.เพชรบุรี เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400	02-611-0290	02-611-0460
21	บริษัท เม็คมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด	104 อาคาร โซลิต กรุป ซ.4 ถ. พัฒนาการ แขวง สวนหลวง เขต สวนหลวง กรุงเทพฯ 10250	02-322 2409	02-322 2415
22	บริษัท บุญเยี่ยม & แอสโซซิเอท จำกัด	1314-1322 39/5 หมู่ 1 ถ.ศรี นครินทร์ สวนหลวง พระโขนง กรุงเทพฯ 10250	02-322-4330-3, 02-322-1678	02-322-4329
23	บริษัท แคนดู เอนเตอร์ไพรส์	111/76 ซ.ศรีนครพัฒนา สุขุมวิท 1 คลองกุ่ม บึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10240	023781137	02-375-1076
24	บริษัท ฉัตรชมชื่น จำกัด	145 หมู่ 2 ถ.เทพารักษ์ เทพารักษ์ เมืองสมุทรปราการ สมุทรปราการ 10270	02-7580151	02-7580160
25	บริษัท ช้องเจริญจักรกล(1991) จำกัด	43/2 หมู่ 9 ถ. สุขสวัสดิ์ 47 พระ ประแดง สมุทรปราการ 10130	02-4634262	02-4643901
26	บริษัท ชิตี สติม กรุป จำกัด	21/5 หมู่ 5 ถ.พุทธบูชา บางมด จอมทอง กรุงเทพฯ 10150	02-4275441	662-4284364
27	บริษัท ทรธา อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด	33/29 ถ.รามคำแหง (สุขุมวิท3) หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240	02-7316209	02-732-3189
28	บริษัท นิค ยูนิเวอแซล จำกัด	1184 ถ.สุขุมวิท ปากน้ำ เมือง สมุทรปราการ สมุทรปราการ 10270	02-3845877	02-3845877

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
29	บริษัท พี เค บอลเลอร์ จำกัด	9/87 ซ.พินสุวรรณ อ.เมือง จ. สมุทรสาคร 74000	02-2944371	034-824-111
30	บริษัท รุ่งโรจน์ เอนจิเนียริง แอนด์ เอน เตอร์ไพรส์ 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 เมคานิก 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 คลองตันสาย คลองสาน กรุงเทพฯ 10600	02-4401921	02-4401918
35	บริษัท พีแอนด์เอส ดีไซน์ จำกัด	3/3 หมู่ 13 กม.6.5 ถ. บางนา-ตราด บางแก้ว บางพลี สมุทรปราการ	0-2312 0165	0-2312 0166
36	บริษัท ไทย เค บอลเลอร์ จำกัด	134 หมู่ 6 ถ.เพชรเกษม 91 สวน หลวง กระทุ่มแบน สมุทรปราการ 74110	02-4208046	02-420-2358
37	บริษัท เจียมพัฒนา เอนเนอจี พาร์ท เนอร์ชิป จำกัด	191 หมู่ 8 อ.ศาลาแก้ว เมือง สุพรรณบุรี 72210	035-599 277	035-540 162
38	บริษัท แอลเค บอลเลอร์ อินดัสทรี จำกัด	95 หมู่ 15 ถ.กิงแก้ว ราชเทวี บาง พลี สมุทรปราการ 10540	02-3267581	02-7383608
39	บริษัท รอยอล อีควิปเมนต์ จำกัด	88 ถ.พิชัย ดุสิต กรุงเทพฯ 10300	02-243-6215-7	02-241-1839
40	บริษัท อันโซลโด อีเนอเจีย รีเพรสเซน 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	02-3192595-7	02-3192598
42	บริษัท โรซลอยซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล ลิมิเตด จำกัด	900 อาคาร ดันสน ชั้น 11 ถ.เพลินจิต	02-263 0500	02-263 0505

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
42	บริษัท โรชลอยซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล ลิมิเต็ด จำกัด	900 อาคาร ต้นสน ชั้น 11 ถ.เพลินจิต	02-263-0500	02-263-0505
43	บริษัท ซีเมนส์ พาวเวอร์ เจเนอเรชั่น จำกัด	อาคาร ซาญฮิสระ 2 ชั้น 32 2922/283 ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ บาง กะปิ ห้วยขวาง กรุงเทพฯ	02-715-4935	02-715-4957
44	บริษัท ฟอสเทอร์ วิลเลอร์ จำกัด	ฟอสเทอร์ วิลเลอร์ อินเตอร์เนชั่น แนล คอร์ปอเรชั่น 217 หมู่ 12 ถ.สุขาภิบาล 8ทุ่งสุขลา ศรีราชา ชลบุรี 20230	0-38-352-200/ 201 / 202 / 203 / 204 / 205 / 206	0-38-352-226 / 444
45	บริษัท สยาม ทาคูมา จำกัด	ชั้น 18 อาคารสิน สวรร 77/69 ถ.กรุง ธนบุรี คลองสาน กรุงเทพฯ 10600	02-438-5616	02-440-0114
46	บริษัท เฮอร์แมกซ์ ลิมิเต็ด จำกัด	ชั้น 4 อาคาร นายเลิถ 2/4 ถ.วิทยุ ลุมพินี ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330	02-655-5790	02-655-5791, 02-712-0608
47	บริษัท จีอี เอเนอจี จำกัด	ชั้น 7 อาคาร แคปปิตอล ออชชั่น 87/1 ถ.วิทยุ ลุมพินี ปทุมวัน กรุงเทพฯ	02 627 8732	02 627 8788
48	บริษัท อีบาร่า (ไทยแลนด์) ลิมิเต็ด จำกัด	ชั้น 3 อาคาร ACME 125 ถ.เพชรบุรี ราชเทวี กรุงเทพฯ	0 2612 0322-30	0 2612 0331
49	บริษัท เอลโค พาวเวอร์ ซิสเทมส์ จำกัด	ชั้น 28 อาคาร เบญจธานี 127/33 ถ. นนทรี ซ่องนนทรี ยานนาวา กรุงเทพฯ	66-2-681-0373-6	66-2 681-0377
50	บริษัท วาสเทคไลน์ ไทยแลนด์ จำกัด	ห้อง เอ10 ชั้น 3 รีเควส คลับ 8 ช.ประชาชนคดี (สุขุมวิท 49) คลองตัน เหนือ วัฒนา กรุงเทพฯ	02-714-7254	02-714-7255
51	บริษัท ปภพ จำกัด	10/35 ซ. ส่องแสงตะวัน ถ. ลาดพร้าว 44 สามเสนนอก ห้วย ขวาง กรุงเทพฯ	02-938-3117, 398-2993-4 , 938-3887	02-513-5814
52	บริษัท คอนควอส จำกัด	413/15 บางรัก กรุงเทพฯ 10500	02-237-1519-22	02-236-5368
53	บริษัท คราฟติก จำกัด	3725/17 ซ.1 ถ.พระราม 3 บางคอ แหลม กรุงเทพฯ	02-295-4999, 02-683-8811	02-295-4184

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
54	บริษัท ฟูลชีสเทม เอนจิเนียริง 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 เอเชีย กรุ๊ป พาร์ตเนอร์ ชิป จำกัด	18/8 พิมพสุท ถ.นาเมือง ขอนแก่น กรุงเทพฯ 40000		
57	บริษัท แอร์ เซฟ จำกัด	ชั้น15 อาคารอิทธิพล ไทย 2034/71 ถ. เพชรบุรีตัดใหม่ บางกะปิ ห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10320	02-723-4455	02-723-4452
58	บริษัท เบทเทอร์ เวลด์ กรีน จำกัด	2674/1 หมู่ 2 ซ.ไทรฟ่อน 2 ถ. ลาดพร้าว บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240	02-731-0080	02-731-2574
59	บริษัท เทเวลลอปเม้น ออฟ เอนเวินเมนต์ เอเนอจี ฟาวเดชั่น จำกัด	12/9 อาคาร AV3A ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพ 10900	02-580-6242-3	02-580-5103
60	บริษัท เอนเวินเมนต์ 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.บอนดัสตรีท 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 เพชรเกษม 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 แชน อี 68 คอนเซ็ปต์ เอนจิ เนียริง 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-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
67	บริษัท เทนตอินเตอร์เทรด จำกัด	181 หมู่ 10 ถ.เพชรเกษม 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 รีคัพเวอร์ 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 พาร์ตเนอร์ชิพ จำกัด	168 ซ. 8 ถ.สุขุมวิท คลองเตย กรุงเทพฯ 10110	02 253 8000	02 253 4414
72	บริษัท แสตนด์การ์ดเคสเซล (ไทยแลนด์) จำกัด	168 ถ.สุขุมวิท ซ.8 กรุงเทพฯ 10110	02-251-1234, 02-254-9264-7	02-253-4414
73	บริษัท เอบีบี พาวเวอร์ ลิมิเตด จำกัด	322 หมู่ 4 บางปู อินดัสเทรียล พาร์ค ซ.6 ถ.สุขุมวิท สมุทรปราการ 10280	02-324-0505, 02-709-3377	02-709-3387
74	บริษัท บี กริม พาวเวอร์ เอนจิเนียริง จำกัด	33 ซ.เลิคนาวา ถ.กรุงเทพกรีฑา หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240	02-3794333, 3794433 ต่อ 2103-2108	02-3794447, 3794450
75	บริษัท ไอทอลล์ ไทย อินดัสเทรียล จำกัด	2013 อาคาร ไอทอลล์ ทาวเวอร์ ถ. เพชรบุรีตัดใหม่ บางกะปิ ห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310	02-7180820	02-7180857
76	บริษัท ประเสริฐ อัลเลียด จำกัด	57/1 หมู่8 ถ.ทางรถไฟเก่า สำโรง กลาง พระประแดง สมุทรปราการ	02-3940665, 3943782	02-3841755
77	บริษัท สยาม คอนโทรล ซิสเต็ม จำกัด	559 ตรอก วัดจันทน์ใน ถ.เจริญ ราษฎร์ บางโคล่ บางคอแหลม กรุงเทพฯ 10120	02-689-7922	02-689-7923
78	บริษัท โซเนอร์ จำกัด	B.B House 99/10 หมู่5 บ้านคลอง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000	055-282-810	055-282-860

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
79	บริษัท ไทย อินเทอร์เน็ตคอม จำกัด	236 ถ.บริพัตร บ้านบาท พร้อมलग กรุงเทพฯ 10100	02-2221361, 2221363, 2221699	02-2221363
80	บริษัท เค วาย อินเทอร์เน็ต จำกัด	55/17-18 ถ.พญาไทย ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400	066 (0) 2653 6655	02-7543002, 02- 657-0938
81	บริษัท สิโนไทย อินเทอร์เน็ต 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 เอ็ม วี เมทิล เอนจิเนียริง จำกัด	3094 หมู่ 15 ซสุขุมวิท 107 ถ. สุขุมวิท สำโรงเหนือ เมือง สมุทรปราการ สมุทรปราการ 10270	662-7498466	662-3613389
83	บริษัท ยูโร ไทย เอนจิเนียริง จำกัด	79/7 ถ.ศรีนครินทร์ หนองบอน ประเวศน์ กรุงเทพฯ 10250	02-464-2018	02-253-9549
84	บริษัท เค เอ็ม บอลเลอร์ อินดัสทรี จำกัด	98/6 ถ.สุขสวัสดิ์ พระประแดง สมุทรปราการ 10130	02-3660408	02-366-0410
85	บริษัท พอร์เบสท์ จำกัด	809/15 ถ.จันทน์ ทุ่งวัดดอน สาทร กรุงเทพฯ 10120	02-6730486	02-6730487
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 เชอรัวิส	66/12 ซ เอกชัย 30 ถ เอกชัย เขต บางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150	02-41-52921	02-893-3126
88	ห้างหุ้นส่วนจำกัด กิตติ แม่ทองเรียล	128/6 ถ สาธุประดิษฐ์ 6 แขวงวัดทุ่ง ดอน เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120	02-2125500	
89	บริษัท พี แอนด์ คอนดิเนนตัล เทคดิง จำกัด	620/61 ถ สาธุประดิษฐ์ แขวงบาง โพธิ์พวง เขตยานนาวา กรุงเทพฯ 10120	02-211-3666, 02-295-3616-7	02-673-1736
90	บริษัท ผดุงเจริญ จำกัด	2382 ถ เพชรบุรีตัดใหม่ แขวงบาง กะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310	02-3146321	02-3180376

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ 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- 375-1603
92	บริษัท ส. ไพศาล สตรีม บอยเลอร์ จำกัด	309/37 ถ พัฒนาการ เขตประเวศ กรุงเทพฯ 10250	02-7223004	02-3910231
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 ดับบลิว สตีล โปรดักส์	44 หมู่ที่ 9 ซ เทพกาญจนา ต คลอง มะเดื่อ 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 เขตบาง นา กรุงเทพฯ 10260	02-393-7931-4	02-393-2820
96	บริษัท สไปแรกซ์ ชาร์โก้ (ประเทศไทย) จำกัด	อาคาร เจ วี เค ชั้น 9 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240	02-3793216	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 แมชีนารี จำกัด	3559/47 ถ พระราม 3 แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพฯ 10120	02-2913181	02-2911047
99	หจก พี ศรียนต์ จำกัด	729/201 ถ จรัสสินทวงศ์ เขตบาง พลัด 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 เอ็นจิเนียริง 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 วัดเทพ นิมิต ถ โกสุมร่วมใจ เขตดอนเมือง กรุงเทพฯ	02-503-8420, 02-981-0192-4	02-5038421
103	บริษัท บี ที อีควิปเมนต์ จำกัด	111/7 ; ซ เอกมัย 5 ถ สุขุมวิท เขต คลองเตย 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 บีเอ็ม (ประเทศไทย) จำกัด	161/89 ถ สรรพาวุธ แขวงบางนา เขต พระโขนง กรุงเทพฯ	02-393-0050, 02-399-4701	02-3991848

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
106	บริษัท บุญธนาภรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	179 ถ สีพระยา เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500	02-2360054, 2362711-2, 2368726-9	02-2383008
107	บริษัท จำนัน เวลดิ้ง เจเนอเรเตอร์ จำกัด	27558-9 ซ โชคดี ถ พระราม 4 เขต คลองเตย กรุงเทพฯ 10110	02-2582883, 2590768, 6630378-9	02-2590768
108	บริษัท เจริญกรุง เอ็นจิเนียริง จำกัด	83 หมู่บ้านนวนาณี 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 เด็ดโก้ (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 บราเธอร์ จำกัด	23/1 ถ เพชรเกษม 36 เขตภาษี เจริญ กรุงเทพฯ 10160	02-4570058, 4570563, 4574932	02-4576664
112	บริษัทดวงโชค เอ็นจิเนียริง 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 แขวง คลองตัน เขตคลองเตย กรุงเทพฯ	02-3142656, 3143453, 3191579-82	02-3182088
114	บริษัท ไนกี้เทค (ประเทศไทย) จำกัด	662/53-54 5 จรัสสินทวงศ์ เขตบาง พลัด กรุงเทพฯ	02-4330070, 4333325-7	2608595
115	บริษัท ฟิลเลอร์ (ประเทศไทย) จำกัด	51/142 ม 7 ถ วิภาวดีรังสิต อ เมือง จ ปทุมธานี	02-5339216, 9977091	02-9977092

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
116	บริษัท ฟรีเมียร์ พาวเวอร์ จำกัด	17/3 ถ ประดิพัทธ์ 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 เอ็นจิเนียริง จำกัด	759 ถ พระราม 3 เขตยานนาวา กรุงเทพฯ 10120	02-2840965, 2841746, 2945031-2	02-2944673
120	บริษัท เทอม เอ็นจิเนียริง จำกัด	11/71-72 ม 4 ถ ซ่างอากาศอุทิศ แขวงทุ่งสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพฯ 10210	02-928-2215-6	02-928-2217
121	บริษัท ไทย ไดนามิค (1991) จำกัด	98 ม 14 ถ ห้วยบ้าน อ เมือง จ สมุทรปราการ 10280	02-3870470, 3871261, 3892216-9	1172826
122	บริษัท ไทยเจนต์ จำกัด	99/37 ซ เทศบาลรัษฎาภิเษม ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900	02-5800953, 5805100	02-5805100
123	บริษัท ไทยแม็กซ์เวลล์ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	32/7 ซ วัดเทียนสถ ถ เพชรเกษม อ สามพราน จ นครปฐม 73110	02-4290033	02-429-0014
124	บริษัท ไทย เสงี่ยม แมทชีนารี จำกัด	64-70 ซ สุกร 1 ถ ตรีมิตร เขตสัม พันธวงศ์ 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-จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
126	บริษัท ไทย เจเนเรเตอร์ เอ็นจิเนียริง 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 พิตาล จำกัด	21/587-589 ม 12 ถ บางนา ตราด กม ที่ 2 เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10200	02-3980159	02-3981864
128	ไทยยนต์ เอ็นจิเนียริง	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 กรุงเทพฯ 10600	02-4380038-9, 4392866-9	02-4386238
132	บริษัท อู เจนส์ จำกัด	288/21 ถ สุรวงศ์ เขต บางรัก กรุงเทพฯ	02-2375387-8	02-2252737
133	บริษัท ซี อี อี เนอร์จิ จำกัด	64/121 ม 5 ซ สวนผัก 35 แขวง นิมพลี เขต ดลิ่งชัน 10170	0-2884 4276-7	0-2884 2737
134	เดล อิล็คตริก พาวเวอร์ ซิสเต็ม จำกัด	40/114-115 ซ พุนเจริญ ถ บางนา ตราด แขวงบางพลี จ สมุทรปราการ 10540	02-3370003-8	02-3370009
135	บริษัท ดิทเฮมส์ จำกัด	1696 ถ เพชรบุรีตัดใหม่ แขวงบางกะปิ เขต ห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10320	02-2544900-12, 6529230-49	02-2535560, 2544913
136	บริษัท เมโทร แมทชีนารี จำกัด	1760 ถ สุขุมวิท แขวงบางจาก กรุงเทพฯ 10250	02-742-8000, 742-9000	02-742-8088

ตารางที่ 3 แหล่งข้อมูลในการจัดซื้อ - จัดหาอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
137	บริษัท มิน เซน แมทชีนนารี จำกัด	777 อาคาร เอส เอส เอ็ม ถ. มหาชัย แขวงวังบูรพา เขตพระนคร กรุงเทพฯ	02-2229201-5, 2257800-9	02-2252877
138	บริษัท เทอม เอนจิเนียริง จำกัด	11/71-72 ม 4 แขวงทุ่งสีกัน เขต ดอนเมือง กรุงเทพฯ 10210	02-928-2215-6	02-928-2217
139	บริษัท ไทย สตรีม เวอร์วิส แอนด์ ซัพพลาย จำกัด	754/31-32 ซ สุขุมวิท 101 แขวง บางจาก กรุงเทพฯ 10260	662-332-8246	662-3114840
140	บริษัท อินเทอร์เน็ตชั่นแนล ออฟ ฟิค ออฟเทคโนโลยีคอล แอสซิส แตนท. (ประเทศไทย) จำกัด	555 อาคาร เอสเอสดี ฟิทาเวอร์ 1 ชั้น 15 ซ สุขุมวิท 63 แขวงคลอง ตัน เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110	+66 2711 4570-3	+66 2711 4574
141	บริษัท อินอร์จิก้า คอมพานี	32/19 ม 18, ถ จรัลสนิทวงศ์ แขวงบางละมวด เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170	02-8655331	02-8655332
142	บริษัท เทคโนโลยี 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 แขวงคลอง ตัน เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110	02-7130375	02-7130377
144	บริษัท อีดีไทย อินดัสเตรียล จำกัด	2013 ถ เพชรบุรีตัดใหม่ แขวง บางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310	02-3192039	02-7180852
145	บริษัท คิเนติก เอ็นจิเนียริง จำกัด	2 ซอยประชาธิปไตย 56 ถ.ประชาธิปไตย แขวงทุ่งครุ เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140	02-8735550-1	02-8735552

เอกสารอ้างอิง

- เค็ดตาล็อกเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน ข้อมูลเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนสำหรับการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ, โครงการการส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน-กระทรวงพลังงาน กระทรวงการต่างประเทศเดนมาร์ก- สำนักงานความช่วยเหลือระหว่างประเทศแห่งเดนมาร์ก (DANIDA)
- “แนวทางการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทน”, วารสารเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ ม.เชียงใหม่
- ดร.มันสิน ตันกุลเวศม์ “คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ” กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรกฎาคม 2546
- ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง “BIOGAS Energy from Biological Conversion of Organic Waste” สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กุมภาพันธ์ 2548
- ชีรพจน์ พุทธิกิจภูวกวรงค์ “พลังงานชีวมวล” คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2544
- <http://www.dede.go.th/> กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)
- <http://www.pcd.go.th/index.cfm> กรมควบคุมมลพิษ
- <http://www.wcomc.com/index.php?lay=show&ac=webboard> บริษัท เวสต์วอเตอร์ โอเปอเรชั่น แมเนจเม้นท์ จำกัด
- <http://www.vcharkarn.com/>วิชาการ.คอม

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัย สำหรับฟาร์มปศุสัตว์

คู่มือฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

สำนักวิจัย คำนวณพลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

โทร 0-2223-0021-9 คอ 1251,1207,1302

0-2221-7969

โทรสาร 0-2223-8705