กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

คู่มือ

BIOGAS SAFETY

การปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัย สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

ฉบับปรุงปรุง ครั้งที่ 1 / 2555

ISBN 978-974-9822-50-0

คำนำ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน มีภารกิจ หน้าที่และบทบาทความรับผิดชอบในการส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงาน กำกับการอนุรักษ์พลังงาน จัดหาแหล่งพลังงานพัฒนาทางเลือก การใช้พลังงานแบบผสมผสาน และเผยแพร่เทคโนโลยีด้านพลังงานอย่างเป็นระบบต่อเนื่อง เพื่อสนองตอบความต้องการของทุกภาคส่วนอย่างเพียงพอ ด้วยต้นทุนที่เอื้อต่อการพัฒนาประเทศ และการมีคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชน การส่งเสริมให้ใช้ **"ก๊าซชีวภาพ"**ก็เช่นกัน เมื่อดำเนินการส่งเสริมให้ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนทั้งในภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมแล้วยังต้องดูแลการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์อย่างปลอดภัยด้วย แต่ด้วย พพ. ไม่มี กฎ ระเบียบหรือข้อบังคับที่จะใช้ควบคุมให้เจ้าของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องปฏิบัติตาม การที่จะดำเนินงานด้านความปลอดภัยให้มีประสิทธิผลจะต้องร่วมบูรณาการกับหน่วยงานอื่นๆที่มีกฎ ระเบียบ ข้อบังคับไว้แล้ว เช่น กระทรวงแรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม มาดำเนินการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการร่วมกัน โดย พพ. จะรับผิดชอบในการอบรมถ่ายทอดความรู้ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ ซึ่งเมื่อปี 2553 ได้ดำเนินการจัดทำคู่มือ 2 เล่ม ได้แก่ คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน และคู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์ ซึ่งจัดทำขึ้นก่อนที่จะมีอุบัติเหตุร้ายแรงเกิดขึ้นต่อมาอีกหลายๆครั้ง

จากเหตุการณ์การระเบิดของโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่มีระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพเกิดอุบัติเหตุหลายแห่งอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินจำนวน โดยเฉพาะกรณีการเกิดอุบัติเหตุในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จังหวัดชัยภูมิ นับเป็นครั้งร้ายแรงที่สุดเท่าที่เคยเกิดขึ้นมา สำหรับประเทศไทย เป็นอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติและระบบผลิตก๊าซชีวภาพอุบัติเหตุในครั้งนั้นทำให้มีผู้เสียชีวิตไม่น้อยกว่า 24 คน ทรัพย์สินเสียหายหลายร้อยล้านบาท จึงเป็นเหตุให้ พพ.จำเป็นจะต้องปรับปรุงคู่มือที่ทำขึ้นใน ปี 2553 โดยเฉพาะคู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ให้ทันต่อเหตุการณ์ในปัจจุบัน โดยเฉพาะเรื่องกรณีศึกษาการเกิดอุบัติเหตุที่เดิมนำไปไว้เป็นภาคผนวก จะนำมาเป็นบทหนึ่งในคู่มือฉบับปรับปรุงแทน และ จะใส่เรื่องที่เกี่ยวกับกฎหมายด้านความปลอดภัยของหน่วยงานเพิ่มเติมไว้ด้วย

คณะทำงานหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับปรับปรุงจะมีประโยชน์มากขึ้นกว่าเดิม

กลุ่มงานก๊าซชีวภาพ
สำนักค้นคว้าและวิจัยพลังงาน

สารบัญ

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1/2555

		หน้า
	คำนำ	
	สารบัญ	
	คำย่อและสัญลักษณ์	**ก**
	นิยามและคำจำกัดความที่เกี่ยวข้อง	**ค**
บทที่ 1	**เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ**	
	1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ	1-1
	1.2 สภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ	1-4
	1.3 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรและการแปรรูป	1-16
	1.4 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์	1-30
บทที่ 2	**การเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน**	
	2.1 การออกแบบเพื่อความเหมาะสม	2-1
	2.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชน	2-2
บทที่ 3	**การออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อความปลอดภัย**	
	3.1 ขั้นตอนในการพิจารณาออกแบบ	3-1
	3.2 ส่วนผลิตก๊าซชีวภาพ	3-2
	3.3 ส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ	3-12
	3.4 ส่วนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	3-20
	3.5 ส่วนของระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพและกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	3-27
บทที่ 4	**การกำหนดบริเวณอันตราย (Hazardous Zone)**	
	4.1 การจำแนกบริเวณอันตราย	4-1
	4.2 ระยะห่างของบริเวณอันตรายของระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ	4-1
	4.3 ระบบไฟฟ้า เครื่องไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้ในบริเวณอันตรายในระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ	4-2
	4.4 บริเวณเขตอันตรายสำหรับระบบก๊าซชีวภาพในหลุมฝังกลบขยะ	4-2
บทที่ 5	**การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมและขยะชุมชน**	
	5.1 ระบบบำบัดน้ำเสียและระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	5-2

สารบัญ(ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1/2555

บทที่ 5	**(ต่อ)**	**หน้า**
	5.2 ถังปฏิกรณ์และบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ	5-14
	5.3 การบำรุงรักษาในส่วนนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน	5-23
	5.4 การเริ่มต้นเดินระบบ	5-31
บทที่ 6	**รายละเอียดระยะเวลาและความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษา**	
	6.1 การตรวจสอบรายวัน	6-1
	6.2 การตรวจสอบรายเดือน	6-7
	6.3 การตรวจสอบรายปี	6-8
	6.4 การตรวจสอบอุปกรณ์	6-9
บทที่ 7	**กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ(Biogas)**	
	7.1 กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในประเทศไทย	7-1
	7.2 กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในต่างประเทศ	7-26
	7.3 สรุปสาเหตุของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นทั้งในและต่างประเทศ	7-28
	7.4 มาตรการป้องกัน	7-31
	7.5 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย	7-32

ภาคผนวก ก. การปฐมพยาบาลเบื้องต้น

ภาคผนวก ข. กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ภาคผนวก ค. รายชื่อหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับก๊าซชีวภาพ ที่ปรึกษาที่ออกแบบระบบก๊าซชีวภาพและตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์

สารบัญตาราง

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1/2555

		หน้า
ตารางที่ 1-1	Optimum temperature ranges for the growth of methane-forming bacteria	1-4
ตารางที่ 1-2	Temperature range for methane production for municipal anaerobic digesters	1-5
ตารางที่ 1-3	Comparison of mesophillic and thermophillic digesters	1-5
ตารางที่ 1-4	Approximate generation times of important groups of wastewater bacteria	1-7
ตารางที่ 1-5	Elementary composition of bacterial cells	1-8
ตารางที่ 1-6	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	1-9
ตารางที่ 1-7	ค่าความร้อนของก๊าซชนิดต่างๆ (กิโลแคลอรี/ม^3)	1-10
ตารางที่ 1-8	ความหนาแน่นของก๊าซชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 0 °ซ. ความดัน 1 บรรยากาศ	1-11
ตารางที่ 1-9	ค่า Wobbe Index (กิโลแคลอรี/ม^3) ของก๊าซ	1-12
ตารางที่ 1-10	จุดติดไฟอัตโนมัติของก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง	1-12
ตารางที่ 1-11	ประเภทน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีความเหมาะสมบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัด	1-16
ตารางที่ 1-12	การเปรียบเทียบการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม	1-29
ตารางที่ 3-1	ขนาดท่อกับช่วงห่างตัวรองรับท่อที่เหมาะสม	3-14
ตารางที่ 3-2	การเปรียบเทียบวาล์วชนิดต่างๆ	3-17
ตารางที่ 4-1	ระยะห่างของบริเวณอันตราย	4-1
ตารางที่ 6-1	รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพ	6-2
ตารางที่ 6-2	การตรวจสอบอุปกรณ์การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	6-7
ตารางที่ 7-1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ Biogas , Natural Gas , Town Gas (LPG)	7-12

สารบัญรูป

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1/2555

รูปที่		หน้า
1-1	ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ	1-3
1-2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการหมัก	1-5
1-3	กระบวนการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ	1-15
1-4	องค์ประกอบของระบบ MCL	1-18
1-5	ระบบ Modified Covered Lagoon ในโรงงาน	1-18
1-6	องค์ประกอบในระบบยูเอเอสบี (UASB)	1-20
1-7	ภาพเม็ดตะกอนและการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการตกตะกอน	1-21
1-8	อุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำเสีย ตะกอนแบคทีเรียและก๊าซชีวภาพ (Gas-Solid Separator, GSS)	1-21
1-9	ลักษณะรูปร่างถังยูเอเอสบีแบบต่างๆ	1-22
1-10	ระบบยูเอเอสบีในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง	1-23
1-11	ลักษณะการเกาะของฟิล์มชีวภาพ	1-24
1-12	ตัวกลางที่มีใช้กันในถังกรองไม่ใช้อากาศ	1-25
1-13	ถังกรองไม่ใช้อากาศแบบ (ก) ไหลขึ้น (ข) ไหลลง	1-25
1-14	ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศในโรงงานผลิตแป้งข้าวเจ้า	1-26
1-15	ลักษณะการทำงานของระบบ Baffled Reactor	1-27
1-16	ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ Completely Stirred Tank Reactor(CSTR) ที่มีการกวนผสม (Mixing system) รูปแบบต่างๆ	1-28
3-1	การติดสายล่อฟ้าในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	3-5
3-2	การต่อสายดินในโครงสร้าง	3-5
3-3	การต่อฝากเพื่อทำให้ศักย์ไฟฟ้าของพื้นผิวต่างๆ มีค่าเท่ากัน	3-6
3-4	การต่อฝากระหว่างภาชนะบรรจุสารไวไฟ	3-6
3-5	ลักษณะของมอเตอร์ป้องกันการระเบิด	3-7
3-6	อุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ (Flame Arresters)	3-7
3-7	การเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตรายอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องเป็นชนิดทนระเบิด	3-8
3-8	โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นบ่อก่ออิฐฉาบปูน	3-9
3-9	โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นถังเหล็ก	3-9
3-10	โครงสร้างบ่อเก็บก๊าซชีวภาพที่เป็นวัสดุ PVC และ Membrane	3-10
3-11	อุปกรณ์ชุดควบคุมแรงดัน	3-10
3-12	ถังป้องกันความดันสูงหรือต่ำของบ่อก๊าซ	3-11
3-13	สวิตช์ป้องกันความดันสูงหรือต่ำเกินกำหนด	3-11

สารบัญรูป(ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1/2555

รูปที่		หน้า
รูปที่ 3-14	ตัวส่งสัญญาณแรงดันก๊าซ	3-11
รูปที่ 3-15	อุปกรณ์ควบคุมแรงดันขนาดต่างๆ	3-12
รูปที่ 3-16	ท่อ PVC	3-12
รูปที่ 3-17	ท่อ Stainless	3-12
รูปที่ 3-18	ท่อ HDPE	3-13
รูปที่ 3-19	Manual Condensate Drain แบบ Tee และ แบบ U-Pipe	3-15
รูปที่ 3-20	การดักน้ำออกแบบไซฟอน Siphon Condensate Drain	3-16
รูปที่ 3-21	ระบบระบายน้ำแบบ Active condensate	3-16
รูปที่ 3-22	วาล์วชนิดต่างๆ	3-17
รูปที่ 3-23	วาล์วป้องกันความดันย้อนกลับ	3-17
รูปที่ 3-24	วาล์วป้องกันความดันสูงเกินกำหนด	3-18
รูปที่ 3-25	Blower แบบต่างๆ	3-18
รูปที่ 3-26	กับดักระบายคอนเดนเสทและสิ่งปนเปื้อน	3-19
รูปที่ 3-27	อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap-Manual	3-19
รูปที่ 3-28	อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap-Automatic	3-20
รูปที่ 3-29	ชุดดักน้ำและสิ่งสกปรก	3-20
รูปที่ 3-30	การนำก๊าซชีวภาพไปใช้รูปของความร้อนโดยตรง	3-21
รูปที่ 3-31	เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพแทนได้ทั้งหมดต่อร่วมกับ Synchronous/Induction Generator เพื่อผลิตไฟฟ้า	3-22
รูปที่ 3-32	เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโดยเฉพาะ (เครื่องยนต์นำเข้า) โดยต่อร่วมกับ Synchronous Generator ในการผลิตไฟฟ้า	3-22
รูปที่ 3-33	กราฟแสดงผลการทดสอบความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพของเครื่องขนาด 128 kW	3-23
รูปที่ 3-34	ปล่องเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง	3-24
รูปที่ 3-35	การติดตั้งถังดับเพลิงใกล้กับถังเก็บก๊าซชีวภาพ	3-25
รูปที่ 3-36	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ (Biogas analyzer)	3-26
รูปที่ 3-37	เครื่องวัดการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ	3-27
รูปที่ 3-38	การกำจัด H_2S โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีในการกำจัดและปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) ด้วยวัสดุเหล็ก	3-28
รูปที่ 3-39	กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารละลายเหล็ก	3-28

สารบัญรูป(ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1/2555

		หน้า
รูปที่ 3-40	กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธี Pressure swing adsorption	3-29
รูปที่ 3-41	ผังกระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยน้ำภายใต้ความดันสูง (High pressure water scrubbing)	3-29
รูปที่ 3-42	กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยสาร “Selexol” ภายใต้ความดันสูง	3-30
รูปที่ 3-43	กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบต่อเนื่องด้วยปฏิกรณ์ชนิด Bio-Filter	3-30
รูปที่ 3-44	ชุดฟอกก๊าซชีวภาพต่างๆ	3-31
รูปที่ 5-1	ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ	5-1
รูปที่ 5-2	บ่อสูบน้ำเสียและเครื่องสูบน้ำ	5-2
รูปที่ 5-3	รายละเอียดของส่วนประกอบในระบบบ่อรวบรวมน้ำเสีย	5-2
รูปที่ 5-4	วิธีการหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อกวนผสมในบ่อสูบ	5-3
รูปที่ 5-5	ระบบรวบรวมน้ำเสีย	5-3
รูปที่ 5-6	ตะกอนแป้งในบ่อสูบที่สามารถตักรวบรวมได้	5-4
รูปที่ 5-7	บ่อดักกรวดทราย	5-4
รูปที่ 5-8	ตะแกรงหยาบแบบซี่ทำงานโดยใช้ระบบอัตโนมัติ	5-5
รูปที่ 5-9	ตะแกรงละเอียดแบบ Static Screen	5-5
รูปที่ 5-10	ตะแกรงละเอียดแบบ Rotary Drum Screen	5-6
รูปที่ 5-11	การรวบรวมขยะจากตะแกรงดักขยะแบบ Rotary Drum Screen	5-6
รูปที่ 5-12	ระบบดักไขมัน	5-7
รูปที่ 5-13	ระบบ Dissolved-Air Floatation	5-8
รูปที่ 5-14	แบบเครื่องกวนน้ำผสม	5-8
รูปที่ 5-15	การกวนผสมน้ำเสียภายในบ่อปรับสภาพ	5-9
รูปที่ 5-16	ถังตกตะกอนขั้นต้น	5-10
รูปที่ 5-17	ระบบบ่อเติมอากาศและบ่อผึ่ง	5-11
รูปที่ 5-18	ระบบบำบัดขั้นหลังแบบตะกอนเร่ง	5-12
รูปที่ 5-19	ถังทำข้นแบบต่างๆ (Sludge Thickener)	5-13
รูปที่ 5-20	ระบบย่อยตะกอน (Sludge Digester)	5-13
รูปที่ 5-21	ระบบรีดตะกอน	5-14
รูปที่ 5-22	ลานตากตะกอน	5-14

สารบัญรูป(ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1/2555

		หน้า
รูปที่ 5-23	หน่วยบำบัดที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ	5-15
รูปที่ 5-24	ลักษณะการติดตั้งเครื่องสูบน้ำด้านข้างบ่อพักน้ำ	5-16
รูปที่ 5-25	ถังเก็บสารละลายโซดาไฟและเครื่องสูบละลายโซดาไฟ (NaOH)	5-16
รูปที่ 5-26	ท่อจ่ายสารละลายโซดาไฟ	5-17
รูปที่ 5-27	ไซโลเก็บปูนขาว	5-17
รูปที่ 5-28	ลักษณะของระบบการจ่ายน้ำเสีย	5-17
รูปที่ 5-29	ลักษณะของระบบยูเอเอสบี	5-18
รูปที่ 5-30	ลักษณะการวางท่อกระจายน้ำระบบยูเอเอสบี	5-19
รูปที่ 5-31	ถังยูเอเอสบีและท่อเก็บตัวอย่างตะกอนข้างถัง	5-19
รูปที่ 5-32	การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอนสำหรับระบบยูเอเอสบี	5-20
รูปที่ 5-33	ถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน	5-20
รูปที่ 5-34	การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน	5-21
รูปที่ 5-35	การหมุนเวียนน้ำ	5-21
รูปที่ 5-36	การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน	5-22
รูปที่ 5-37	การหมุนเวียนตะกอนและการเติมตะกอนเข้าถัง	5-22
รูปที่ 5-38	ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศ	5-23
รูปที่ 5-39	น้ำออกไม่สม่ำเสมอเกิดการอุดตันของตัวกลาง/การทรุดของเวียร์	5-23
รูปที่ 5-40	เตาน้ำมันร้อน(Hot Oil Burner)และหัวเผา	5-24
รูปที่ 5-41	หม้อไอน้ำ	5-24
รูปที่ 5-42	ชุดเครื่องปั่นไฟใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซชีวภาพ	5-24
รูปที่ 5-43	ขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน	5-25
รูปที่ 5-44	ท่อส่งก๊าซชีวภาพ	5-25
รูปที่ 5-45	ชุดไซโคลนดักน้ำก่อนเข้าไปในอุปกรณ์ใช้งาน	5-26
รูปที่ 5-46	จุดระบายน้ำที่ควบแน่นในเส้นออกจากท่อส่งก๊าซ	5-26
รูปที่ 5-47	แผนผังการทำงานของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	5-27
รูปที่ 5-48	ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	5-27
รูปที่ 5-49	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Burner	5-28
รูปที่ 5-50	การติดตั้ง Pressure Release Valve	5-28
รูปที่ 5-51	Gas Flare และระบบวัดความดันในท่อก๊าซ	5-29
รูปที่ 5-52	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Biogas Flare แบบเปิด	5-29
รูปที่ 5-53	Pressure Switch และรูปแบบการติดตั้ง	5-30

สารบัญรูป(ต่อ)

คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1/2555

		หน้า
รูปที่ 5-54	ลักษณะของ Pressure Regulator	5-30
รูปที่ 5-55	เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซแบบ Thermal Mass Flow Meterและแบบวัดปริมาตรของก๊าซที่ไหลผ่าน	5-31
รูปที่ 7-1	สภาพการฉีกขาดรอบขอบบ่อที่ซีล (seal) ด้วยน้ำ	7-4
รูปที่ 7-2	ผังแสดงการวางตำแหน่งของเครื่องจักรต่างๆภายในห้องสูบส่งก๊าซของโรงงาน	7-4
รูปที่ 7-3	สภาพของห้องสูบส่งก๊าซชีวภาพ(Gas Station)	7-5
รูปที่ 7-4	สภาพข้อต่อรับการขยายตัวที่แตกรั่วหลังเกิดอุบัติเหตุ	7-5
รูปที่ 7-5	ลักษณะการฉีกขาดของข้อต่อรับการขยายตัวที่แตกออกหลังเกิดอุบัติเหตุ	7-5
รูปที่ 7-6	ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและสวิตช์มอเตอร์ของ Blower	7-6
รูปที่ 7-7	สภาพหม้อน้ำมันร้อนและคอยล์น้ำมันและหัวเผาหลังเกิดอุบัติเหตุ	7-7
รูปที่ 7-8	อุปกรณ์ควบคุมก๊าซก่อนเข้าหัวเผาประกอบด้วย 1 Stop Valve 2 Strainer 3 Pressure Regulator 4 Double Solenoid Valve 5.Burner	7-8
รูปที่ 7-9	ลักษณะหัวเผาเป็นแบบ Rotary Cup และเป็น Combination Burner	7-8
รูปที่ 7-10	ผลการนำก๊าซชีวภาพไปตรวจวิเคราะห์ด้วย Gas Analyzer	7-10
รูปที่ 7-11	Ternary (three component) diagram, atmospheric	7-11
รูปที่ 7-12	ลักษณะของ Double Solenoid Valve	7-12
รูปที่ 7-13	ลักษณะของ Valve Proving Systems	7-13
รูปที่ 7-14	ลักษณะการสึกกร่อนเป็นรูพรุน(Pitting)ของ Double Solenoid Valve	7-14
รูปที่ 7-15	ลักษณะของก้านวาล์วและรูก้านวาล์วตัวล่างสกปรกมาก	7-14
รูปที่ 7-16	สภาพของ Valve Proving Systems มีการชำรุดทำให้ระบบนิรภัยล้มเหลว	7-14
รูปที่ 7-17	สภาพฝาหม้อน้ำที่อยู่ในห้องเผาไหม้หลังเกิดเหตุ	7-16
รูปที่ 7-18	สภาพวาล์วที่อยู่ในห้องเผาไหม้หลังเกิดเหตุ	7-17
รูปที่ 7-19	สภาพขดท่อน้ำมันที่ผนังหลังถูกแรงระเบิดเคลื่อนตัวถอยหลังประมาณ 30 เซนติเมตร	7-18
รูปที่ 7-20	สภาพของ Valve Proving Systems (VPS) มีการอุดตันและลัดวงจร	7-19
รูปที่ 7-21	สภาพภายในท่อส่งก๊าซชีวภาพที่มีตะกอนสกปรกสะสม	7-19
รูปที่ 7-22	สภาพโรงงานที่เกิดการระเบิดและผู้ได้รับบาดเจ็บจากอุบัติเหตุถูกไฟลวกตามร่างกาย	7-22
รูปที่ 7-23	สภาพโรงงานหลังเกิดอุบัติเหตุไฟไหม้	7-22
รูปที่ 7-24	สภาพบ่อหมักและการกักเก็บก๊าซชีวภาพที่สร้างขึ้นใหม่หลังเกิดอุบัติเหตุ	7-23
รูปที่ 7-25	สภาพเพลิงไหม้บาแผ่นพลาสติกที่มีก๊าซชีวภาพอยู่ข้างใน	7-24
รูปที่ 7-26	สภาพสถานที่เกิดเหตุและศพผู้เสียชีวิตที่ลงไปซ่อมท่อ	7-25
รูปที่ 7-27	สถานที่เกิดเหตุก๊าซชีวภาพระเบิดในประเทศอินเดีย	7-27

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
ก.	กรัม
กก.	กิโลกรัม
กก.-ซีโอดี/ม^3 -วัน	กิโลกรัมในรูปของซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
กก./ม^3	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
กก./ม^3- วัน	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
กก.-VSS/ม^3 -วัน	กิโลกรัมในรูปของของแข็งแขวนลอยระเหยต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ชม.	ชั่วโมง
ซม.	เซนติเมตร
°ซ (°C)	องศาเซลเซียส
°ฟ (°F)	องศาฟาเรนไฮน์
ม.	เมตร
มก.	มิลลิกรัม
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
มม.	มิลลิเมตร
มล.	มิลลิลิตร
ม^2	ตารางเมตร
ม$^{3.}$	ลูกบาศก์เมตร
ล.	ลิตร
ว.ส.ท.	วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ในพระบรมราชูปถัมภ์)
ALK	Alkalinity (ความเป็นด่าง)
$CaCO_3$	Calcium Carbonate (หินปูน)
CH_4	Methane Gas (ก๊าซมีเทน)
COD	Chemical Oxygen Demand (ซีโอดี)
CO_2	Carbondioxide Gas (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์)

คำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ	ความหมาย
FCOD	Flitted Chemical Oxygen Demand (ซีโอดีผ่านการกรอง)
F/M	อัตราส่วนระหว่างอาหารต่อชีวมวล
HAc	กรดอะซิติก
HDPE	High Density Poly Ethylene
HRT	Hydraulic Retention Time (เวลากักน้ำ)
H_2	Hydrogen Gas (ก๊าซไฮโดรเจน)
K	Potassium (ธาตุอาหารปุ๋ยโปรตัสเซียม)
OLR	Organic Loading Rate (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์)
N	Nitrogen (ธาตุอาหารปุ๋ยไนโตรเจน)
P	Phasphorus (ธาตุอาหารปุ๋ยฟอสฟอรัส)
PVC	Poly Vinyl Chloride
SRT	Solid Retention Time (เวลาเก็บกักตะกอน)
SS	Suspended Solid (ของแข็งแขวนลอย)
TCOD	Total Chemical Oxygen Demand (ซีโอดีทั้งหมด)
TKN	เจดาห์ลไนโตรเจน
TS	Total Solid (ของแข็งทั้งหมด)
VFA	Volatile Fatty Acid (กรดระเหยง่าย)
VSS	Volatile Suspended Solid (ของแข็งแขวนลอยระเหย)

นิยามและคำจำกัดความด้านสิ่งแวดล้อม

กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty acids: VFAs)

เป็นผลผลิตจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยไม่ใช้อากาศโดยเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการสร้างกรด กรดไขมันระเหยง่ายจะอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์มวลโมเลกุลต่ำ 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)

ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ โดยเชื้อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในการหายใจภายใต้สภาพไร้อากาศ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นก๊าซผสม โดยทั่วไปจะประกอบไป ด้วย ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้งนี้องค์ประกอบส่วนใหญ่ได้แก่ก๊าซมีเทนประมาณ 60-80 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20-40 % จึงทำให้ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติที่สามารถจะนำไปเป็นเชื้อเพลิง

ขนาดระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่อยู่ในเกณฑ์

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพตั้งแต่ 5,000 ลบ.ม./วัน จะอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปฏิบัติตาม คู่มือกำหนดความปลอดภัยของการออกแบบระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพนี้

ของแข็ง (Solids)

สารทุกอย่างที่อยู่ในของเหลวยกเว้นน้ำ

ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS)

ส่วนของของแข็งที่เหลือค้างอยู่บนกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐานหลังจากกรองน้ำตัวอย่างและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ

ของแข็งคงตัว (Fixed Solids: FS)

ของแข็งหรือเถ้า ส่วนที่เหลือค้างบนกระดาษกรองหลังจากการหาของแข็งระเหยง่าย

ของแข็งจมได้ (Settable Solids)

ของแข็งที่จมตัวอยู่ก้นภาชนะเมื่อตั้งทิ้งไว้ ภายในระยะเวลา 1 ชม. มีหน่วยเป็น มก./ล.

ของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS)

สิ่งที่เหลือในภาชนะอยู่ภายหลังจากทำการระเหยน้ำออกจนหมด และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 -105 °ซ

ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids: VS)

ของแข็งส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ วัดโดยการนำกระดาษกรองที่ทำการวิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอยเสร็จแล้วนำไปเผาที่ 550 °ซ น้ำหนักของของแข็งที่หายไปคือปริมาณของแข็งระเหยง่าย

ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS)

ของแข็งที่สามารถลอดผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน 0.45 ไมครอนและเหลืออยู่หลังจากทำการระเหยไอน้ำจนแห้งและอบที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ

ความเป็นด่าง (Alkalinity: Alk)

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

ความเร็วน้ำไหลขึ้น (Upflow Liquid Velocity: ULV)

เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมการทำงานถังปฏิกิริยาแบบไหลขึ้นโดยจะหมายถึงปริมาตรของน้ำ ที่ไหลผ่านหน้าตัดของถังปฏิกิริยา

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

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

เจลดาห์ลไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN)

เป็นปริมาณของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนและไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำทั้งในรูปของของแข็งและสารละลาย

ซี โอ ดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

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

ดัชนีวัดปริมาณตะกอน (Sludge Volume Index: SVI)

ปริมาตรตะกอนต่อน้ำหนักของตะกอนซึ่งตกตะกอนได้ในเวลา 30 นาที ซึ่งคำนวณได้ตามสมการ

SVI (มล./ก-ล) = 1,000 x SV 30 (มล.) /SS (มก/ล.)

เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยีในการหมักย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เช่นการหมักมูลสัตว์ เศษพืชผัก อุจจาระ สิ่งปฏิกูลที่ย่อยสลายได้และน้ำเสีย โดยการหมักจะเป็นการหมักในถังปิดภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศโดยใช้แบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ ในการย่อยสลาย และก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานต่อไป

น้ำเสีย

น้ำที่มีสิ่งเจือปนในปริมาณสูง จนกระทั่งเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการก่อให้เกิดปัญหาต่อพื้นที่รองรับ สิ่งเจือปนในน้ำที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสียได้แก่ สารอินทรีย์ กรด ด่าง ของแข็ง สารแขวนลอย น้ำมัน ไขมัน แร่ธาตุที่เป็นพิษ ความร้อน สารพิษ ยาฆ่าแมลง สี กลิ่น เป็นต้น

บี โอ ดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

ปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 20°ซ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยทั่วไปจะวัดในรูปของ BOD_5 ซึ่งหมายถึงปริมาณของออกซิเจน ที่แบคทีเรียต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°ซ

ประเภทของน้ำเสีย

น้ำเสียแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากภาคการเกษตร และน้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรม

ปริมาณตะกอน (Sludge Volume: SV t)

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

พีเอช (pH) ไม่มีหน่วย

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

เวลาเก็บกักตะกอน (Solid Retention Time, SRT)

ระยะเวลาที่ตะกอนอยู่ภายในระบบ โดยในกรณีของถังปฏิกิริยาแบบการกวนสมบูรณ์เวลาเก็บกักตะกอนจะเท่ากับเวลาเก็บกักน้ำ ส่วนในระบบอื่นๆ สามารถหาเวลาเก็บกักตะกอนได้จาก

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

โดยปริมาณตะกอนภายในถังหาได้จากผลคูณระหว่างปริมาตรถังและความเข้มข้นของตะกอนในถัง ในขณะที่ตะกอนที่สูญเสียจากระบบจะเกิดขึ้นจากปริมาณตะกอนหลุดไปพร้อมกับน้ำออกและการดูดตะกอนส่วนเกินทิ้งจากถังปฏิกิริยา

เวลาเก็บกักน้ำ (Hydraulic Retention Time, HRT)

ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ภายในถังปฏิกิริยาหรืออยู่ในระบบ มีค่าเท่ากับ

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

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

ส่วนนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

บริเวณที่มีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานความร้อนโดยตรง เช่น หม้อต้มไอน้ำ ใช้ในรูปพลังงานกล/ไฟฟ้า เช่น เครื่องต้นกำลังขับพัดลมโรงเรือนสุกร หรือผลิตกระแสไฟฟ้า

ส่วนผลิตก๊าซชีวภาพ

บริเวณถังหมักน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงระบบเก็บก๊าซชีวภาพ เพื่อรอการนำไปใช้ประโยชน์

ส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

บริเวณท่อส่งก๊าซจากบ่อเก็บก๊าซชีวภาพไปยังส่วนนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ บ่อฟอกก๊าซชีวภาพ อาคารส่งจ่ายก๊าซโดยโบว์เว่อร์ส่งจ่ายก๊าซเพื่อเพิ่มแรงดันก๊าซและอัตราการไหลให้เหมาะสมกับการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Generation Rate)

ปริมาตรของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้รวมจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยคิดจากการประมาณการของผู้ออกแบบระบบเป็นผู้รายงานตัวเลขอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ เป็น ลบ.ม. /วัน

อัตราการไหลของน้ำ (Flow Rate, Q)

ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีหน่วยเป็น $ม^3$/วัน หรือ $ม^3$/ชม.

อัตราน้ำล้นเวียร์ (Weir Loading Rate)

เป็นอีกค่าหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมการทำงานสำหรับถังตกตะกอน ซึ่งหมายถึงปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านต่อความยาวของเวียร์

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

เมื่อ WLR = อัตราน้ำไหลล้นเวียร์ ($ม.^3$/ม.-วัน)
Q = อัตราการไหลของน้ำสีย ($ม.^3$ /วัน)
A = ความยาวสันเวียร์ (ม.)

อัตราน้ำไหลล้นผิว (Surface Overflow Rate: SOR)

เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมการทำงานสำหรับถังตกตะกอน หมายถึงปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านหน้าตัดของถังปฏิกิริยา

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

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

ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าความเร็วน้ำไหลขึ้นและอัตราน้ำไหลล้นผิวจะมีสูตรที่เหมือนกัน แต่ทั้งสองค่าจะใช้ในจุดที่ต่างกัน โดยความเร็วน้ำไหลขึ้นจะใช้สำหรับการไหลภายในถังปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศที่มีระบบการจ่ายน้ำเสียแบบไหลขึ้น ในขณะที่อัตราน้ำไหลล้นผิวมักใช้ในถังตกตะกอนเพื่อตรวจสอบความเร็วในการไหลของน้ำ ณ ผิวหน้าของถังตกตะกอน

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR)

ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบต่อริมาตรถังในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งโดยทั่วไปนิยมวัดในรูปของอัตราภาระบรรทุกบีโอดี (COD Loading Rate) หรืออัตราภาระบรรทุกบีโอดี (BOD Loading Rate) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ OLR = อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.สารอินทรีย์/ม^3.-วัน)
Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย (ม.^{3} /วัน)
COD = ซีโอดีของน้ำเสีย (มก./ล.)
V = ปริมาตรถัง (ม.^{3})

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

เป็นอัตราส่วนระหว่างสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบกับปริมาณของแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังปฏิกิริยาซึ่งหาได้จาก

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

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

บทที่ 1
เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

บทที่ 1
เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ

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

กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

กระบวนการผลิตและปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในการย่อยสลายแบบสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition) จะค่อนข้างซับซ้อนและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหลายขั้นตอนใช้แบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ

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

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

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

ขั้นตอนที่ 1 Liquefaction stage

เป็นขั้นตอนซึ่งผลผลิตสุดท้ายได้ของเหลวซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนที่สอง สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ๆ จะถูกย่อยสลายแล้วอยู่ในรูปของสารละลายที่แตกตัวเป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็กๆ โดยแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า Acid Formers โดยขั้นตอนที่หนึ่งยังแบ่งออกได้เป็น

1.1.1) ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis stage)

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

Carbohydrates ⟶ **Simple sugar + Alcohol**

Proteins ⟶ **Peptide + Amino acid**

Fats ⟶ **Glycerol + Fatty acid**

แบคทีเรียที่ช่วยย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ๆ มีหลายชนิดได้แก่ Fat-decomposing microorganism, Cellulose-decomposing microorganism และ Protein-decomposing organism

1.1.2) ขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic stage)

การสร้างกรดอะซิติกจากกรดอินทรีย์ต่างๆ โดยแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก โดยนำเอา Simple soluble compound จากขั้นตอน Hydrolysis หรือจากวัตถุดิบโดยตรงมาสลายต่อไปได้ ในขณะเดียวกันผลจากปฏิกิริยานี้ก็จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปนอยู่ในก๊าซชีวภาพ

Complex organics ⟶ **Organic acid + CO_2**

ขั้นตอนที่ 2 Gasification stage หรือ การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic stage)

ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียชนิดที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing หรือ Methanogenic micro organism) ซึ่งมีหลายชนิดและเป็นแบคทีเรียที่ต้องอยู่ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ถ้ามี

ออกซิเจนเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้แบคทีเรียพวกนี้หยุดการเจริญเติบโต ก๊าซมีเทนอาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอินทรีย์ (ส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก) กับน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจน

$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$

Acetic acid ⟶ Methane Carbon Dioxide

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

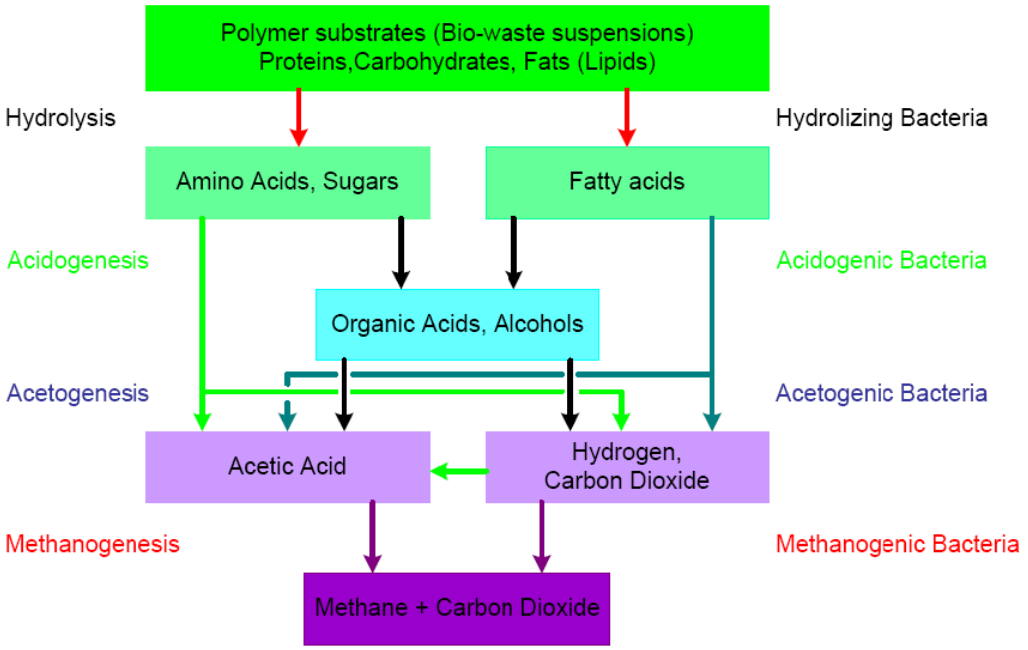
Ethanol Carbon Dioxide Methane Acetic acid

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

Carbon Dioxide Hydrogen Methane Water

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

น้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดแบบแอนแอโอบิกเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพควรจะมีค่า COD มากกว่า 1,500 mg/L และอุณหภูมิสูง (25-35 °C) ถ้าน้ำเสียมีค่า COD ต่ำกว่า 1,500 mg/L การเลือกใช้ระบบที่ใช้ออกซิเจนจะมีความเหมาะสมมากกว่า (Metcalf & Eddy, 2003) โดยทั่วไปน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีค่า COD สูง ซึ่งสามารถที่จะนำระบบแอนแอโรบิกมาใช้ได้เป็นอย่างดี น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมีค่า COD ประมาณ12,000-35,000 mg/L (Annachhatre, A. P. and Amatya, P.L.,2000; Plevin, R. and Donnelly, D., 2004)



รูปที่ 1-1 ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ

ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

1.2 สภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การที่จะทำให้แบคทีเรียผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีนั้น จะต้องสร้างสภาพแวดล้อมภายในระบบให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เนื่องจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นผลจากการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกัน อีกทั้งแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนมีการเจริญเติบโตช้าและมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีภายในระบบเป็นอย่างมาก เพราะถ้าหากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมจะทำให้แบคทีเรียผลิตก๊าซลดลง นอกจากนั้นชนิดของระบบไร้อากาศที่ใช้ก็มีผลอย่างมากต่อคุณภาพของก๊าซชีวภาพ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพนั้นประกอบด้วยหลายปัจจัย ได้แก่

1.2.1 สารอาหาร

สารอาหารในน้ำเสียเกี่ยวพันโดยตรงกับชนิดของกลุ่มแบคทีเรียในระบบ และประสิทธิภาพในการย่อยสลาย สารอาหารที่ต่างชนิดมีอัตราในการย่อยสลายที่ต่างกัน สารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต จะย่อยสลายได้เร็วกว่าโปรตีนและไขมันในเซลล์แบคทีเรียจะประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ออกซิเจน และซัลเฟอร์ แบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ ต้องการไนโตรเจนเทียบกับน้ำหนักเซลล์ 9.4 เท่า ในขณะแบคทีเรียชนิดไม่ใช้อากาศจะสร้างเซลล์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากได้ จะต้องมีธาตุไนโตรเจนต่อคาร์บอน (N/C) ในสารอาหารประมาณ 0.0620 และธาตุฟอสฟอร์ส 1 ใน 7 เท่าของปริมาณธาตุไนโตรเจนที่ประกอบในเซลล์

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

1.2.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เดินระบบแอนแอโรบิกมี 2 ช่วงได้แก่ ช่วงMesophillic คือที่อุณหภูมิระหว่าง 30-35 $^{\circ}$C และช่วง Thermophillic คือที่อุณหภูมิระหว่าง 50-65 $^{\circ}$C โดยอุณหภูมิช่วง 40-50 $^{\circ}$C และอุณหภูมิต่ำกว่า 10 $^{\circ}$C กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะถูกยับยั้ง ส่วนใหญ่จะเดินระบบที่อุณหภูมิ 30-35 $^{\circ}$C มากกว่า 50-65 $^{\circ}$C เนื่องจาก Thermophillic bacteria มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม มักจะประสบปัญหาในการควบคุมระบบได้ยากกว่า Mesophillic bacteria รายละเอียดกลุ่มแบคทีเรียแสดงใน**ตารางที่ 1-1 ถึง ตารางที่ 1-2** และเปรียบเทียบการเดินระบบระหว่าง Mesophillic digesters และ Thermophillic digesters แสดงใน**ตารางที่ 1-3**

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

Bacteria Group	Temperature Range, $^{\circ}$C
Psychrophiles	5-25
Mesophiles	30-35
Thermophiles	50-65
HyperThermophiles	>65

ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

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

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

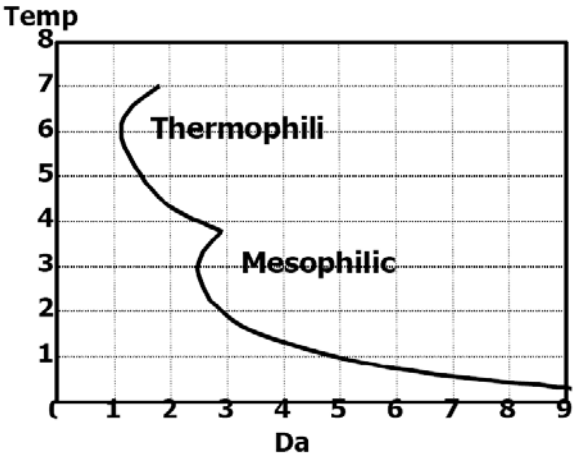
ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

ตารางที่ 1-3 Comparison of mesophillic and thermophillic digesters

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

ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

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



รูปที่ 1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการหมัก

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

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

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

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

1.2.4 การผสม (Mixing)

การผสมเป็นการทำให้แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับอาหาร (น้ำเสีย) มากขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ในกรณีน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังจะลดการจับตัวกันเป็นก้อนแป้งซึ่งจะทำให้เกิดการย่อยแป้งได้รวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังทำให้อุณหภูมิภายในระบบทั่วถึง การผสมสามารถลดเวลาเก็บกักของถังปฏิกิริยาได้ วิธีการผสมโดยใช้ใบพัดกวนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการผสมโดยหมุนเวียนก๊าซที่เกิดขึ้นภายในระบบ การผสมสามารถเลือกรูปแบบได้ทั้งการผสมแบบต่อเนื่องและเป็นช่วงเวลา กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนมีความไวต่อการผสมเร็ว (Rapid Mixed, Velocity gradient, G >500 s-1) มาก ควรหลีกเลี่ยงการผสมที่อาจทำให้แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนหลุดออกจากระบบ เพราะจะทำให้ระบบล้มเหลวได้

1.2.5 ระยะเวลาการเก็บกัก (Retention time)

ระยะเวลาการเก็บกัก เป็นระยะเวลาที่ให้สารอินทรีย์ถูกผสมอยู่ในบ่อหมักก๊าซ เพื่อให้แบคทีเรียได้ย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้เป็นอาหารในการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ให้มากขึ้น ก่อนที่จะถูกถ่ายเทออกจากบ่อ หมักปกติจะใช้เวลา 20-50 วัน ระยะเวลาของการพักตัวของการเกิดก๊าซสำหรับบ่อหมักก๊าซที่มีการเติมสารอินทรีย์ตลอดเวลา หรือเป็นระยะๆ สามารถคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยได้โดยปริมาตรบ่อก๊าซ คือ

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

ถ้าระยะเวลาการพักตัวสั้นมากเกินไป การชะล้างของแบคทีเรียในบ่อหมักจะมีอัตราเร็วกว่าการสร้างแบคทีเรียใหม่ ปฏิกิริยาการย่อยสลายก็จะหยุดชะงัก เนื่องจากปริมาณแบคทีเรียในบ่อหมักลดลงหรือหมดไป แต่ถ้าให้ระยะเวลาการพักตัวนานเกินไปก็หมายความว่า บ่อหมักจะต้องมีปริมาตรใหญ่ขึ้น ทำให้ราคาค่าก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพแพงตามไปด้วย มี 2 ตัวแปรที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับเวลาในถังปฏิกิริยา ได้แก่ Solid Retention Time (SRT)และ Hydraulic Retention Time (HRT) โดยที่ SRT เป็นเวลาเฉลี่ยที่แบคทีเรียอยู่ในถังปฏิกิริยา ส่วน HRT เป็นเวลาเฉลี่ยที่น้ำเสียหรือสลัดจ์อยู่ในถังปฏิกิริยา ตัวแปรทั้งสองอาจจะสัมพันธ์กันหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะ

การเดินระบบ Methane-Forming Bacteria ต้องการเวลาสำหรับการฟักตัวและเพิ่มจำนวนมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน รายละเอียด**ตารางที่ 1- 4**

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

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

ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

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

1.2.6 ความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมัก (Substrate solids content)

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

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

1.2.7 สารเคมี ยาปฏิชีวนะ และสารพิษ

สารเคมีและยาปฏิชีวนะที่ใช้ในการดูแลรักษาสุขภาพสัตว์ ล้างคอก และอื่นๆอาจมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้เป็นเพราะสารเคมีและยาปฏิชีวนะบางอย่างเป็นอันตรายกับแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพน้อยลงหรือไม่เกิดเลย ดังนั้น การใช้และบำรุงรักษาบ่อก๊าซชีวภาพจะต้องระวังไม่ให้สารเคมีและยาปฏิชีวนะเข้าไปในบ่อก๊าซชีวภาพได้ เช่น เมื่อใดที่มีการใช้ยาฆ่าเชื้อโรคล้างคอกสัตว์ก็ให้นำน้ำนั้นไปทิ้งที่อื่น หรือถ้ามีการนำยาปฏิชีวนะให้สัตว์กินหรือฉีด ก็ต้องไม่ปล่อยให้มูลสัตว์นั้นไหลลงไปในบ่อเติมก๊าซชีวภาพโลหะหนักน้ำยาซักล้าง และแร่ธาตุบางชนิด เช่น โซเดียม โปตัสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แอมโมเนียม และซัลเฟอร์ เป็นสารที่ทำให้เกิดพิษต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียภายในระบบ แต่โลหะหนักบางชนิดเช่น ทองแดง นิกเกิล โครเมียม สังกะสี และตะกั่ว มีประโยชน์ต่อแบคทีเรียในปริมาณน้อยเท่านั้น เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของเซลล์แบคทีเรีย ดังตารางที่ 1-5 แต่ถ้ามีในปริมาณมากก็จะทำให้เกิดพิษได้โดยลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แบคทีเรียมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 80% ส่วนที่เหลือ 20% ประกอบด้วยอินทรีย์สาร 90% และอนินทรีย์สาร 10% สูตรโครงสร้างอย่างง่ายของเซลล์ ($C_5H_7O_2N$) จะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 50% แต่ถ้าพิจารณารวมฟอสฟอรัสด้วย สูตรโครงสร้างจะเปลี่ยนเป็น $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$ (องค์ประกอบจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและชนิดของแบคทีเรีย) (Metcalf & Eddy, 2003) ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเติบโตของแบคทีเรียสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ Macronutrient และ Micronutrient ซึ่ง Macronutrient ถือได้ว่าเป็นธาตุอาหารหลักสำหรับการสังเคราะห์เซลล์ ได้แก่ C, N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na และ Cl ส่วน Micronutrient ได้แก่Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni และ Vitamin ซึ่งมีบทบาทในกระบวนการสันดาปและการทำงานของเอนไซม์ของเซลล์ สำหรับ Micronutrient สามารถคำนวณความต้องการอย่างน้อยประมาณ 0.02-0.03 mg/g COD สำหรับFe, Zn และ0.003-0.004 mg/g COD สำหรับ Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni (McCarty, P. L. and Rittmann, B. E., 2001)

ตารางที่ 1-5 Elementary composition of bacterial cells

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

ที่มา : ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง, 2548

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) 60-80% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) 20-40 % ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) และไอน้ำเป็นต้น ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อนประมาณ 21 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรที่สัดส่วนของก๊าซมีเทน 60 %

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

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

ตารางที่ 1-6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยปริมาตรแห้ง
มีเทน	60-80
คาร์บอนไดออกไซด์	20-40
ไนโตรเจน	2-5
ออกซิเจน	2-5
ซัลไฟด์,ไดซัลไฟด์,เมอร์แคปเทน,อื่นๆ	0-1.0
แอมโมเนีย	0.1-1.0
ไฮโดรเจน	0-0.2
คาร์บอนมอนออกไซด์	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

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะกำหนดโดยปริมาณความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงปริมาตร 1 $ม^3$ อย่างสมบูรณ์ ค่าความร้อนที่นิยมทำการวัดมี 2 รูปแบบ คือ Low Heating Value หรือ Net Heating Value และ Higher Heating Value หรือ Gross Heating Value ความแตกต่างระหว่างค่าความร้อนทั้ง2 แบบขึ้นอยู่กับรูปแบบการคำนวณพลังงานความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ เพราะในกระบวนการเผา

ไหม้จะมีน้ำเกิดขึ้นโดยอยู่ในสถานะเป็นไอน้ำ ในการวัดค่าความร้อน ถ้ารวมพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาเนื่องจากการควบแน่นของไปน้ำเป็นของเหลวจะเรียกค่าความร้อนนี้ ว่า Gross Heating Value ในทางกลับกันถ้าไม่รวมพลังงานความร้อนในส่วนนี้จะเรียกว่า Net Heating Value โดยค่าความร้อนของก๊าซชนิดต่างๆ ดัง**ตารางที่ 1-7**

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

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

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

เมื่อนำค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 60 จำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร มาเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆจะมีค่าเทียบเท่ากับ

ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46	กิโลกรัม
น้ำมันเบนซิน	0.67	ลิตร
น้ำมันดีเซล	0.60	ลิตร
น้ำมันเตา	0.55	ลิตร
ฟืนไม้	1.50	กิโลกรัม
ไฟฟ้า	1.20 k	กิโลวัตต์/ชั่วโมง

ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ

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

สำหรับความหนาแน่นของก๊าซชนิดต่างๆ ที่ สภาวะมาตรฐานดัง**ตารางที่ 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_4H_{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_3H_8	44.09	1.882

Wobbe Number / Wobbe Index (WI)

Wobbe Number หรือ WI หมายถึง ค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเผาไหม้ของหัวเผา (Burner) กับคุณสมบัติของก๊าซ (ค่าความร้อนและความถ่วงจำเพาะของก๊าซ) ค่า WI จะใช้ในการปรับแต่งระบบการเผาไหม้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยมีส่วนสำคัญต่อปริมาณพลังงานที่จะจ่ายผ่านหัวฉีดเข้าระบบเผาไหม้ ซึ่งค่า WI ของก๊าซชนิดต่างๆ แสดงดังใน**ตารางที่ 1-9** ความสำคัญของค่า WI พิจารณาได้จากสมการการไหลของก๊าซผ่าน Gas Injector (บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2548)

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

ซึ่งเมื่อแปลงเป็น Heat Flow ด้วยการคูณ HV

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

H = $0.0046 \, x \, C \, x \, A \, x \sqrt{P} \, X \, \frac{HV}{\sqrt{RD}}$

Q = อัตราการไหลของก๊าซ

C = สัมประสิทธิ์ของการไหล(Coefficient of Discharge)

HV = ค่าความร้อนของก๊าซ

RD = ความถ่วงจำเพาะของก๊าซ

P = ความดันก๊าซ

A = พื้นที่หัวฉีด (Injector Orifice Area)

H = Heat Flow

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

จากสมการจะเห็นได้ว่าค่าพลังงานความร้อนที่ต้องการเกี่ยวข้องกับค่า WI ของก๊าซ โดยหากค่า WI ลดลงการที่จะควบคุมให้ได้ค่า Heat Flow คงเดิม ต้องเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซหรือปริมาณก๊าซในทางกลับกัน แต่ถ้า WI เพิ่มขึ้น การควบคุมให้ได้ค่า Heat Flow คงเดิมจะต้องลดอัตราการไหลหรือปริมาณก๊าซที่เข้าหัวหัวเผา โดยทั่วไป Burner สามารถใช้งานอย่างเป็นปกติหากก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเล็กน้อยโดยมี

ค่าไม่เกิน 5 % ของ WI แต่ใน Burner บางชนิดอาจสามารถใช้ได้กับก๊าซที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้ถึง 10-15 % ของ WI ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนชนิดของก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงต้องพิจารณาค่า WI ของก๊าซแต่ละชนิดด้วย ดัง **ตารางที่ 1-9**

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

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

การจุดติดไฟอัตโนมัติ

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

ตารางที่ 1-10 จุดติดไฟอัตโนมัติของก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	จุดติดไฟอัตโนมัติ, °ซ
มีเทน	537
โพรเพน	470
บิวเทน	350

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

ช่วงในการลุกไหม้

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

ความเร็วของเปลวไฟ

ความเร็วของเปลวไฟเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบระบบจ่ายก๊าซเข้าสู่หัวเผาและการออกแบบ การจุดเครื่องยนต์ ความเร็วของเปลวไฟจะเปลี่ยนแปลงได้ตามสัดส่วนของมีเทนที่อยู่ในก๊าซผสมระหว่างก๊าซชีวภาพกับอากาศ นอกจากนี้ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ก็มีผลต่อความเร็วของเปลวเช่นกัน

อุณหภูมิของเปลวไฟ

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

ส่วนผสมในห้องเผาไหม้

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

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

จากสมการจะพบว่าอากาศและเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ มีค่าเท่ากับ 6.03 ทั้งนี้สัดส่วน A/F ตามทฤษฎีเมื่อความเข้มข้นของมีเทนมีค่าต่างๆ กัน

ดังนั้นสามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญของก๊าซชีวภาพที่ความดัน 1 บรรยากาศอุณหภูมิ 0 °C ได้ดังนี้

ปริมาณมีเทน	60-80	%
ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์	20-40	%
ค่าความร้อน	21.60	เมกะจูล/ม.^{3}
ความเร็วเปลวไฟ	25	ซม./วินาที
อัตราส่วนอากาศต่อก๊าซชีวภาพ	6.03	ม.^{3}/ม.^{3}
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650	°ซ

ค่าความจุความร้อน	1.6	กิโลจูล/ม.^{3}-°ซ
ความหนาแน่น	1.15	กก./ม.^{3}

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

จากคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น (CO_2) องค์ประกอบหลัก ส่วนก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซเหล่านี้ล้วนแต่มีผลต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในบริเวณระบบก๊าซชีวภาพดังนี้

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

ก๊าซมีเทน (CH_4)

สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไป จะก่อให้เกิดอาการหายใจติดขัดอย่างรุนแรง ปวดศีรษะ วิงเวียน และอาจหมดสติได้

สัมผัสทางผิวหนัง : ไม่ปรากฏว่าเป็นอันตรายเมื่อสัมผัสถูกผิวหนัง

กินหรือกลืนเข้าไป : ไม่ปรากฏว่าเป็นอันตรายเมื่อกลืนกินเข้าไป และยากที่จะกลืนกินเข้าไป เนื่องจากเป็นก๊าซ

สัมผัสถูกตา : อาจเกิดการระคายเคืองได้ เมื่อสัมผัสถูกตา

การก่อมะเร็ง : -

ความผิดปกติอื่น ๆ : -

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไปทำให้คลื่นไส้ หัวใจเต้นผิดปกติ ปวดศีรษะ มึนงง รบกวนการมองเห็น หายใจไม่ออก มีอาการชัก อาการโคม่า

สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสถูกผิวหนังจะเป็นแผลพอง เหมือนน้ำแข็งกัดกินหรือกลืนเข้าไป

กินหรือกลืนเข้าไป : การกลืนหรือกินเข้าไป มีอาการเหมือนน้ำแข็งกัดบริเวณริมฝีปาก ปาก และเยื่อ เมือกจะมีผลทำลายตับ

สัมผัสถูกตา : การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง การมองเห็นไม่ชัดเจน

การก่อมะเร็ง : สารนี้เป็นสารก่อมะเร็งตาม OSHA , NTP , IARC

ความผิดปกติอื่น ๆ : -

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไปทำให้วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ ถ้าได้รับสารปริมาณ มากจะทำให้หมดสติ หรือมีอาการโคม่า อาจทำให้เสียชีวิตได้

สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง

กินหรือกลืนเข้าไป : -

สัมผัสถูกตา : การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง โรคเยื่อบุตาอักเสบและเยื่อตาขาวได้รับบาดเจ็บ

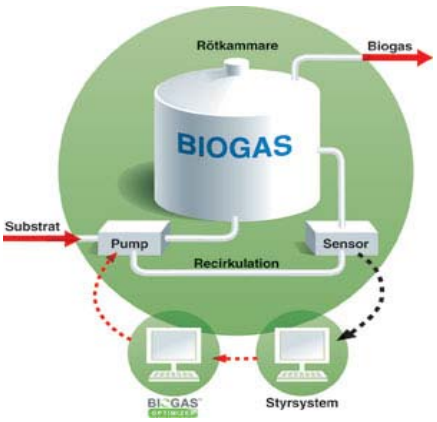
การก่อมะเร็ง : -

ความผิดปกติอื่น ๆ : สารนี้ทำลายปอด ทรวงอก ระบบหายใจ ทางเดินอาหาร ไต ท่อไต กระเพาะปัสสาวะ และเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ

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

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยพื้นฐานจะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของของเสียที่ใช้เป็นวัตถุดิบ หากใช้มูลสัตว์จะได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 20-22 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตัน (m^3/tonne) ของน้ำเสีย และหากใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะได้ก๊าซชีวภาพ 2-200 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตันของปริมาณน้ำเสีย ปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้า นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้อย่างมาก ปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีค่าสูงก็ต่อเมื่อค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีค่าสูง มีการบำบัดในถังที่มีการให้ความร้อน (Mesophilic process) และมีการปั่นหรือกวนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องดัง**รูปที่ 1-3**



รูปที่ 1-3 กระบวนการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ

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

ในคู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน มีรายละเอียด ดังนี้

1.3 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรและการแปรรูป

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

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

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

ตารางที่ 1-11 ประเภทน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีความเหมาะสมบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัด

ประเภทอุตสาหกรรม	ค่าบีโอดี (มก. / ลิตร)
โรงงานสุรา	30,000 -50,000
โรงงานน้ำมันปาล์ม	10,000 –47,000
โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ	8,000- 10,000
โรงงานผลิตวุ้นเส้น	20,000
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง	1,500-15,000
โรงงานผลิตซอสและซีอิ๊ว	3,000-8,000
โรงงานผลิต Lactrose	50,000
โรงงานผลิตกะทิกระป๋อง	4,000-8,000

ถ้าได้ก็จะทำให้การนำระบบหมักผลิตก๊าซชีวภาพมีความเหมาะสมมากขึ้น การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์โดยตรงและง่ายที่สุด คือ การนำไปเผาให้ความร้อนในการผลิตไอน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า และขับเคลื่อนเครื่องจักรกล แต่จะยุ่งยากและมีประสิทธิภาพต่ำกว่า การนำกระบวนการหมักผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรม จำเป็นต้องคำนึงถึงการบำบัดขั้นสองด้วย เพื่อให้ได้น้ำเสียที่บำบัดแล้วได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนถูกนำมาใช้ในการกำจัดตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ทั้งนี้เพื่อลดปริมาตรและทำให้ตะกอนคงสภาพดีขึ้นในประเทศเมืองหนาวจะนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปเผา ความร้อนที่ได้จะนำไปใช้อุ่นน้ำเสียให้คงที่ประมาณ 37 OC ระบบผลิตก๊าซหรือบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีรูปหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้อยู่ในประเทศมี แบบหลัก 6 แบบ ได้แก่

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

AF

Anaerobic Filter

AC

Anaerobic Contact

UASB

Upflow Anaerobic Sludge Blanket

CSTR

Completely Stirred Tank Reactor

ABR

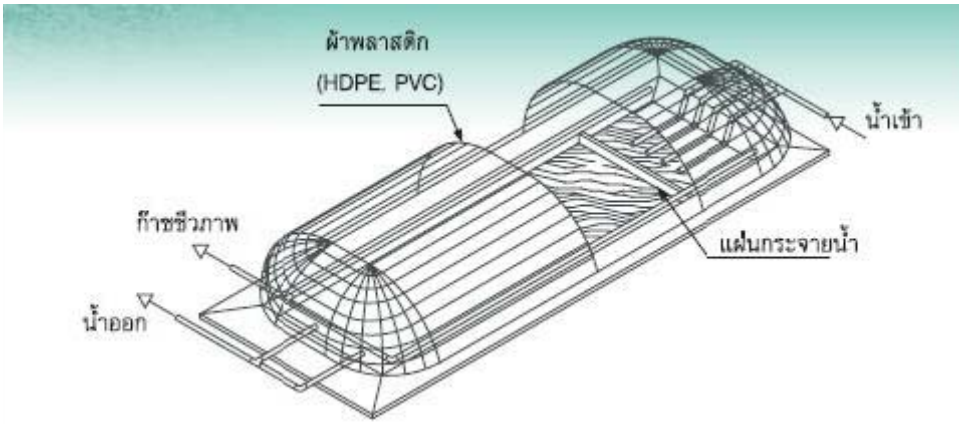
Anaerbic Baffled Reactor

MCL

Modified Covered Lagoon

1.3.1 Modified Covered Lagoon (MCL)

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



รูปที่ 1-4 องค์ประกอบของระบบ MCL

รูปที่ 1-5 ระบบ Modified Covered Lagoon ในโรงงาน

ระบบบำบัดแบบ Modified Covered Lagoon สามารถใช้ได้กับทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรมหรือน้ำเสียชุมชน โดยน้ำเสียที่เหมาะกับระบบ Modified Covered Lagoon ควรมีปริมาณของของแข็งทั้งหมดร้อยละ 0.5-3.0 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบจะสูงกว่าร้อยละ 60 อย่างไร ก็ตามระบบ Modified Covered Lagoon มีความสามารถในการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ต่ำ เมื่อเทียบกับระบบ

บำบัดแบบไม่ใช้อากาศแบบอื่นๆ โดยสามารถรับอัตราภาระบรรทุกซีโอดีได้สูงสุดประมาณ 1-2 กก./ม^{3}ต่อวันเท่านั้น ในขณะที่ระบบอื่นสามารถรับอัตรา ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ถึง 4-10 กก./ม^{3}ต่อวัน จึงส่งผลให้การก่อสร้างระบบ Modified Covered Lagoon ต้องการพื้นที่ในการสร้างมากกว่าในระบบอื่นๆ

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

การควบคุมและดูแลรักษาระบบทำได้ง่ายและไม่ยุ่งยากเป็นระบบที่เหมาะกับฟาร์มเลี้ยงสัตว์หรือชุมชนซึ่งต้องการระบบที่ไม่สลับซับซ้อน นอกจากนี้หากไม่คิดรวมราคาที่ดิน ราคาในการก่อสร้างถูกกว่าระบบอื่นๆ ข้อดีและข้อจำกัดของ ระบบ Modified Covered Lagoon ประกอบด้วย

ข้อดี

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

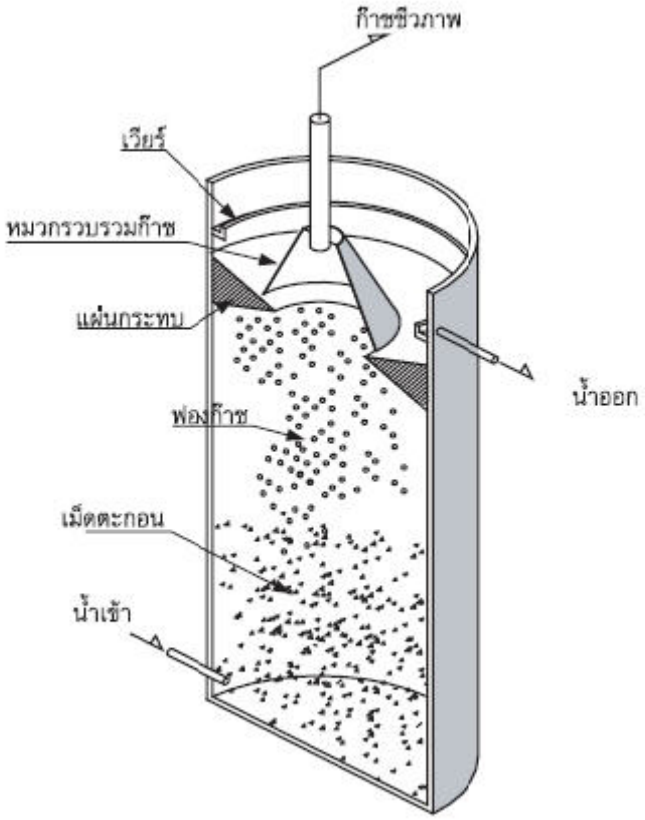
ข้อจำกัด

- การกวนผสมในระบบและการกระจายของน้ำเสียเข้าในบ่อไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ
- ต้องการพื้นที่มาก จึงไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีราคาที่ดินสูง
- อาจมีการซึมของน้ำเสียในบ่อลงสู่ใต้ดิน หากไม่มีการป้องกันในการออกแบบ
- ปริมาณก๊าซที่ได้น้อยเมื่อเทียบกับปริมาตรบ่อหมักกับระบบอื่น
- กรณีที่ก๊าซชีวภาพยังไม่เกิดจะมีปัญหาเกี่ยวกับการท่วมขังของน้ำบนพื้นพลาสติกคลุมบ่อ ซึ่งต้องมีการสูบน้ำออก

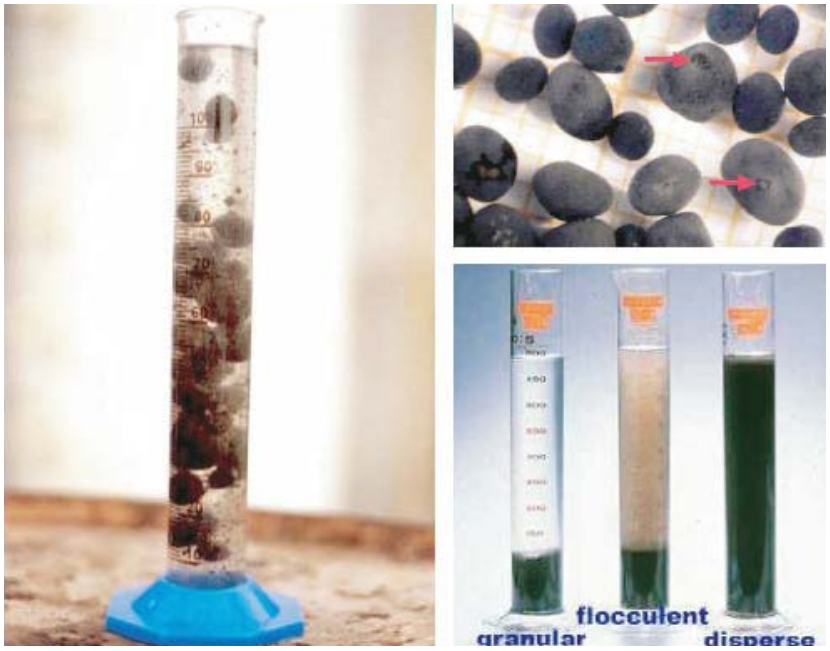
1.3.2 ยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB)

ระบบยูเอเอสบีเป็นถังปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศชนิดหนึ่ง โดยมีลักษณะทิศทางการไหลของน้ำเสียจากด้านล่างของถังขึ้นสู่ด้านบน หลักการในการเดินระบบจะมีการเลี้ยงตะกอนแบคทีเรียให้สามารถสะสมอยู่ในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศจำนวนมากและมีปริมาณตะกอนที่หลุดออกจากระบบน้อย โดยไม่ใช้ตัวกลางเพื่อให้ตะกอนเกาะติด ทั้งนี้ตะกอนแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังจะรวมตัวกันในรูปของเม็ดตะกอน (Granule) จนมีน้ำหนักมากตกตะกอนได้ดี เกิดเป็นลักษณะเป็นชั้นตะกอนในบริเวณด้านล่างของถัง ทั้งนี้ขนาดของเม็ดตะกอนจะขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียที่จ่ายเข้าสู่ระบบ กลไกการทำงานและลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบแสดงได้ดัง**รูปที่ 1-6** และ **1-7** ตามลำดับ

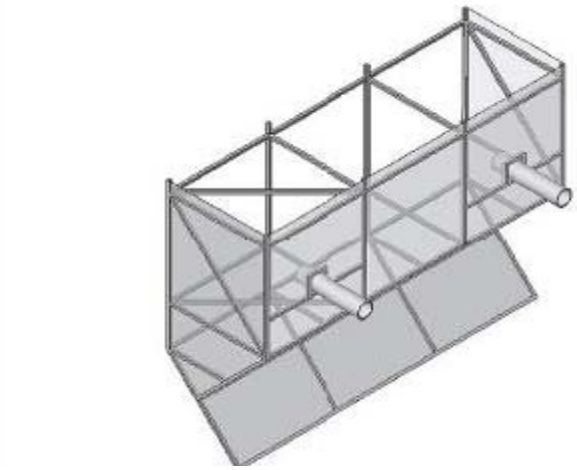
เนื่องจาก มีตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็กและตกตะกอนไม่ได้ปะปนอยู่ในระบบ การที่จะรักษาตะกอนส่วนนี้ไว้ โดยจะติดตั้งส่วนตกตะกอนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำเสีย ตะกอนแบคทีเรียและก๊าซชีวภาพออกจากกัน(Gas-Solid Separator, GSS) ไว้ตอนบนของถังหมัก เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนหลุดออกไปจากถังและเป็นการเพิ่มเวลาเก็บกักตะกอนในถังปฏิกิริยาให้นานขึ้นซึ่งลักษณะของ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



รูปที่ 1-6 องค์ประกอบในระบบยูเอเอสบี (UASB)

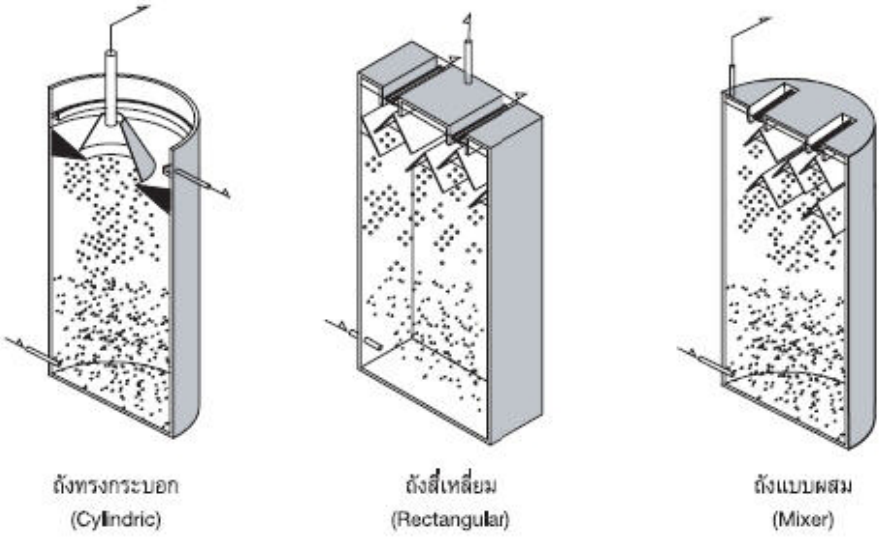


รูปที่ 1-7 ภาพเม็ดตะกอนและการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการตกตะกอน



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

การที่ระบบยูเอเอสบีมีลักษณะกลไกการทำงานเช่นนี้ จะเป็นการแก้ไขปัญหาการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในอดีต โดยป้องกันไม่ให้ตะกอนแบคทีเรีย (Biomass) หลุดไปกับน้ำออก (Effluent) มีระยะเวลากักเก็บตะกอน เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ระบบมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพดีกว่าในอดีตลักษณะของถังยูเอเอสบีที่นิยมสร้างโดยทั่วไปจะเป็นถังปิดรูปทรงสี่เหลี่ยมทั้งแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส และรูปทรงกระบอก ดัง **รูปที่ 1-9**



รูปที่ 1-9 ลักษณะรูปร่างของถังยูเอเอสบีแบบต่างๆ

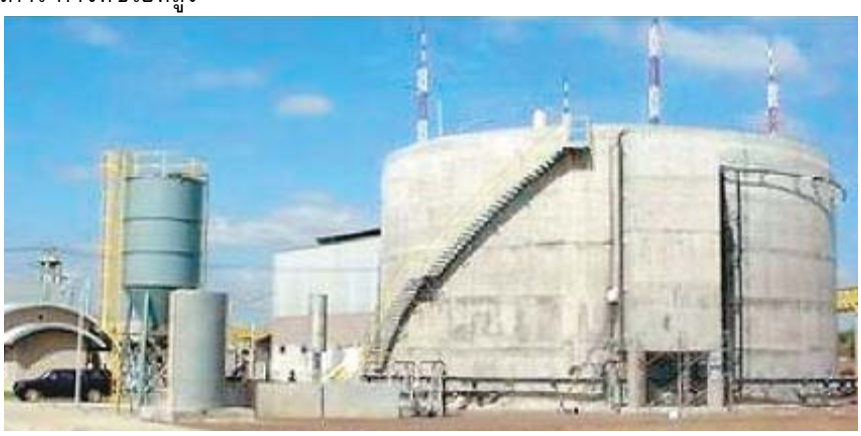
ถังยูเอเอสบีแบบต่างๆมีกลไกและลักษณะการทำงาน 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นถังปฏิกิริยาพร้อมด้วยระบบกระจายน้ำเสียซึ่งจะอยู่ทางด้านล่างของถัง และส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซจะอยู่ด้านบนของถัง โดยกลไกและลักษณะการทำงานของส่วนต่างๆ มีรายละเอียด ดังนี้

ก . ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาจะอยู่ทางด้านล่างของถังซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ การไหลของน้ำเสีย ในถังจะเป็นการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน มีการป้อนน้ำเสียจะป้อนเข้าทางด้านล่างของถังยูเอเอสบีผ่านทางระบบการกระจายน้ำเสีย ซึ่งการกระจายน้ำเข้าถังจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดของถัง การเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในถังยูเอเอสบีจะควบคุมให้ตะกอนสะสมเป็นชั้นตะกอนที่มีความหนาแน่นน้ำเสียที่ต้องการบำบัด จะไหลผ่านชั้นตะกอน แบคทีเรียในชั้นตะกอนซึ่งอยู่กันอย่างหนาแน่นจะเกิดการรวมกันเป็นเม็ด (Granule) โดยเม็ดตะกอนที่มีความหนาแน่นสูงจะจมตัวอยู่ด้านล่าง มีการจัดเรียงตัวจากขนาดใหญ่ขึ้นไปหาเล็กเหมือน ชั้นทรายกรองส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่าฟุ้งกระจายขึ้นมาเป็นชั้นตะกอนแขวนลอย โดยฟองก๊าซที่เกิดขึ้นและการไหลของน้ำที่เข้ามาจากด้านล่างถังจะช่วยทำให้เกิดการผสมขึ้น

ข . ส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมและลดปริมาณเซลล์แบคทีเรียที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง และทำหน้าที่รวบรวมก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จึงมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกก๊าซน้ำเสียและแบคทีเรียในรูปตะกอนแขวนลอยไว้ด้านบนของถังซึ่งจะเรียกว่าเป็นอุปกรณ์ Gas-Solid Separator หรือ GSS โดยการออกแบบหลายลักษณะตามขนาดและรูปร่างของถังปฏิกิริยา แต่ใช้หลักการออกแบบเดียวกันคือ

- แยกน้ำกับก๊าซโดยอาศัยหลักการที่ว่าน้ำสามารถไหลเลี้ยวไปมาได้ ในขณะที่ก๊าซมีการลอยตัวจากด้านล่าง ขึ้นสู่ด้านบนเป็นเส้นตรงเท่านั้น ยกเว้นมีสิ่งกีดขวางหรือแผ่นปะทะใดๆ มาเปลี่ยนทิศทางการลอยตัวขึ้นหลังจากผ่านพ้นสิ่งกีดขวางนั้นแล้วก็จะลอยตัวเป็นเส้นตรงดังเดิม จึงออกแบบและติดตั้งแผ่นปะทะเพื่อขวางทิศทางการไหล ทำให้น้ำและก๊าซมาปะทะ แล้วเบี่ยงเบนการไหลของน้ำและก๊าซออกจากกัน
- แยกตะกอนออกจากน้ำโดยทำให้เกิดการตกตะกอนของตะกอนแบคทีเรียที่ไหลขึ้นมา การแยกตะกอนจะเกิด ในส่วนบนสุดของถัง โดยในส่วนนี้จะไม่มีก๊าซ มีความปั่นป่วนต่ำ สามารถแยกน้ำและตะกอนได้โดยง่าย ดังนั้น GSS จึงต้องมีพื้นที่ส่วนที่เป็นน้ำนิ่งเพียงพอที่ตะกอนจะตกกลับมายังถังปฏิกิริยาได้

ปัจจุบันระบบยูเอเอสบีได้รับความสนใจมากขึ้น ดังมีตัวอย่างของการสร้างระบบยูเอเอสบีขนาดใหญ่ในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ดังรูปที่ 1-10 เนื่องจากสามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงโดยมีประสิทธิภาพในการ กำจัดซีโอดีสูง



รูปที่ 1-10 ระบบยูเอเอสบีในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

ข้อดีและข้อจำกัดของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียมีดังนี้

ข้อดี

- ไม่ต้องใช้สารตัวกลางสำรับให้แบคทีเรียเกาะ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลง
- เกิดตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินน้อยเนื่องจากระบบบำบัดแบบไม่ใช่อากาศมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ
- สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูง
- น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีของแข็งแขวนลอยต่ำ (ตะกอน)
- ใช้สารเคมีในการปรับพีเอชน้อย ขึ้นอยู่กับความเป็นด่างและพีเอชของน้ำเข้า
- ไม่มีปัญหาเรื่องการอุดตันของถังปฏิกิริยาเนื่องจากแบคทีเรียจะรวมกันเป็นเม็ดที่แน่นและตกตะกอนได้ดี
- สามารถหยุดระบบได้ทันทีที่ต้องการและพร้อมจะทำงานต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพดังเดิม ในเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

ข้อจำกัด

- ต้องเลี้ยงแบคทีเรียให้จับตัวเป็นเม็ด มิฉะนั้นจะด้อยประสิทธิภาพ
- ต้องพยายามรักษาตะกอนของแบคทีเรียในระบบให้เหมาะสม และควบคุมสภาวะที่ตะกอนเบาหลุดออกจากระบบอย่างมาก (Wash Out)
- ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ (Start-Up) ค่อนข้างนาน
- แบคทีเรียโดยเฉพาะพวกผลิตก๊าซมีเทน มีความสามารถเจริญเติบโตได้ดี ในช่วงสภาวะเหมาะสมที่แคบ เช่น พีเอช 6.5-7.2
- น้ำที่ผ่านการบำบัดยังไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้งต้องการระบบบำบัดขั้นสุดท้ายก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

1.3.3 ถังกรองไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Filter)

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

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

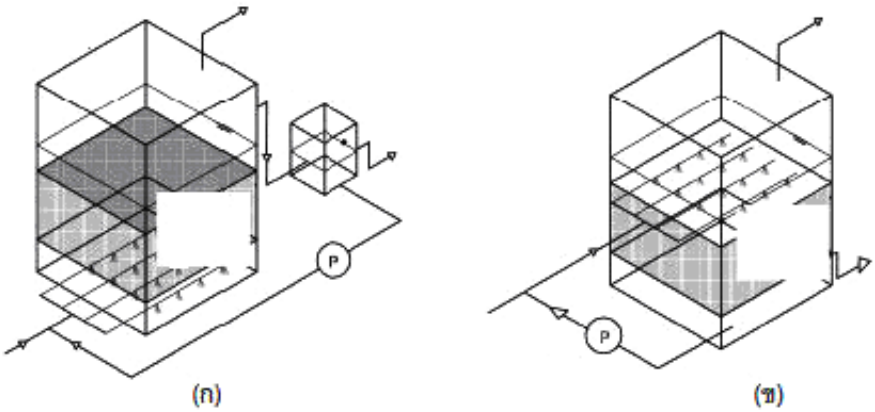
รูปที่ 1-11 ลักษณะการเกาะของฟิล์มชีวภาพ

ถังกรองไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงมากสามารถบำบัดน้ำเสียทั้งที่มีบีโอดีและ ซีโอดีสูงไปจนถึงน้ำเสียชุมชนทั่วไปที่มีค่าบีโอดีและซีโอดีต่ำ โดยอาศัยการเกาะติดของแบคทีเรียบนตัวกลางช่วยป้องกันการชะล้างแบคทีเรียออกจากระบบทำให้ระบบมีเวลาการกักเก็บตะกอนสูงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ให้สูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถฟื้นตัวได้เร็ว อีกทั้งยังทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดีกว่าเชื้อที่แขวนลอย

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

รูปที่ 1-12 ตัวกลางที่มีใช้กันในถังกรองไม่ใช้อากาศ

ส่วนประกอบของถังกรองไม่ใช้อากาศความสูงของถังมีตั้งแต่ 0.45 ม. จนถึง 6 ม. ภายในถังบรรจุวัสดุตัวกลาง ซึ่งถังกรองไม่ใช้อากาศขนาดเล็กมักใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนโดยไม่มีการนำก๊าซที่ได้มาใช้ เนื่องจากมีปริมาณน้อยมาก ระบบกระจายน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศจะต้องออกแบบให้น้ำเสียไหลผ่านช่องล่างของตัวกลางได้ทั่วถึงกัน นอกจากนี้จะต้องมีการทำระบบป้องกันการไหลลัดทางของน้ำเสียซึ่งมักจะเป็นการไหลไปตามผนังภายในถังกรองไม่ใช้อากาศ ซึ่งวิธีการแก้ไขโดยการติดตั้งแผ่นบัฟเฟอร์กั้นไว้ ลักษณะของตะกอนแบคทีเรียในระบบกรองไม่ใช้อากาศจะมีทั้งที่เกาะติดกับตัวกลางและรวมตัวกันเป็นตะกอนฟล็อคอยู่ตามช่องว่างของตัวกลาง ซึ่งตะกอนกลุ่มนี้มีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาตามการเคลื่อนที่ของน้ำเสียและก๊าซที่เกิดขึ้นโดยทิศทางการไหลของน้ำในถังกรองไม่ใช้อากาศสามารถไหลได้ 2 แบบคือการไหลขึ้นหรือไหลลง ดัง**รูปที่ 1-13** โดยที่นิยมสร้างและใช้งานกันในประเทศไทยจะเป็นแบบไหลขึ้น



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

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

รูปที่ 1-14 ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศในโรงงานผลิตแป้งข้าวเจ้า

สำหรับข้อดีและข้อจำกัดของระบบถังกรองไม่ใช้อากาศสมารถสรุปได้ดังนี้

ข้อดี

- มีความต้องการอาหารเสริมน้อยกว่าระบบบำบัดสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนอิสระ
- มีระยะเวลาการสะสมของตะกอนแบคทีเรียสูง เนื่องจากแบคทีเรียจะสะสมอยู่บนตัวกลาง ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงตามไปด้วย
- ไม่ต้องมีการหมุนเวียนตะกอนกลับเพราะตัวกลางภายในระบบจะดักตะกอนไว้ภายในระบบอยู่แล้ว
- ลดปัญหาการกำจัดกากตะกอน เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ถูกสลายจะถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์แบคทีเรียประมาณร้อยละ 5-10 ในขณะที่ระบบใช้ออกซิเจนอิสระสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นเซลล์ใหม่ประมาณ 30-50
- ระบบสามารถทำงานได้ดีหลังจากที่หยุดทำงานไป 15 วัน โดยไม่ต้องเริ่มต้นเลี้ยงแบคทีเรียใหม่

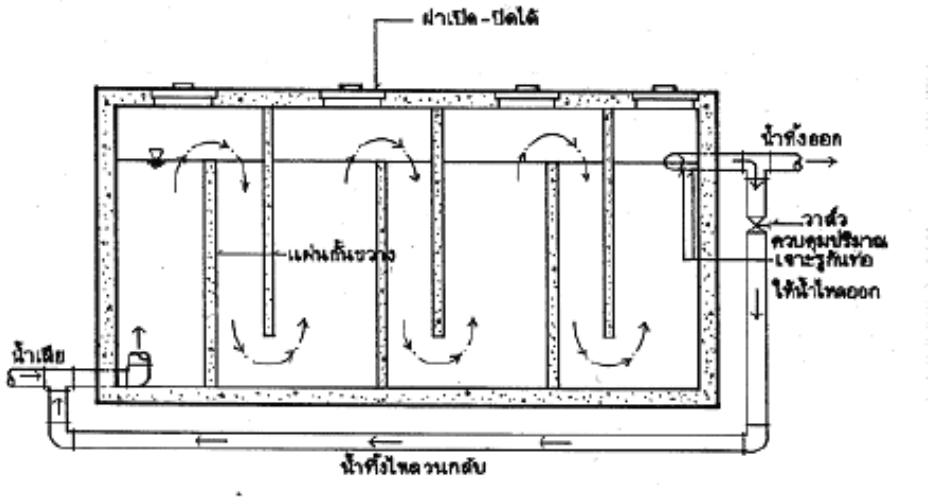
ข้อจำกัด

- ใช้เวลาในการเริ่มต้นเลี้ยงแบคทีเรียนาน เพราะแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตช้า
- ระบบจะมีประสิทธิภาพลดลงมาก ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

- น้ำทิ้งจะมีกลิ่นเหม็นและมีสีดำอันเนื่องมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่มีกลิ่นเมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบโลหะต่างๆ ในน้ำทิ้งจะทำให้เกิดสารประกอบสีดำ
- ต้องการวัสดุตัวกลางซึ่งมีราคาสูง
- ไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงเพราะอาจเกิดการสะสมและอุดตันของสารแขวนลอยในระบบ
- เมื่อใช้งานไปนานๆ อาจมีตะกอนแบคทีเรียสะสมอยู่ในปริมาณสูงทำให้มีการอุดตันในบางตำแหน่งและเกิดการไหลลัดทางขึ้นได้

♣ ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Baffled Reactor)

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



รูปที่ 1-15 ลักษณะการทำงานของระบบ Baffled Reactor

♣ ถังปฏิกรณ์หมักแบบ (Anar Flecidi Bed, AFB)

มีหลักการที่ทำให้เม็ดวัสดุขนาดเล็กลอยตัวเป็นอิสระในถังหมัก (Fluidization) โดยแบคทีเรียจะเกาะเป็นเมือกบนผิวเม็ดวัสดุ ระบบหมักแบบนี้อาจกล่าวได้ว่ามีประสิทธิภาพสูงมาก แต่มีข้อเสียที่มีความยุ่งยากในการออกแบบและควบคุมดูแล และมีค่าใช้จ่ายสูงทั้งการก่อสร้างระบบหมักและการควบคุมดูแล ทั้งนี้เนื่องจากต้องมีการหมุนเวียนอัตราส่วนน้ำไหลขึ้นที่สูงและคงที่ตลอดเวลาดังนั้น จึงทำให้ระบบหมักแบบนี้ไม่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม

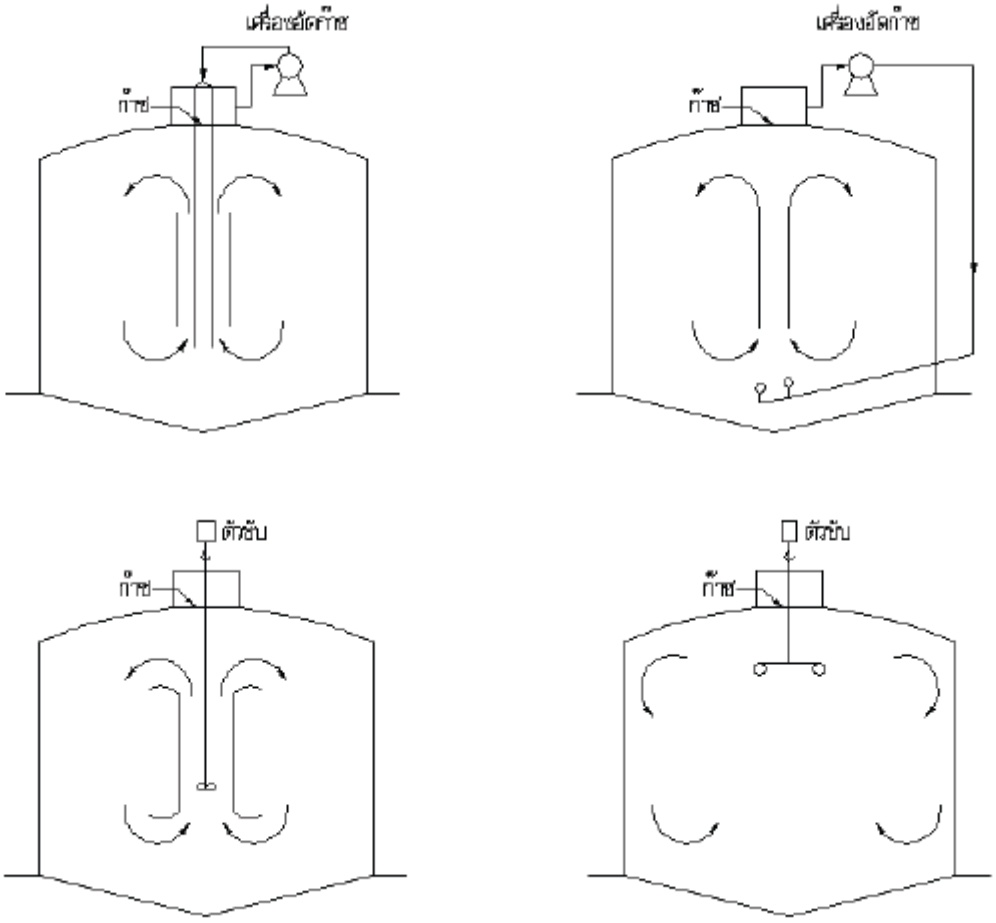
♣ ระบบหมักผสม (Hybird)

เป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและช่วยเพิ่มเสถียรภาพของระบบหมักให้สูงขึ้น เช่น ระบบหมัก AF+UASB , AF+AC , AC+UASB , AC+AF+UASB เป็นต้น การใช้ระบบหมักผสมนี้อาจรวมถึงการประยุกต์ใช้ระบบหมักสองขั้นตอนด้วย ซึ่งเป็นการนำข้อดีของแต่ละระบบรวมเข้าด้วยกันเช่น ระบบหมัก AF+UASB

จะทำให้ระบบหมักง่ายในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ เนื่องจากตัวกลางทำหน้าที่ดักตะกอนแบคทีเรียไว้ในระบบ ส่วนการทำงานระยะยาวของระบบจะขึ้นกับการเกิดของตะกอนเม็ดแบคทีเรีย

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

CSTR เป็นระบบบำบัดไร้อากาศ (Anaerobic Treatment) อาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายในถังที่ปิดมิดชิดไร้อากาศ และมีการกวนผสมภายในถังอย่างทั่วถึง (Mixing system) โดยการกวนผสมอาจเกิดจากก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่ถูกผลิตขึ้น การวนกลับ (Recirculation) ภายในถังปฏิกรณ์ หรือการกวนโดยใช้เครื่องกวนผสม (Mechanical Mixers) กระบวนการย่อยสลายที่มีประสิทธิภาพสูง (High-rate digesters) **ดังรูปที่ 1-16**



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

จากระบบบำบัดน้ำเสียในรูปแบบต่างๆที่กล่าวไว้ข้างต้น การนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ในแต่ละระบบแต่ละประเภทอุตสาหกรรมนำข้อมูลสรุปเปรียบเทียบดัง**ตารางที่ 1-12**

ตารางที่ 1-12 การเปรียบเทียบการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม

ประเภท	ชนิดของระบบฯ	COD Loading (kg.COD/วัน)	ค่าก่อสร้างระบบฯ	ก๊าซชีวภาพที่ได้ (ลบ.ม./วัน)	ค่าใช้จ่ายเพิ่มการ (บาท/วัน)	ลดค่าบำบัดน้ำเสีย (บาท/ปี)	การคืนทุน (ปี)	การนำก๊าซชีวภาพไปใช้
แป้งมันสำปะหลัง	UASB	76,500	109,000,000	17,600	20,000	8,400,000	2.60	น้ำมันเตา
	AFF	76,500	121,500,000	17,600	20,000	8,400,000	2.90	น้ำมันเตา
	MCL	76,500	68,400,000	17,600	20,000	8,400,000	1.60	น้ำมันเตา
อาหารและเครื่องดื่ม	UASB	5,500	40,000,000	1,360	3,600	-	17.11	น้ำมันเตา
	AFF	5,500	44,000,000	1,360	3,600	-	18.78	น้ำมันเตา
	MCL	5,500	25,000,000	1,700	3,600	-	7.90	น้ำมันเตา
น้ำมันปาล์ม	UASB	75,400	81,000,000	14,800	21,000	-	5.00	ผลิตไฟฟ้าขาย
	CSTR	75,400	55,300,000	14,800	21,000	-	3.90	ผลิตไฟฟ้าขาย
	MCL	75,400	47,000,000	14,800	21,000	-	2.90	ผลิตไฟฟ้าขาย
สุราและยีสต์	UASB	96,300	124,400,000	9,300	5,200	4,620,000	4.20	น้ำมันเตา
	AFF	96,300	139,800,000	9,300	5,200	4,620,000	4.90	น้ำมันเตา
	MCL	96,300	83,200,000	9,300	5,200	4,620,000	2.90	น้ำมันเตา
ยางพารา	UASB	24,500	73,000,000	6,000	9,000	924,000	5.80	น้ำมันเตา
	AFF	24,500	84,500,000	6,000	9,000	924,000	6.70	น้ำมันเตา
	MCL	24,500	40,000,000	6,000	9,000	924,000	3.10	น้ำมันเตา
กระดาษ	UASB	40,300	118,500,000	8,000	31,000	16,800,000	4.10	น้ำมันเตา
	AFF	40,300	136,000,000	8,000	31,000	16,800,000	4.80	น้ำมันเตา
	MCL	40,300	57,000,000	8,000	31,000	16,800,000	1.70	น้ำมันเตา
เอทานอล	UASB	77,000	111,000,000	7,000	5,200	-	7.1	น้ำมันเตา
	AFF	77,000	122,000,000	7,000	5,200	-	7.8	น้ำมันเตา
	MCL	77,000	86,000,000	7,000	5,200	-	5.4	น้ำมันเตา

UASB = Upflow Anaerobic Sludge Blanket

AFF = Anaerobic Fixed Film

CSTR = Completed Stirring Tank Reactor

MCL = Modified Covered Lagoon

1.4 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

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

1.4.1 การกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบ (Landfill)

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

- **โดยอาศัยแรงดันก๊าซ** เมื่อเวลาผ่านไปมูลฝอยที่ถูกฝังกลบจะเกิดการย่อยสลายเกิดเป็นก๊าซต่างๆซึ่งจะทำให้ความดันก๊าซในชั้นมูลฝอยสูงกว่าความดันของก๊าซในบรรยากาศ มีผลทำให้การไหลของก๊าซไหลจากหลุมฝังกลบมูลฝอยสู่บรรยากาศ เนื่องจากแรงดันก๊าซเองที่จะเคลื่อนที่จากที่ที่มีความดันสูงสู่ที่มีความดันต่ำกว่า
- **โดยการแพร่** ความเข้มข้นของก๊าซในหลุมฝังกลบมูลฝอยจะมีความเข้มข้นมากกว่าก๊าซในบรรยากาศ มีผลทำให้เกิดการแพร่ของก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอยสู่บรรยากาศ เนื่องจากการแพร่ของก๊าซจะแพร่จากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำ

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

- **ทำเป็นทางระบายของก๊าซ** โดยใช้กรวด ทรายปิดทับมูลฝอยก๊าซที่เกิดขึ้นจะออกมาตามทางนี้ เพราะกรวด ทรายจะมีช่องว่างให้ก๊าซออกมาได้
- **การใช้ท่อระบายก๊าซออก** ซึ่งท่อนี้จะต่อเข้ากับก๊าซส่วนที่ปิดทับมูลฝอย ซึ่งเป็นตัวปิดกั้นก๊าซ ดังนั้นก๊าซจะออกมาได้ตามท่อที่ต่อไว้ แต่มีข้อควรระวังคือ ท่อที่ต่อนั้นไม่ควรอยู่ใกล้สิ่งก่อสร้าง

1.4.2 การหมักมูลฝอยอินทรีย์ด้วยถังหมักไร้อากาศ (Anaerobic Digester)

กระบวนการหมักมูลฝอยอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยให้มีขนาดเล็กลงในขั้นตอนแรกจะถูกส่งมายังถังเตรียม (Feed preparation tank) เพื่อเพิ่มความชื้นตามที่กำหนดผสมผสานต่อส่วนผสมต่างๆ ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วงประมาณ 6-7 ให้ความร้อนกับส่วนผสมที่ได้เพื่อควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 35-40 องศาเซลเซียส และดำเนินการส่งไปหมักในถังปฏิกิริยาชีวภาพ (Bioreactor) ซึ่งจะเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนพวกเมโซไฟล์ (Mesophiles) โดยป้อนเข้าสู่ส่วนบนของถังที่มีการควบคุมการไหลของส่วนผสมอย่างช้าๆ และต่อเนื่องลงสู่ก้นถัง และมีใบพัดสำหรับกวนส่วนผสมต่างๆ ให้เข้ากันเป็นอย่างดี เพื่อช่วยป้องกันปัญหาการ

เกิดฟองหรือก้อนวัสดุบางอย่างลอยอยู่เหนือผิวของเหลวในถังระยะเวลาในการหมักประมาณ 20 วันหลังจากนั้นตะกอนที่ได้จากการย่อยสลายจะถูกส่ง ผ่านไปยังถังพัก (Buffer Storage Tank) เพื่อลดอุณหภูมิและผสมกับโพลิเมอร์ก่อนนำไปรีดน้ำโดยเครื่องรีดน้ำ (Mechanical Dewatering) กากที่ได้จะถูกอบโดยใช้ไอร้อนจากเครื่องปั่นไฟ (Biogas engine) เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคและปรับความชื้นให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

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

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

บทที่ 2
การเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

บทที่ 2
การเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสม กับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

ในการพิจารณาเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ประกอบด้วยปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.1 การออกแบบเพื่อความเหมาะสม

2.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชน

2.1 การออกแบบเพื่อความเหมาะสม

นิยามของการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสม ประกอบด้วย

1) การออกแบบเพื่อความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรม ประสิทธิภาพของระบบบำบัดสอดคล้องกับกฎหมาย หรือมาตรฐานน้ำทิ้งต่างๆ เช่น มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม มาตรฐานน้ำทิ้งของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

2) การออกแบบเพื่อความเหมาะสมกับการลงทุน งบประมาณของผู้ประกอบการ ซึ่งมักต้องการระบบที่ดูแลง่าย อายุการใช้งานเหมาะสม ราคาประหยัด ได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าจากก๊าซชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์ และการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่

3) การออกแบบเพื่อความเหมาะสม สำหรับการใช้งานของผู้ประกอบการและผู้ดูแลรักษาระบบ

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

5) สภาพพื้นที่ก่อสร้างระบบ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของโรงงานจะถูกใช้ประโยชน์ในการผลิต จะเหลือพื้นที่ส่วนน้อยไว้สำหรับก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียหรือระบบผลิตก๊าซชีวภาพ บางครั้งทำให้รูปร่างของที่ดินไม่เหมาะสมในการวางระบบฯ

ดังนั้น การเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย ได้แก่

1) ปริมาณน้ำเสีย ความเข้มข้นและลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียจะต้องถูกนำมาวิเคราะห์ ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยตัวแปรในการวิเคราะห์น้ำเสีย เพื่อการออกแบบจะมีความละเอียดมากกว่าการวิเคราะห์น้ำเสียแบบทั่วไป ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะทำการวิเคราะห์ค่า BOD_5 และค่า COD ที่อยู่ในรูป TCOD เพื่อใช้คำนวณหาสัดส่วน BOD_5/TCOD โดยจะเป็นตัวกำหนดความเหมาะสมในการเลือกใช้ระบบบำบัด ซึ่งสัดส่วน BOD^5/TCOD ต้องมีค่ามากกว่า 0.5 เป็นต้น

2) มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด เช่น มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ, กรมโรงงานอุตสาหกรรม

3) พื้นที่ก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

4) งบประมาณในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและบำรุงรักษา

5) ความสามารถในการเดินระบบของผู้ประกอบการหรือผู้ใช้งาน

6) เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบและประสบการณ์ของวิศวกรออกแบบ ซึ่งเป็นความสามารถส่วนบุคคลในการเลือกออกแบบระบบอย่างเหมาะสม สอดคล้องกับเงื่อนไขทุกประการ

7) เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยมีการใช้หลายวิธี ซึ่งอยู่กับชนิดของน้ำเสียและลักษณะของกิจกรรมที่ทำให้เกิดน้ำเสีย โดยอาจแบ่งกลุ่มตามประเภทอุตสาหกรรม ดังนี้

- โรงงานอุตสาหกรรมอาหารประเภทอาหารแช่แข็ง อาหารกระป๋อง น้ำผลไม้นิยมใช้ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), Modifed Covered Lagoon (MCL) และ ถังกรองไม่ใช้อากาศ Hybrid , Upflow Anaerobic Contact
- โรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังนิยมใช้ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Anaerobic Baffled Reactor (ABR) , Modifed Covered Lagoon(MCL), Anaerobic Fixed Film (AFF) ABR
- โรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบนิยมใช้ระบบถังกวนสมบูรณ์ (Completely Stirred Tank Reactor, CSTR), MCL
- โรงงานอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์นิยม ใช่ระบบบ่อหมักรางและ UASB, MCL

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

2.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชน

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

อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียที่มาจากแหล่งกำเนิดใด เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาต่างๆ ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยเฉพาะจากหลุมฝังกลบขยะควรได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

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

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

3) การออกแบบความเร็วก๊าซในท่อให้สูงกว่าความเร็วเปลวไฟ ก๊าซชีวภาพเมื่อเกิดการลุกไหม้จะมีความเร็วเปลวไฟ 3.5 เมตรต่อวินาที ดังนั้นหากความเร็วก๊าซในท่อสูงกว่านี้เมื่อเกิดไฟลุกไหม้ที่ปลายท่อเปลวไฟก็ไม่สามารถลุกไหม้ย้อนเข้ามาในท่อได้ และเมื่อประกอบกับการควบคุมปริมาณออกซิเจนในท่อตามข้อ 2 ยิ่งทำให้ระบบท่อมีความปลอดภัยมากขึ้น

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

5) การเลือกใช้วาล์วอัตโนมัติชนิดปกติปิด (normally close) ในกรณีที่มีวาล์วอัตโนมัติใช้ในระบบควรเลือกใช้ชนิด ปกติปิดเพื่อในกรณีฉุกเฉิน เช่นไฟฟ้าดับวาล์วดังกล่าวจะกลับสู่ตำแหน่งปิดและป้องกันการปล่อยก๊าซขณะที่อุปกรณ์อื่นหยุดทำงาน

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

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

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างปล่องเผาก๊าซแบบเปิดกับปล่องเผาก๊าซแบบปิดคือ ประสิทธิภาพในการเผากำจัดมลพิษ ซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้และเวลากักที่ก๊าซทำปฏิกิริยาอยู่ในห้องเผาไหม้ ปล่องเผาก๊าซแบบปิดมักถูกออกแบบให้มีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้มากกว่า 800 $^{\circ}$C เวลากักนานกว่า 2 วินาที ในขณะที่ปล่องเผาก๊าซแบบเปิดกำหนดเพียงอุณหภูมิเปลวไฟต้องมากกว่า 550 $^{\circ}$C ดังนั้น ปล่องเผาก๊าซแบบเปิดจึงเหมาะสมสำหรับการใช้งานเผากำจัดก๊าซเพื่อลดความเป็นก๊าซไวไฟ และใช้งานชั่วคราวในกรณีฉุกเฉินที่ต้องปล่อยก๊าซทิ้ง

โดยไม่มีการใช้งานปลายทางเท่านั้น หากต้องการเผากำจัดก๊าซเพื่อกำจัดมลพิษทั้งหมดควรเลือกใช้ปล่องเผาก๊าซแบบปิด สำหรับปล่องเผาก๊าซแบบปิดจะสามารถวัดคุณภาพก๊าซหลังการเผาไหม้ได้ ในขณะที่ปล่องเผาก๊าซแบบเปิดจะไม่สามารถเก็บตัวอย่างก๊าซหลังการเผาไหม้ได้ เนื่องจากมีการเผาไหม้อยู่นอกปล่องด้วย

สำหรับปล่องเผาก๊าซแบบเปิดมีเทคนิคในการเลือกใช้หรือออกแบบดังต่อไปนี้

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

ระบบก๊าซชีวภาพสำหรับหลุมฝังกลบขยะสามารถออกแบบให้มีความปลอดภัยได้ไม่แตกต่างจากระบบประเภทอื่น แต่ลำพังเทคนิคการออกแบบอย่างเดียวไม่สามารถให้ความปลอดภัยสูงสุดได้ ทั้งนี้ต้องอาศัยความรู้ความตั้งใจและตระหนักถึงความปลอดภัยจากผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่ายเพื่อให้ทุกโครงการสามารถดำเนินการได้อย่างปลอดภัยตามวัตถุประสงค์ต่อไป

บทที่ 3
การออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อความปลอดภัย

บทที่ 3
การออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อความปลอดภัย

การออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ หลักการในการออกแบบส่วนใหญ่จะใกล้เคียงกัน แต่อาจจะมีความแตกต่างในเรื่องการเลือกค่าเกณฑ์การออกแบบ (Design Criteria) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ออกแบบในการออกแบบ จะต้องใช้หน่วยบำบัดมากกว่าหนึ่งระบบ เพื่อให้ระบบมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับน้ำเสียหรือของเสียชนิดนั้น อีกขั้นตอนที่ต้องคำนึงถึงคือคุณภาพของเสียที่บำบัดจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง คือประสิทธิภาพของระบบ พื้นที่ที่ใช้สำหรับการก่อสร้าง งบประมาณ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ

3.1 ขั้นตอนในการพิจารณาออกแบบ

ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป ควรจะประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

1) การสำรวจเพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับน้ำเสีย เช่น ปริมาณ ลักษณะสมบัติ จุดกำเนิดในแต่ละกระบวนการผลิต พื้นที่ที่เหมาะสมกันสำหรับก่อสร้างระบบ สภาพพื้นดินและความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน

2) การออกแบบทางเลือกของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (Process Digester) ที่สอดคล้องและเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยจะต้องพิจารณาจากปริมาณน้ำเสีย ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารเคมีและสารอาหารที่จะต้องเติม ความเหมาะสมกับพื้นที่ภูมิทัศน์เดิม ค่าก่อสร้าง รวมไปถึงความพร้อมของบุคลากร

3) การรวบรวมเกณฑ์ในการออกแบบ (Design Criteria) ของระบบที่นำมาใช้งาน โดยการได้มาของเกณฑ์ในการออกแบบ ควรจะมีข้อมูลสนับสนุน มีการทดลองการใช้งานหรือมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย การรวบรวมเอกสารเกี่ยวกับรายละเอียดของอุปกรณ์ การเลือกขนาดรุ่น เพื่อประกอบการพิจารณาเสนอ เนื่องจากอุปกรณ์แต่ละยี่ห้อจะมีราคาที่แตกต่างกันมาก

4) การวางผังออกแบบการเขียนแบบรายละเอียด จากขั้นตอนทั้ง 3 ขั้นตอนที่กล่าวมานำมาประมวลผลเพื่อออกแบบ เขียนแบบ วางผังลงในพื้นที่มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้แบบก่อสร้างที่จะนำไปก่อสร้างโดยจะต้องมีผู้รับผิดชอบตรวจสอบรายละเอียดองค์ประกอบในแบบ ว่ามีความถูกต้องตามที่ออกแบบไว้

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

3.2 ส่วนผลิตก๊าซชีวภาพ

บริเวณที่เป็นส่วนผลิตก๊าซชีวภาพออกมาได้แก่ บริเวณบ่อหมัก/ถังหมักน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงระบบเก็บก๊าซชีวภาพ เพื่อรอการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นในส่วนผลิตก๊าซชีวภาพ ก่อนการออกแบบและดำเนินการก่อสร้างจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่

ก. สถานที่สำหรับก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพ สถานที่ที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน ทำเลที่ตั้งสำหรับก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพ ต้องมีการกำหนดจุดที่จะทำการก่อสร้างที่ชัดเจน โดยมีข้อกำหนดในประเด็นต่างๆดังนี้

ก-1 ทำเลที่ตั้งสำหรับก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพ

(1) กำหนดระยะห่างจากชุมชน โรงเรียน ถนนสาธารณะ สถานที่ราชการ ฯลฯ ที่เห็นว่าจำเป็นไม่น้อยกว่า 100 เมตร

(2) ระยะห่างจากแนวสายไฟฟ้าแรงสูงพาดหรือขึงผ่าน ไม่น้อยกว่า 6 เมตร

(3) ระยะห่างจากถนนสาธารณะไม่น้อยกว่า 6 เมตร

(4) ต้องคำนึงถึงทิศทางของลมโดยไม่ควรจะออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพให้มีลักษณะการขวางทิศทางลม โดยเฉพาะแบบที่ใช้แผ่น PVC หรือ HDPE เป็นตัวเก็บก๊าซ หากไม่สามารถเลือกได้ควรจะเลือกทิศทางมีแนวต้นไม้หรืออาคาร เพื่อช่วยต้านแรงลมที่จะปะทะถังหมักโดยตรง

ก-2 ลักษณะทางกายภาพของดินบริเวณก่อสร้าง

ต้องคำนึงถึงสภาพของดิน ที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพที่เลือก เช่นหากใช้ระบบก๊าซชีวภาพแบบสร้างลอยบนดิน อาจจะต้องพิจารณาความแข็งแรงของดินที่จะรับโครงสร้าง หากชั้นดินไม่สามารถรับแรงได้มากพอต้องพิจารณาการตอกเข็มและหากใช้ระบบก๊าซชีวภาพที่ฝังอยู่ในดิน สภาพการพังทลายของดิน ระดับน้ำใต้ดินและความแข็งแรงของชั้นดิน จะมีผลต่อการออกแบบและต้นทุนการสร้างจะเพิ่มขึ้น รวมถึงการสร้างระบบก๊าซชีวภาพ โดยการนำบ่อน้ำเสียหรือสระน้ำเก่า มาสร้างระบบก๊าซชีวภาพได้ตามความเหมาะสมในแต่ละระบบที่เลือก

ก-3 ความปลอดภัยในงานก่อสร้าง

ในส่วนการก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพ อาจมีการเกิดอุบัติเหตุในด้านวิศวกรรมโยธาได้โดยทั่วไปแล้วโอกาสของอุบัติเหตุจะเกิดจากการเคลื่อนตัวของดินถมด้านข้างผนัง ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจาก

(1) การเพิ่มขึ้นของแรงกระทำด้านข้างผนังทั้งจากน้ำหนักของดินเองและน้ำหนักของรถบรรทุกและเครื่องจักรหนัก

(2) มีทางน้ำใต้ดินไหล่ผ่านอยู่ตลอดเวลา

(3) ดินใต้ฐานรากและดินที่ใช้ถมด้านข้างผนังเป็นดินเหนียวซึ่งสามารถอุ้มน้ำได้ดีทำให้กำลังในการรับแรงเฉือน ของดินลดลง

วิธีการป้องกัน

1 ควรมีการคุมงานให้รัดกุมและดำเนินการก่อสร้างตามที่ออกแบบไว้

2 หลีกเลี่ยงการก่อสร้างในพื้นที่ที่มีทางน้ำใต้ดินไหลตลอดเวลา

3 จัดแนวทางการเคลื่อนที่ของรถบรรทุก

4 หลีกเลี่ยงการก่อสร้างในฤดูฝน

ข. ข้อกำหนดสำหรับโครงสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการออกแบบโครงสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ ควรเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานทางวิศวกรรมดังนี้

ข-1 โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.)

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

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

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

ข-2 โครงสร้างเหล็ก

(1) องค์ประกอบของบ่อ เช่น แผ่นเหล็ก หมุด การเชื่อมให้อ้างอิงตามมาตรฐาน AWWAD 103-97

(2) ต้องมีการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการกัดกร่อนยกเว้น ผนังที่เป็นวัสดุเหล็ก แผ่นสเตนเลส

ข-3 โครงสร้างบ่อดิน

(1) การขุดดินต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของความชันเพื่อป้องกันการพังทลายของคันดิน

(2) ในกรณีที่ดินมีคุณสมบัติไม่กักเก็บน้ำ จำเป็นต้องมีการปูด้วยวัสดุกันซึม เช่น แผ่น PVC หรือแผ่น HDPE เพื่อป้องการซึมของน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน

ข-4 โครงสร้างอื่น ๆ สำหรับกักเก็บก๊าซชีวภาพ

(1) ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

(2) ต้องทนต่อแรงดันได้ดี

(3) สามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย

ค. แนวทางการออกแบบและเลือกวัสดุและอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพ

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

(1) ถังหมักที่เป็นโครงสร้างยกลอยอยู่บนพื้นดินโครงสร้างมักจะใช้เป็นเหล็กที่เคลือบป้องกันการกัดกร่อนหรือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(2) ถังหมักที่เป็นบ่อดิน ส่วนใหญ่มักจะใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก หรืออาจจะใช้แผ่นพลาสติก HDPE สำหรับการปูพื้นบ่อหมักเพื่อป้องกันการซึมของน้ำเสีย

ค-2 การเลือกวัสดุสำหรับทำบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ รวมถึงปริมาณการกักเก็บก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

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

(2) ความสูงของส่วนเก็บก๊าซชีวภาพเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการออกแบบ หากมีความสูง มากเกินไปจะทำให้เกิดการต้านลมมาก ส่งผลทำให้อาจเกิดการฉีกขาดของวัสดุเก็บก๊าซชีวภาพขึ้นได้ ดังนั้นความสูงของส่วนเก็บก๊าซ โดยที่เก็บก๊าซแบบโครงสร้างอ่อนเมื่อพองตัวเต็มที่ไม่ควรเกิน 10 เมตร

(3) แรงดันภายในบ่อเก็บก๊าซในกรณีที่เป็นโครงสร้างที่ไม่มีการเปลี่ยนรูปทรงแรงดันก๊าซไม่ควรเกิน 60 mbar ส่วนกรณีที่เป็นโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนรูปทรงแรงดันไม่ควรเกิน 3 mbar

(4) ช่องว่างระหว่างผิวน้ำในบ่อหมักต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร เพื่อป้องกัน Scum เข้าไปในท่อส่งก๊าซ

ง. คุณสมบัติของวิศวกรผู้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ

วิศวกรผู้ดำเนินการออกแบบจะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์การกำหนดคุณสมบัติของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์ (วสท.)

จ. การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยในระบบการผลิตต่าง ๆ

จ-1 ติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

หากตัวถังหมักก๊าซชีวภาพหรือถังเก็บก๊าซชีวภาพอยู่ในที่โล่งหรืออยู่สูงกว่าสภาพแวดล้อมรอบข้างและในบริเวณพื้นที่ของโรงงานหรือฟาร์มเลี้ยงสัตว์ไม่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าด้วย

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

บ่อหมักก๊าซหรือบ่อเก็บก๊าซชีวภาพที่อยู่ในพื้นที่ที่อาจเกิดอันตรายจากฟ้าผ่าจะต้องมีระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยตรง (Direct Lightning Stroke) ตรงส่วนใดส่วนหนึ่งของบ่อหมักหรือบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ ระบบป้องกันฟ้าผ่าให้ปฏิบัติตามมาตรฐานของ วสท. "มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง" E.I.T. Standard 2001-45 ดัง**รูปที่ 3-1**

รูปที่ 3-1 การติดสายล่อฟ้าในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

จ-2 การติดตั้งสายดิน

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

(1) สายดิน (Grounding)

การต่อกราวด์ คือการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้าลงสู่พื้นดินโดยใช้ตัวนำไฟฟ้า การต่อกราวด์สามารถแก้ปัญหาการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตบนวัสดุตัวนำได้ เพราะการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าจะช่วยถ่ายเทประจุไฟฟ้าลงสู่พื้นดินทำให้ศักย์ไฟฟ้าบนโครงสร้างนั้นเท่ากับพื้นดินดัง**รูปที่3-2**

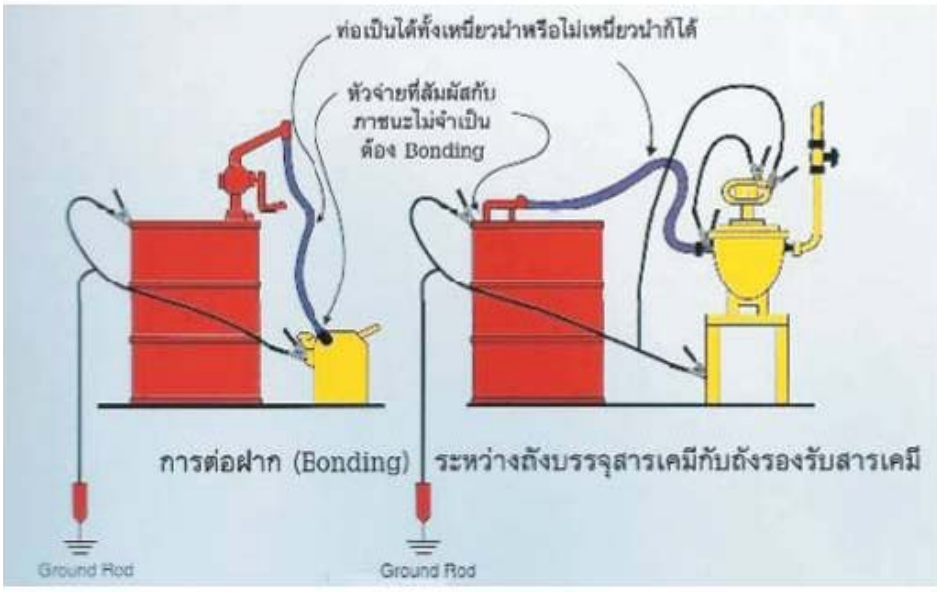
รูปที่ 3-2 การต่อสายดินในโครงสร้าง

(2) ต่อฝาก (Bonding)

การต่อฝาก คือการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้า 2 ส่วนเข้าด้วยกันโดยใช้ตัวนำไฟฟ้า ขนาดของตัวนำไฟฟ้าประเด็นสำคัญ แต่ความแข็งแรงของวัสดุตัวนำและความแนบแน่น

ของหน้าสัมผัสของจุดต่อเนื่องที่ต้องให้ความสำคัญมากกว่า การต่อฝากไม่สามารถแก้ปัญหาการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตได้ แต่จะช่วยกระจายการสะสมของประจุไฟฟ้าบนโครงสร้างหนึ่งๆ เมื่อมีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าแล้วศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างทั้งสองจะเท่ากันเป็นการกำจัดความเสี่ยงของการถ่ายเทประจุระหว่างวัตถุ ดัง**รูปที่ 3-3** และ**รูปที่ 3-4**

รูปที่ 3-3 การต่อฝากเพื่อทำให้ศักย์ไฟฟ้าของพื้นผิวต่างๆมีค่าเท่ากัน



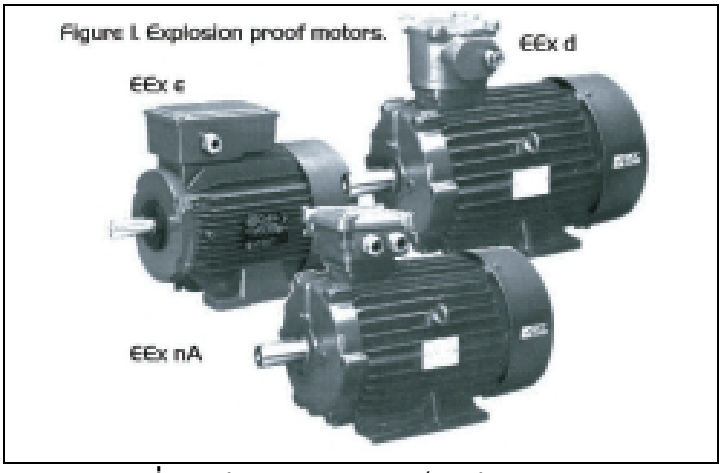
รูปที่ 3-4 การต่อฝากระหว่างภาชนะบรรจุสารไวไฟ

จ-3 การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เป็นแบบป้องกันการระเบิด

ระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในบริเวณอันตราย จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เป็นแบบป้องกันการระเบิด (Explosion Proof) เช่น ระบบมอเตอร์ไฟฟ้าแสงสว่างที่อยู่ในบริเวณระบบผลิต ระบบส่งจ่ายระบบใช้ก๊าซชีวภาพโดย มีรายละเอียดอุปกรณ์ที่จำเป็นดังต่อไปนี้

(1) Explosion Proof Motor (มอเตอร์ชนิดป้องกันการระเบิด)

มอเตอร์ชนิดป้องกันการระเบิดสำหรับเป็นต้นกำลังขับ Blower ส่งก๊าซไปใช้ประโยชน์โดยบริเวณที่มีความเสี่ยง เช่น บ่อหมักหรือบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ อาคารส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ ควรจะติดตั้งมอเตอร์ชนิดนี้ดัง**รูปที่ 3-5**



รูปที่ 3-5 ลักษณะของมอเตอร์ป้องกันการระเบิด

(2) อุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ (Flame Arresters)

อุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ (Flame Arresters) เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทนอุณหภูมิสูง และมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง จึงมีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถให้ก๊าซไหลผ่านได้ขณะใช้งาน แต่จะทำหน้าที่ดูดซับและป้องกันเปลวไฟที่ย้อนกลับ ซึ่งสามารถป้องกันเปลวไฟไม่ให้ผ่านเข้าไปในท่อส่งก๊าซหรือถังผลิตก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ **3-6**

รูปที่ 3-6 **อุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ**

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

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

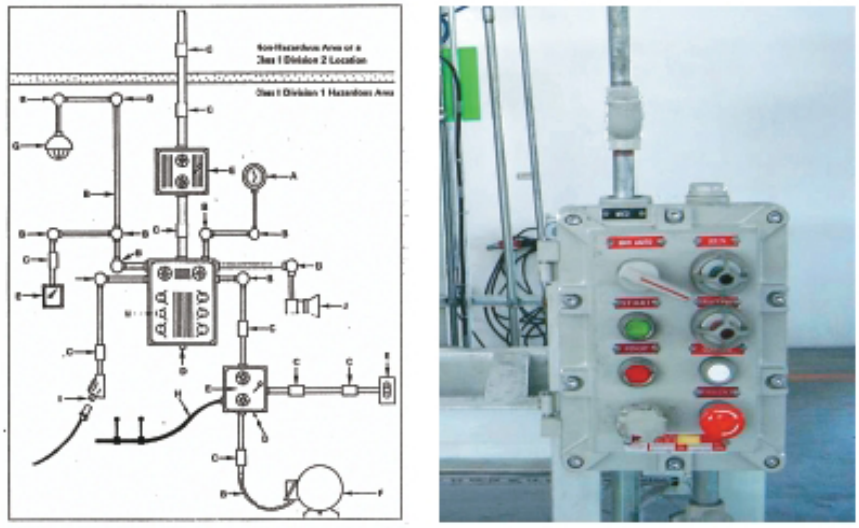
(3) หลอดไฟแสงสว่าง (Lighting)

ระบบแสงสว่างทั้งหมดที่ใช้ในบริเวณบ่อผลิตก๊าซต้องเป็นอุปกรณ์ป้องกันระเบิดทั้งหมด รวมถึงท่อและอุปกรณ์ต่อท่อทั้งหมดต้องสามารถป้องกันประกายไฟได้ ชนิดของท่อควรจะเป็นท่อชนิดหนาหรือท่อ Intermediate Metal Conduit : IMC

- อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดต้องเป็นชนิดป้องกันระเบิดเมื่อติดตั้งในพื้นที่เสี่ยงต่อการติดไฟหรือพื้นที่อันตราย
- ท่อและอุปกรณ์ประกอบท่อต้องได้มาตรฐานป้องกันระเบิด

จ- 4 การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและการเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตราย

ตามมาตรฐานการเดินท่อร้อยสายไฟของ NEC ที่กำหนดให้การเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตรายอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องเป็นชนิดทนระเบิดป้องกันการเกิดประกายไฟได้การเดินท่อร้อยสายไฟและสายเคเบิลต้องสามารถป้องกันการผ่านของก๊าซ ไอระเหยและเปลวไฟจากส่วนใดส่วนหนึ่งไปยังส่วนอื่นผ่านทางท่อร้อยสายไฟ ดังรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-7 การเดินท่อร้อยสายไฟในพื้นที่อันตรายอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องเป็นชนิดทนระเบิด

รายละเอียด

1. กล่องสวิตซ์ควบคุมเป็นชนิดทนการระเบิด (Explosion Proof)
2. ใช้ท่อโลหะปานกลาง (Intermediate Meta IConduit : IMC)ที่สามารถทำเกลียวได้ ซึ่งมีเกลียวมากกว่า 5 เกลียว

3. ติดตั้ง Sealing Fitting ที่ใส่สาร Compound ของท่อร้อยสายไฟก่อนเข้ากล่องสวิตซ์ควบคุมตามมาตรฐานที่กำหนดให้ติดตั้งก่อนเข้ากล่องระยะไม่เกิน 18 นิ้ว

จ-5 การเดินท่อร้อยสายไฟเข้าพื้นที่อันตราย

ตามมาตรฐานการเดินท่อร้อยสายไฟของ NEC ที่กำหนดให้เมื่อมีการเดินท่อร้อยสายไฟจากพื้นที่ไม่อันตรายหรือพื้นที่อันตรายที่ต้องมีการใส่ Sealing Fitting และใส่สาร Compound ในระบบท่อร้อยสายไฟและสายเคเบิลเพื่อป้องกันการผ่านของก๊าซ ไอระเหยและเปลวไฟจากส่วนใดส่วนหนึ่งไปยังส่วนอื่นผ่านทางท่อร้อยสายไฟ

ฉ. การติดตั้งระบบควบคุมแรงดันบ่อเก็บก๊าซ (ระบบไฟฟ้าและเครื่องกล)

ฉ-1 ชุดควบคุมแรงดันบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ

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

(1) โครงสร้างที่ไม่มีการเปลี่ยนรูปทรง ดังรูปที่ 3-8 และรูปที่ 3-9

รูปที่ 3-8 โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นบ่อก่ออิฐฉาบปูน

รูปที่ 3-9 โครงสร้างบ่อหมักที่เป็นถังเหล็ก

ในระบบเก็บก๊าซชีวภาพแบบนี้จะสามารถเกิดแรงดันที่เป็นบวก (Over Pressure) เมื่อมี ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มากกว่าที่ปริมาณนำไปใช้งาน และแรงดันที่เป็นลบ (Vacuum) เมื่อมีการใช้ก๊าซชีวภาพมากกว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งต้องมีกลไกหรืออุปกรณ์ป้องกันแรงดันทั้งสองแบบที่จะเกิดขึ้นในระบบ เพื่อป้องกันความ

เสียหายต่อโครงสร้างได้ ทั้งนี้หากระบบควบคุมเป็นระบบควบคุมด้วยไฟฟ้า จำเป็นต้องมีระบบควบคุมแบบทางกล (Mechanics) ควบคู่ไปด้วยเพื่อป้องกันอันตรายหากเกิดกรณีไฟฟ้าดับ เช่น ในบ่อ Fixed Dome ที่มีการออกแบบให้มีระบบควบคุมแรงดันภายในบ่อหมัก

(2) โครงสร้างที่มีการเปลี่ยนรูปทรง

ระบบเก็บก๊าซชีวภาพแบบนี้ เป็นระบบควบคุมแรงดันแบบไม่ใช้ไฟฟ้าโดยจะสามารถเปลี่ยนแปลงรูปทรงได้ตามปริมาณก๊าซชีวภาพ เมื่อปริมาณก๊าซชีวภาพมีน้อยรูปทรงของบ่อเก็บก๊าซนี้อาจเป็นแบนราบ เมื่อก๊าซชีวภาพสะสมภายในบ่อเก็บก๊าซมากขึ้น รูปของบ่อจะเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งอยู่ในรูปทรงที่ออกแบบไว้ ซึ่งในกรณีที่บ่อเก็บก๊าซชีวภาพมีรูปทรงได้ตามที่ออกแบบแล้ว แสดงว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดที่บ่อเก็บก๊าซจะรับเอาไว้ได้ ดังนั้นจะต้องมีชุดควบคุมแรงดันสำหรับบ่อเก็บก๊าซประเภทนี้ดังรูปเพื่อป้องกันแรงดันที่มากเกินไปทำให้เกิดการฉีกขาดของวัสดุที่ใช้ทำบ่อเก็บก๊าซนี้ได้ ดัง**รูปที่ 3-10** และ **รูปที่ 3-11**

รูปที่ 3-10 โครงสร้างบ่อเก็บก๊าซชีวภาพที่เป็นวัสดุ PVC และ Membrane

รูปที่ 3-11 อุปกรณ์ชุดควบคุมแรงดัน

(3) ถังป้องกันความดันสูงหรือต่ำของบ่อก๊าซ (Water Seal Tank)

เป็นอุปกรณ์ชิงกลตัวหนึ่งที่ใช้กับการผลิตก๊าซเพื่อป้องกันแรงดันเกินหรือต่ำในระบบกรณีที่ไฟฟ้าดับหรือ ในกรณีที่ชุดควบคุมเสียหรือไม่สามารถควบคุมแรงดันได้ตามที่ต้องการ ดัง**รูปที่ 3-12**

- ต้องสามารถรองรับการดูดหรือปล่อยอากาศ ได้ไม่น้อยกว่าปริมาณการใช้ก๊าซจริง
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดี เนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสเตนเลส

รูปที่ 3-12 ถังป้องกันความดันสูงหรือต่ำของบ่อก๊าซ

(4) สวิตซ์ป้องกันความดันสูงหรือต่ำเกินกำหนด (Pressure & Vacuum Switch)

เป็นอุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซในบ่อเก็บก๊าซ โดยเฉพาะในระบบที่มีถังเก็บก๊าซแบบไม่เปลี่ยนรูปทรง เมื่อแรงดันก๊าซมากเกินไปจะสั่งงานให้ชุดเผาก๊าซส่วนเกินทำงาน และเมื่อแรงดันต่ำเกินกำหนดจะส่งผลให้ Blower ส่งก๊าซ/หรืออุปกรณ์ใช้ก๊าซชีวภาพหยุดทำงาน ดัง**รูปที่ 3-13**

- ต้องอ่านค่าได้แม่นยำ และไม่ผิดเพี้ยน
- สามารถควบคุมการทำงานได้แม่นยำ
- ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม และมีการสอบเทียบตามความเหมาะสม

รูปที่ 3-13 สวิตซ์ป้องกันความดันสูงหรือต่ำเกินกำหนด

(5) ตัวส่งสัญญาณแรงดันก๊าซ (Pressure Transmitter)

เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณให้ชุดควบคุมแรงดันก๊าซ โดยเฉพาะในระบบที่มีถังเก็บก๊าซแบบไม่เปลี่ยนรูปทรง โดยปกติอุปกรณ์นี้จะติดตั้งอยู่กับตัวท่อก๊าซทั้งด้านท่อดูดและท่อส่ง จึงจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนและทนต่ออุณหภูมิแสงแดดและน้ำฝน **รูปที่ 3-14**

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

รูปที่ 3-14 ตัวส่งสัญญาณแรงดันก๊าซ

(6) ตัวควบคุมแรงดันก๊าซ (Pressure Controller)

เป็นอุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซในบ่อเก็บก๊าซ โดยเฉพาะในระบบที่มีถังเก็บก๊าซแบบไม่เปลี่ยนรูปทรง เมื่อแรงดันก๊าซมากเกินไปจะสั่งงานให้ชุดเผาก๊าซส่วนเกินทำงาน และเมื่อแรงดันต่ำเกินกำหนดจะส่งให้Blower ส่งก๊าซ/หรืออุปกรณ์ใช้ก๊าซชีวภาพหยุดทำงาน **ดังรูปที่ 3-15**

- ต้องอ่านค่าได้แม่นยำ และไม่ผิดเพี้ยน
- สามารถควบคุมการทำงานได้แม่นยำ
- ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม และมีการสอบเทียบตามความเหมาะสม

รูปที่ 3-15 อุแปกรณ์ควบคุมแรงดันขนาดต่าง ๆ

ที่มา : คู่มือกำหนดความปลอดภัยของการออกแบบระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ ,กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน , ปี 2552

3.3 ส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

ก. การเลือกใช้วัสดุสำหรับท่อส่งก๊าซ

ระบบก๊าซชีวภาพในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นระบบความดันต่ำ (Low Pressure) โดยมีแรงดันไม่เกิน 300 mbar (หรือ4.35ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)และในก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)ดังนั้นวัสดุสำหรับนำมาใช้เป็นท่อส่งจ่ายก๊าซนั้น จะต้องสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ เช่นท่อ PVC,ท่อ HDPE หรือท่อ Stainless สิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือ ท่อ PVC ดัง **รูปที่3-16** สามารถรับแรงดันในระบบ Low Pressure ได้ แต่โดยปกติท่อ PVC ในการผลิตจะไม่ได้เติมสารป้องกันรังสียูวีจากแสงแดด ดังนั้นหากเดินท่อเหนือพื้นดิน อาจจะไม่เหมาะสมในการเลือกท่อ ชนิดนี้ ส่วนท่อ HDPE จะป้องกันรังสียูวีได้ ซึ่งหากต้องการเดินท่อส่งก๊าซชีวภาพเหนือผิวดิน ท่อ HDPE จะมีความเหมาะสมมากกว่า ส่วนท่อ Stainless ดัง**รูปที่ 3-17** มีความแข็งแรงและทนต่อการแตกหักรวมถึงสามารถเดินเหนือพื้นดินได้ดี แต่จะมีราคาสูงที่สุด

ท่อที่ใช้ในการส่งจ่ายก๊าซไปยังจุดใช้งาน โดยทั่วไปนิยมในโรงงานอุตสาหกรรมใช้ท่อHDPE ซึ่งทนทานต่อการกัดกร่อนของก๊าซและราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับท่อสเตนเลส แต่ในส่วนของฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มักจะใช้ท่อ PVC เนื่องจากสามารถต่อใช้งานได้ง่ายสำหรับการติดตั้งและราคาถูก

รูปที่ 3-16 ท่อ PVC

รูปที่ 3-17 ท่อ Stainless

- ต้องเป็นท่อซึ่งสามารถรับแรงดันได้มากกว่าแรงดันการใช้งานปกติ
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อต้องไม่เล็กจนเกินไป โดยคำนึงถึงปริมาณการใช้ก๊าซเป็นหลัก
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดี เนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วยซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสเตนเลส HDPE หรือPVC
- การติดตั้งท่อ PVC โดยเฉพาะในส่วนเชื่อมต่อท่อให้ตรวจสอบการติดตั้งส่วนเชื่อมต่อที่ใช้กาวโดยละเอียด และแน่นหนา

รูปที่ 3-18 ท่อ HDPE

การติดตั้งท่อ HDPE ที่นิยมใช้ในการส่งจ่ายก๊าซในกรณีของท่อส่งก๊าซในระบบฝังกลบขยะ สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษคือ ความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวของชั้นขยะ ดังนั้นในการออกแบบท่อลำเลียงก๊าซจากบ่อขยะจะต้องออกแบบแนวป้องกันความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวของชั้นขยะด้วย

ข. การเลือกใช้ขนาดท่อสำหรับท่อส่งก๊าซ

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

ค. การเดินท่อส่งก๊าซชีวภาพ

ค-1 การวางท่อส่งก๊าซเหนือพื้นดิน

ท่อส่งก๊าซที่วางเหนือพื้นดินทั้งภายนอกไม่ควรใช้ท่อ PVC เนื่องจากท่อไม่ได้เติมสาร Anti UV จะทำให้ท่อเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว รวมถึงการที่ท่อโดนความร้อน/ความเย็นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการยืดตัวและหดตัว จึงเป็นเหตุทำให้การต่อเชื่อมตามข้อต่อด้วยกาวสามารถหลุดออกได้เกิดก๊าซรั่วไหลได้ ท่อส่งก๊าซที่วางเหนือพื้นดินควรได้รับการยึดเกาะหรือรองรับ (Hangers, Support and Anchors) ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันความล้าหรือการแตกหักและกระทบกระเทือนต่างๆ ตัวยึดเกาะหรือตัวค้ำยันต้องแข็งแรงเพียงพอต่อการรับน้ำหนักของท่อส่งก๊าซ ไม่ควรติดตั้งหรือยึดตัวค้ำยันกับกำแพง หรือรั้วของโรงงาน ระยะห่างสูงสุดระหว่างตัวยึดเกาะ หรือรองรับต้องไม่เกินกว่าที่ระบุในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ขนาดท่อกับช่วงห่างตัวรองรับท่อที่เหมาะสม

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

ท่อส่งก๊าซที่วางเหนือพื้นผิวจราจรที่มีรถวิ่งผ่านระดับความสูงของท่อจะต้องสูงพ้นจากการเกาะเกี่ยวของรถบรรทุกหรือรถยก (Folk lift) และควรมีป้ายบอกระดับความสูงของท่อส่งก๊าซและจัดให้มีระบบหรือเครื่องป้องกันอันตรายที่เกิดจากการเกาะเกี่ยวจากรถด้วย

ค-2 การวางท่อส่งก๊าซใต้พื้นดิน

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

ข้อควรระวังในการวางท่อก๊าซ

- มาตรวัดก๊าซ และวาล์วปรับความดันก๊าซ สำหรับอุปกรณ์ใช้ก๊าซ ควรห่างจากจุดกำเนิดประกายไฟหรือความร้อนอย่างน้อย 0.9 เมตร (3 ฟุต)
- ห้ามใช้ส่วนหนึ่งส่วนใดของท่อเป็น Ground หรือต่อลงดินของระบบไฟฟ้า
- ไม่ควรใช้ท่อก๊าซเป็นตัวค้ำยัน รองรับ หรือยึดเกาะของระบบท่ออื่นๆ
- ไม่ควรดัด หรือ งอท่อเหล็กที่ใช้เป็นท่อส่งก๊าซ
- ท่อส่งก๊าซส่วนที่ชำรุดให้เปลี่ยนใหม่ไม่ควรซ่อมแซม
- ควรหลีกเลี่ยงการวางท่อก๊าซร่วมกับท่อร้อยสายไฟท่อระบายน้ำหรือผ่านระบบจ่ายไฟฟ้า(Sub Station)ของโรงงาน

ง. การเลือกสีของท่อก๊าซ

การเลือกใช้สีของท่อก๊าซหากมีการออกแบบอย่างเป็นระบบจะช่วยในด้านความปลอดภัยและการซ่อมบำรุง โดยมาตรฐาน EPB 203 (มกราคม 2551) ของกระทรวงสิ่งแวดล้อมประเทศแคนาดา ได้กำหนดสีของท่อในระบบบำบัดน้ำเสียดังนี้

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

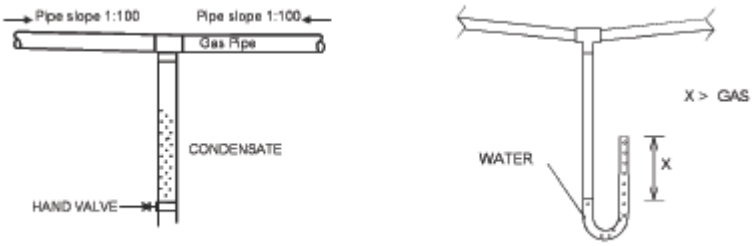
หมายเหตุ : 1. ระบุทิศทางการไหล(ลูกศร) บนผิวท่อ

2. ให้ใช้สีตามที่กำหนดตลอดความยาวของท่อ

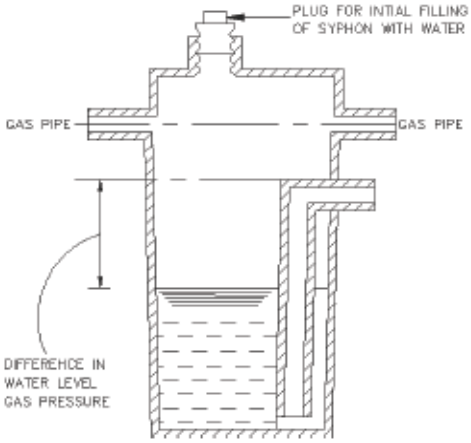
3. การคาดสี ควรระบุทุก 9 เมตร และทุกจุดที่จะเริ่มเข้าและหลังจากออกจากกำแพง

จ. การระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซ (Condensate Drain)

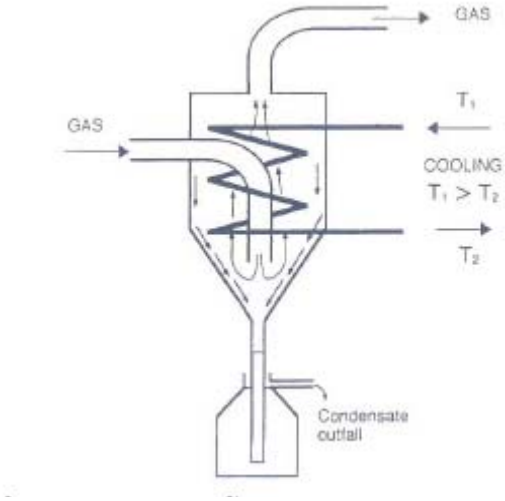
เนื่องจากในระบบก๊าซชีวภาพจะมีไอน้ำจำนวนมาก เมื่อก๊าซไหลผ่านท่อจะมีการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซ และในการเดินท่อส่งก๊าซจะต้องมีการวางท่อในแนวนอนให้มีความลาดเอียงประมาณ1:100 โดยจุดดักน้ำจะต้องติดตั้งบริเวณจุดต่ำสุดของแนวท่อแต่ละช่วง และควรติดตั้งก่อนถึงถังกรอง(ชุด Filter) ดัง**รูปที่ 3-21**



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



รูปที่ 3-20 การดักน้ำออกแบบไซฟอน Siphon Condensate Drain



รูปที่ 3-21 ระบบระบายน้ำแบบ Active condensate

สรุปข้อดี- ข้อด้อยของท่อแต่ละแบบ

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

ฉ. การเลือกใช้วาล์วและระบบที่เกี่ยวข้องกับวาล์ว ในระบบส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

เป็นอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่มีหน้าที่เปิด-ปิดก๊าซและสัมผัสกับก๊าซโดยตรงวาล์วที่ใช้ควรเลือกใช้ชนิดที่ทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซ โดยตัววาล์วอาจจะใช้เหล็กก็ได้ แต่ภายในต้องเคลือบสารเพื่อป้องกันการกัดกร่อน และหน้าวาล์วควรเป็นสเตนเลสแต่ในส่วนของฟาร์มเลี้ยงสัตว์และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กจะเลือกใช้วาล์ว PVC เป็นส่วนใหญ่ส่วนตัววาล์วนั้นควรเลือกใช้ชนิดที่เป็นบอลวาล์ว เพื่อสามารถเปิด-ปิดได้อย่างรวดเร็วหากเกิดการรั่วไหลของก๊าซ ดัง**รูปที่ 3-22**

รูปที่ 3-22 วาล์วชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 3-2 การเปรียบเทียบวาล์วชนิดต่าง ๆ

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

ฉ-1 วาล์วป้องกันความดันย้อนกลับ (Back Pressure Check Valve)

ติดตั้งที่ท่อทางส่งของปั๊มส่งก๊าซเพื่อป้องกันความดันย้อนกลับขณะปั๊มส่งก๊าซหยุดทำงาน

- วาล์วกันกลับควรติดตั้งในจุดที่มีแรงดันต่ำด้านท้ายของมิเตอร์ตัวปรับแรงดัน และอุปกรณ์ควบคุมก๊าซอื่นๆที่อาจเกิดความเสียหายจากการไหลย้อนของแรงดันในระบบอันเนื่องมาจากคลื่นแรงดันหรือสภาพอื่นๆ
- ขนาด 2 นิ้ว - 12 นิ้ว
- ต้องการการไหลเต็มท่อด้วยแรงดันสูญเสียต่ำ และการไหลสูงสุด
- วาล์วที่ทำด้วยวัสดุที่ทนทานการกัดกร่อน ได้แก่อลูมิเนียม (เกรด 356) เหล็กและสเตนเลส

รูปที่ 3-23 วาล์วป้องกันความดันย้อนกลับ

ฉ-2 วาล์วป้องกันความดันสูงเกินกำหนด (Pressure Relief Valve)

เป็นอุปกรณ์สำหรับป้องกันความดันสูงเกินกว่ากำหนดในระบบกรณีที่ชุดปั๊มส่งก๊าซไม่สามารถควบคุมแรงดันการส่งจ่ายได้ ดัง**รูปที่ 3-24**

- ต้องสามารถระบายก๊าซออกรวดเร็วและทนต่อปริมาณของ ก๊าซที่ส่งไปใช้งาน
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดีเนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อนจึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลส
- ต้องสามารถปรับตั้งแรงดันได้ตรงกับการใช้งาน

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

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

รูปที่ 3-24 วาล์วป้องกันความดันสูงเกินกำหนด

ช. การเลือกอุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้องกับส่วนส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ

ช-1 การเลือกใช้ Blower ส่งก๊าซสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท

เป็นอุปกรณ์สำหรับดูดก๊าซจากบ่อเก็บก๊าซชีวภาพแล้วส่งไปยังจุดใช้งานที่ต้องการแรงดันสูงหรืออาจจะเป็นการส่งไปใช้งานในระยะทางไกลและจำเป็นต้องมีชุดควบคุมแรงดัน สำหรับส่งจ่ายก๊าซ ดังรูปที่ **3-25**

รูปที่ 3-25 Blower แบบต่างๆ

คุณสมบัติของ Blower

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

ช-2 การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันการระเบิด

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

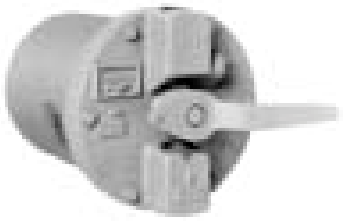
ช-3 กับดักระบายคอนเดนเสทและสิ่งปนเปื้อน (Condensate and Sediment Traps)

ติดตั้งที่ท่อส่งก๊าซ เพื่อใช้ระบายน้ำและสิ่งปนเปื้อนออกจากระบบส่งก๊าซ

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

รูปที่ 3-26 กับดักระบายคอนเดนเสทและสิ่งปนเปื้อน

ช-4 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap – Manual



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

รูปที่ 3-27 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ

ช-5 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ Drip Trap – Automatic

- ต้องสามารถระบายน้ำได้ทัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการส่งก๊าซ
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดี เนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อน จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็น สเตนเลส

รูปที่ 3-28 อุปกรณ์ดักน้ำออกจากท่อส่งจ่ายก๊าซ

ช-6 ชุดดักน้ำและสิ่งสกปรก (Gas Filter)

- ต้องสามารถกรองสิ่งสกปรกหรือเศษสิ่งสกปรก ไม่ให้ไหลเข้าไปในระบบได้และควรมีขนาดใหญ่เพียงพอกับปริมาณก๊าซที่ไหลผ่าน
- ต้องทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซภายในท่อได้ดีเนื่องจากในก๊าซชีวภาพมีก๊าซไข่เน่าผสมมาด้วยซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อนจึงควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นสเตนเลส

รูปที่ 3-29 ชุดดักน้ำและสิ่งสกปรก

3.4 ส่วนการนำก๊าซไปใช้ประโยชน์

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

ก. การนำก๊าซชีวภาพใช้ในรูปของความร้อนโดยตรง

โดยทั่วไปแล้วจะนิยมนำก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง เป็นต้น

ทางเลือกนี้จะเหมาะสำหรับโรงงานที่มีรูปแบบการใช้พลังงานความร้อนอยู่แล้วและปริมาณความต้องการก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงมีสูงพอ เมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ให้สามารถใช้งานกับก๊าซชีวภาพได้จะเป็นการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานที่ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง

ทั้งนี้ในการนำก๊าซชีวภาพในรูปความร้อนทั้งที่ผลิตในประเทศหรือนำเข้าจากต่างประเทศหรือดัดแปลงจากเชื้อเพลิงประเภทอื่น (เช่น น้ำมันเตา) จะต้องมีวิศวกรเซ็นรับรองการออกแบบและติดตั้งตามกฎกระทรวงกำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ. 2550

ข้อควรคำนึง : การส่งก๊าซชีวภาพออกแบบ เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตัน/การถูกกัดกร่อนของอุปกรณ์จากก๊าซ H_2S

รูปที่ 3-30 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในรูปของความร้อนโดยตรง

ข. การนำก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า

ข-1 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบเชื้อเพลิงคู่

ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่หรือในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการกำลังผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ 100 kW ขึ้นไปมักจะหันมาใช้เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพแทนได้ทั้งหมด เนื่องจากเครื่องยนต์เบนซินขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ตั้งแต่100 kW ขึ้นไปหาได้ยากในท้องตลาดจะมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลที่มีขนาดความจุกระบอกสูบที่ใหญ่กว่าเครื่องยนต์เบนซินทำให้สามารถผลิตกำลังได้ตามที่ต้องการได้ แต่เนื่องจากการดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลนี้ มีความซับซ้อนและมีรายละเอียดมากกว่าเครื่องยนต์เบนซิน ทำให้การบำรุงรักษาต่าง ๆมักจะกระทำโดยผู้ผลิตหรือผู้ดัดแปลงดังกล่าวเป็นผู้ทำการบำรุงรักษา

รูปที่ 3-31 เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพแทนได้ทั้งหมดต่อร่วมกับ Synchronous/Induction Generator เพื่อผลิตไฟฟ้า

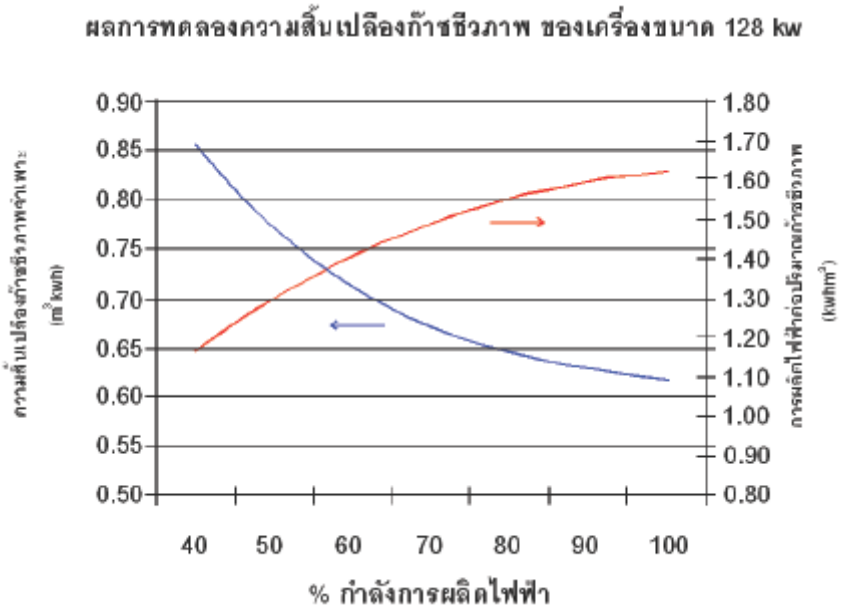
ข-2 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (เครื่องนำเข้า)

ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความต้องการไฟฟ้ามากกว่า 200 kW ขึ้นไปนิยมเลือกเครื่องปั่นไฟที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งจะเป็นเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพโดยเฉพาะซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน จากก๊าซชีวภาพเป็นไฟฟ้าได้สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ดัดแปลงจากเครื่องยนต์เบนซินหรือเครื่องยนต์ดีเซล แต่อาจจะมีข้อจำกัดเรื่องราคาเครื่องและค่าบำรุงรักษาที่สูงกว่าเครื่องยนต์ดัดแปลงภายในประเทศ

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

ค. การเลือกขนาดเครื่องปั่นไฟ

การเลือกขนาดหรือกำลังการผลิตของอุปกรณ์นำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้ก๊าซชีวภาพ มีความจำเป็นมากควรเลือกขนาดเครื่องยนต์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้า ให้มีความเหมาะสมกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพให้แต่ละวัน



รูปที่ 3-33 กราฟแสดงผลการทดสอบความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพของเครื่องขนาด 128 kW.

จากรูปกราฟจะเห็นว่าการเดินเครื่องปั่นไฟที่กำลังผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าร้อยละ 50 ลงมา การผลิตไฟฟ้าต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากก๊าซชีวภาพไปเป็นไฟฟ้าลดลงอย่างมาก ดังนั้นผู้ออกแบบควรจะแนะนำให้ผู้ประกอบการเลือกขนาดเครื่องให้เหมาะสม กล่าวคือ การใช้งานจริงควรจะอยู่ในช่วงประมาณร้อยยละ70-85 ของกำลังผลิตจะได้ประสิทธิภาพที่ดีและสามารถใช้เครื่องปั่นไฟได้คุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

ง. ปล่องเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง (Flare)

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

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

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

รูปที่ 3-34 ปล่องเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง

จ. ส่วนอุปกรณ์หรือพื้นที่อื่นที่มีผลต่อความปลอดภัย

จ-1 ระบบป้ายสัญญาณเตือนเพื่อความปลอดภัยและระบบถังดับเพลิง

ในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพนั้น เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานของพนักงานในหลายจุด ดังนั้นนอกเหนือจากการออกแบบและการดูแลระบบที่เหมาะสมดังที่กล่าวไว้ข้างต้น 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

นอกจากนี้ในบริเวณที่เกี่ยวข้องควรมีการนำอุปกรณ์ดับเพลิงและติดตั้งป้ายถังดับเพลิงให้ทั่วถึง คือติดตั้งเครื่องดับเพลิงแบบมือถือ 1 เครื่องต่อพื้นที่ไม่เกิน 1,000 ตารางเมตร แต่ละถังห่างกันไม่เกิน 20 เมตร สูงจากพื้นไม่เกิน1.5 เมตร ทั้งนี้ให้ยึดกับมาตรฐานการติดตั้งถังดับเพลิง ตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (พ.ศ. 2522) และกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้อง ตาม พรบ. ดังกล่าว (กฎกระทรวงฉบับที่ 33 พ.ศ. 2535 และกฎกระทรวงฉบับที่ 55 พ.ศ. 2543) ลักษณะการติดตั้งถังดับเพลิงใกล้ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 3-35 การติดตั้งถังดับเพลิงใกล้กับถังเก็บก๊าซชีวภาพ

ฉ. อุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้อง

ฉ-1 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ (Biogas analyzer)

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

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

รูปที่ 3-36 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ (Biogas analyzer)

- ต้องสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมงและอ่านค่าได้แม่นยำ
- ต้องมีปั๊มเก็บก๊าซตัวอย่าง ชุดหล่อเย็น ไส้กรองฝุ่นและอุปกรณ์ดักน้ำ
- ต้องสามารถใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์และมีโปรแกรม ประมวลผล
- ต้องสามารถส่งสัญญาณไปเตือนภัยและหยุดการทำงานของหัวทนไฟ
- ต้องสามารถตรวจสอบการทำงานได้เอง(Self - test) และแสดงสัญญาณเตือนในกรณีไม่พร้อมใช้งาน (Error display)

ฉ-2 เครื่องวัดการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ (Biogas leakage detector)

เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจหาการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ ณ จุดต่างๆ เช่น ข้อต่อ หน้าแปลน และผ้าใบเพื่อความปลอดภัย คุณสมบัติของเครื่องวัดควรมีรายละเอียดดังนี้

- ต้องอ่านค่าได้แม่นยำ
- ต้องสามารถปรับเทียบได้เอง(Self -calibrate)
- ต้องสามารถแสดงค่าสูงสุดของการวัด

รูปที่ 3-37 เครื่องวัดการการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ

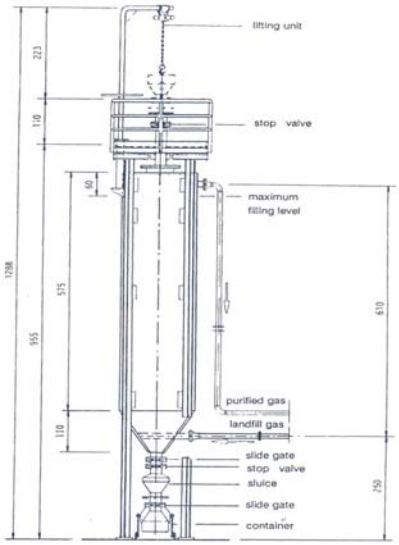
นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอีกหลายชนิดที่นำมาใช้ตรวจวัดก๊าซชีวภาพ

3.5 ส่วนของระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพและกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

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

สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการปรับลดไฮโดรเจนซัลไฟด์นั้น สามารถทำได้ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

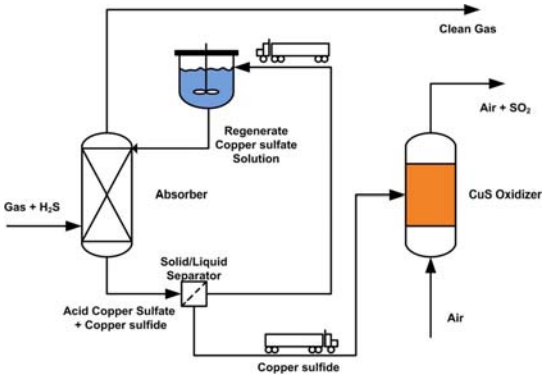
1) การฉีดสารละลายเหล็กออกไซด์ (Iron Oxide Injection) วิธีการนี้จะเป็นการใช้สารละลายเหล็กออกไซด์ฉีดเข้าไปในถังที่มีก๊าซผสมที่มีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่มากโดยตเหล็กออกไซด์เข้าไปทำปฏิกิริยากับ H_2S เกิดเป็นตะกอนของเหล็กขึ้นมา วิธีการนี้จะสามารถลดปริมาณก๊าซ H_2S ได้เป็นจำนวนมาก แต่ก็ยังไม่มากพอที่จะลดปริมาณได้ถึงระดับที่สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ได้



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

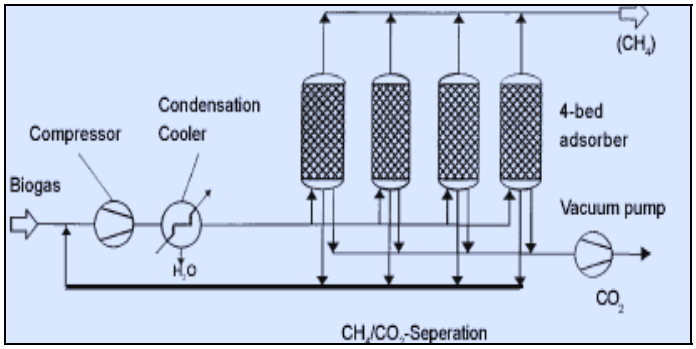
2) **การใช้เบดร่วมกับเหล็กออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ (Iron Oxide or Hydroxide Bed)** วิธีการนี้จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการดักจับ H_2S ของเหล็กออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ด้วยการใช้เบดเข้ามาช่วย โดยสารละลายเหล็กจะเข้าไปเคลือบที่ผิวของเบด ทำให้เกิดการเพิ่มพื้นที่สัมผัสมากขึ้นได้ จากการทดลองกับปริมาณก๊าซ H_2S ที่มีมากถึง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

สำหรับวิธีการรีเจนเนอเรทสารละลายเหล็ก เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่นั้น จะใช้การฉีดพ่นอากาศเข้าไป ซึ่งจากวิธีการนี้พบว่าจะเกิดปัญหาขึ้นได้ กล่าวคือ ปฏิกิริยาการรีเจนเนอเรทสารละลายเหล็กแบบนี้จะเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน จึงต้องใช้ความระมัดระวังในการดำเนินกระบวนการเป็นอย่างมาก



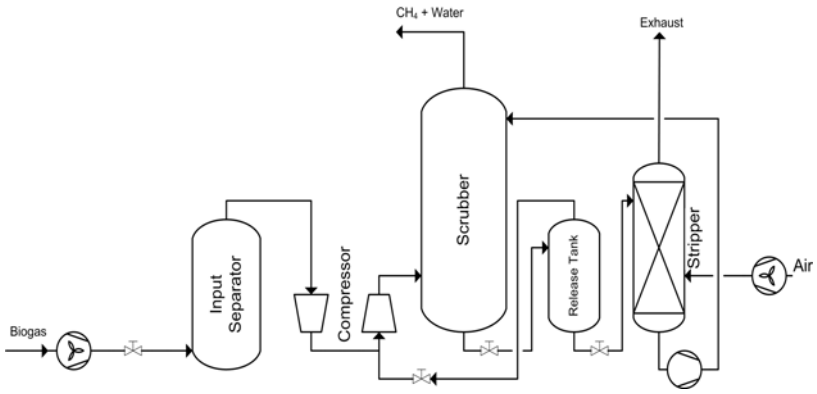
รูปที่ 3-39 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารละลายเหล็ก

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



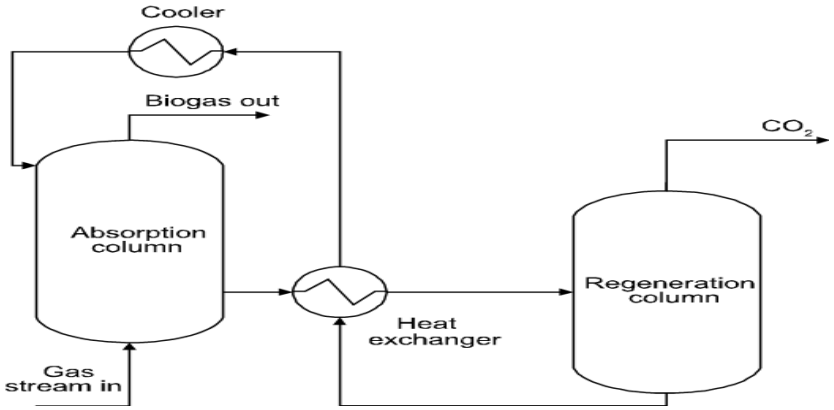
รูปที่ 3-40 กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธี Pressure swing adsorption

4) **Water Scrubbing** เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กำจัดก๊าซไฮโรเจนซัลไฟด์ที่ใช้มาเป็นระยะเวลานานแล้ว หลักการคือ การใช้ละอองน้ำฉีดเป็นฝอยจากยอดหอ เพื่อดักจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้จะทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ก็คือ น้ำที่จับกับก๊าซ H_2S จะกลายเป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งยากต่อการกำจัด เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมสำหรับการกำจัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นด้วย



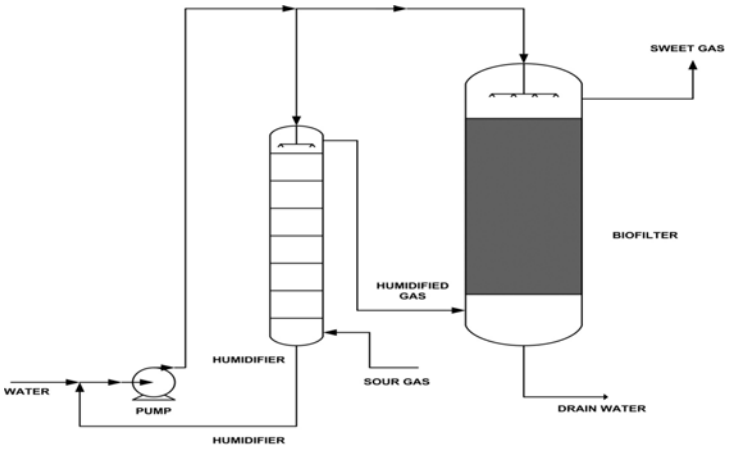
รูปที่ 3-41 ผังกระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยน้ำภายใต้ความดันสูง (High pressure water scrubbing)

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



รูปที่ 3-42 กระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยสาร “Selexol”ภายใต้ความดันสูง

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



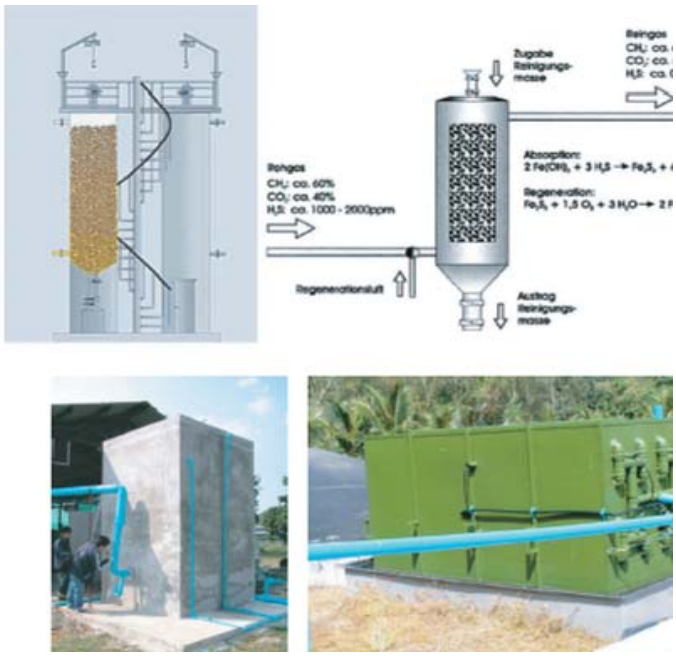
รูปที่ 3-43 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบต่อเนื่องด้วยปฏิกรณ์ชนิด Bio-Filter

การเลือกประเภทชุดกรองก๊าซชีวภาพ

ระบบกำจัดกำมะถันจากก๊าซชีวภาพ (Desulphurization Unit)

ระบบกำจัดกำมะถันหรือระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า(H_2S) ออกจากก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ ก๊าซไข่เน่า (H_2S) นี้จะเป็นสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบก๊าซชีวภาพเกิดความเสียหาย

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



รูปที่ 3-44 ชุดฟอกก๊าซชีวภาพต่าง ๆ

หมายเหตุ : วัสดุที่ใช้ทำชุดฟอกก๊าซหากทำด้วยคอนกรีตหรือก่ออิฐฉาบปูนจะมีอายุการใช้งานสั้น ประมาณ 3-4 ปี ปูนภายในบ่อจะเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว

เอกสารอ้างอิง

1/ " Upgrading biogas to biomethane and other fuel"

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

3/ สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สนับสนุนโดย กองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน

บทที่ 4
การกำหนดบริเวณอันตราย
(Hazardous Zone)

บทที่ 4

การกำหนดบริเวณอันตราย (Hazardous Zone)

4.1 การจำแนกบริเวณอันตราย

การจำแนกบริเวณอันตรายของระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ โดยบริเวณอันตรายของระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพแบ่งออกเป็น 2 โซน ดังนี้

1 **บริเวณอันตราย โซน 0** ได้แก่บริเวณดังต่อไปนี้

ก. สถานที่ซึ่งมีก๊าซอย่างต่อเนื่องและมีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้

ข. สถานที่ซึ่งมีก๊าซตลอดเวลาและมีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้

2 **บริเวณอันตราย โซน 1** ได้แก่บริเวณดังต่อไปนี้

ก. สถานที่ซึ่งในภาวะการทำงานปกติอาจมีก๊าซที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้

ข. สถานที่ซึ่งอาจมีก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดระเบิดได้บ่อยๆ เนื่องจากการซ่อมแซมบำรุงรักษาหรือรั่ว

ค. สถานที่ซึ่งเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหายหรือทำงานผิดพลาดอาจทำให้เกิดก๊าซที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดระเบิดได้และในขณะเดียวกันอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งเป็นสาเหตุให้อุปกรณ์ไฟฟ้าดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดของการระเบิดได้

ง. สถานที่ซึ่งอยู่ใกล้บริเวณอันตรายโซน 0 และอาจได้รับการถ่ายเทก๊าซที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดระเบิดได้ ถ้าไม่มีการป้องกันโดยการระบายอากาศโดยดูดอากาศเข้ามาและมีระบบรักษาความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพ หากระบบระบายอากาศทำงานผิดพลาด

4.2 ระยะห่างของบริเวณอันตรายของระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ

ระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ ต้องมีระยะห่างของบริเวณอันตรายตาม **ตารางที่ 4.1**

ตารางที่ 4.1 ระยะห่างของบริเวณอันตราย

ตำแหน่ง	ขอบเขตระยะห่าง	ประเภทของบริเวณอันตราย
1. บ่อ/ถังผลิต/ถังสำรองหรือบ่อ/บ่อเก็บก๊าซ	ภายในระยะ 7.50 เมตร ทุกทิศทางรอบบริเวณบ่อหมัก/บ่อหมักก๊าซ	โซน 0
2. ปลายท่อของชุดควบคุมแรงดัน	ก. ภายในเส้นทางที่ก๊าซผ่าน ข. ภายในระยะ 1.50 เมตร ทุกทิศทางจากจุดที่ระบายก๊าซ ค. ภายในระยะ 1.50 เมตรขึ้นไปถึง 4.00 เมตร ในแนวตั้งเหนือระดับ	โซน 0 โซน 0 โซน 1
3. เครื่องสูบอัดก๊าซชีวภาพ (ในอาคาร)	ก. ภายในห้องที่มีเครื่องดังกล่าว ข. ภายในระยะ 5.00 เมตร ภายนอกห้องที่มีเครื่องดังกล่าวหรือภายในระยะ 5.00 เมตรของช่องเปิดภายนอกใดๆ	โซน 0 โซน 1
4. ระบบท่อส่งก๊าซ	ภายในระยะ 1.50 เมตร ทุกทิศทาง	โซน 1
5. จุดนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	ก. ภายในระยะ 1.50 เมตร ทุกทิศทางจากจุดที่มีการนำก๊าซชีวภาพใช้ประโยชน์	โซน 1

4.3 ระบบไฟฟ้า เครื่องไฟฟ้า อุปกรณ์ ที่ใช้ในบริเวณอันตรายในระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ

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

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

4.4 บริเวณเขตอันตรายสำหรับระบบก๊าซชีวภาพในหลุมฝังกลบขยะ

การดำเนินโครงการด้านก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมีความเป็นอันตรายมากกว่าระบบก๊าซชีวภาพประเภทอื่น เนื่องจากสภาพพื้นที่การทำงานที่เสี่ยงต่ออันตรายมากกว่าพื้นดินปกติ ในการออกแบบด้านความปลอดภัยนั้น จำเป็นต้องทราบถึงสภาวะเสี่ยงอันตรายต่างๆ ทั้งนี้แต่ละโครงการควรได้รับการออกแบบให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ เพื่อประโยชน์ในการใช้งานและมีความปลอดภัยสูงสุด ดังนี้

4.4.1 อันตรายจากสภาพการทำงานบนกองขยะ

ระบบก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบต้องมีการก่อสร้างระบบท่อรวบรวมก๊าซบนหลุมฝังกลบ ซึ่งส่วนมากยังไม่มีการปิดทับด้วยดิน หรือหากมี ในขั้นตอนการก่อสร้างก็มักจะต้องมีการเปิดหน้าดิน หรือขุดหลุมบนกองขยะทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องทำงานอยู่บนขยะ และอยู่ใกล้กับเครื่องจักรกลหนักตลอดเวลา จึงควรระวังอันตรายดังต่อไปนี้

(1) **<u>อันตรายจากการใช้เครื่องจักรกลหนัก</u>** ตามปกติเมื่อต้องทำงานกับเครื่องจักรกลผู้ปฏิบัติงานต้องปฏิบัติตามมาตรฐานความปลอดภัยอยู่แล้ว แต่การปฏิบัติงานบนกองขยะต้องเพิ่มความระมัดระวังมากขึ้นเพราะสภาพบนกองขยะมีการทรุดตัวมากกว่าพื้นดินปกติ เช่นการใช้รถเครน อาจต้องเพิ่มขนาดของแผ่นฐานรองขาเครนให้มีขนาดใหญ่กว่าปกติ นอกจากนี้มักเกิดปัญหาการคุมงานไม่ทั่วถึง เพราะผู้คุมงานระดับสูงมักหลีกเลี่ยงการลงพื้นที่หน้างาน

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

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

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

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

4.4.2 อันตรายจากก๊าซชีวภาพ

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

- ***อันตรายในด้านความเป็นพิษต่อสุขภาพเนื่องจากการสูดดมก๊าซโดยตรง*** โดยทั่วไปก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะปกติมักไม่มีปริมาณก๊าซพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายแบบเฉียบพลันสูงถึงในระดับที่เป็นอันตรายเมื่อสูดดมเข้าไปโดยตรง ส่วนมากอันตรายมักเกิดจากการเข้าไปทำงานในสถานที่อับอากาศและอาจมีอาการแสบตา น้ำตาไหลเนื่องจากถูกก๊าซรมเป็นเวลานาน ซึ่งในกรณีหลังนี้สามารถป้องกันได้โดยการสวมแว่นตาสำหรับว่ายน้ำขณะปฏิบัติงาน

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

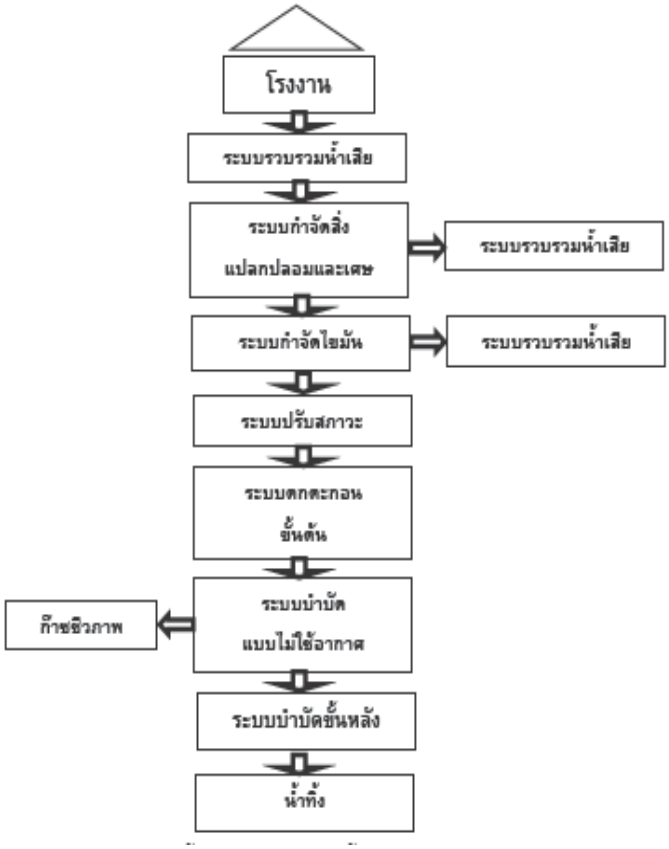
- ***อันตรายจากการระเบิดเนื่องจากการติดไฟแล้วลุกไหม้หรือระเบิด*** การที่มีก๊าซมีเทนที่มีคุณสมบัติติดไฟได้เป็นส่วนประกอบหลักในก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะทำให้มีโอกาสเกิดอันตราย 2 รูปแบบคือ

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

บทที่ 5
การตรวจสอบและบำรุงรักษา ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย อุตสาหกรรมและชุมชน

บทที่ 5
การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมและขยะชุมชน

การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปใช้เป็นพลังงานทดแทน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมการทำงานของระบบให้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ ดังนั้นต้องมีการรักษาและตรวจสอบการทำงานของหน่วยบำบัดย่อยต่างๆให้ทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต้องมีการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ อยู่อย่างสม่ำเสมอทั้งนี้รายละเอียดของหน่วยย่อยต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศสามารถเขียนได้ดังแสดงใน**รูปที่ 5-1** ซึ่งจะแยกองค์ประกอบของระบบเป็นสองกลุ่มคือหน่วยบำบัดทั่วไป กับหน่วยบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพ หน่วยบำบัดทั่วไปคือระบบบำบัดน้ำเสียในส่วนที่ไม่ก่อให้เกิดกระบวนการหมักและผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ระบบรวบรวมน้ำเสีย ระบบถังตกตะกอนขั้นต้น ระบบบำบัดขั้นหลัง เป็นต้น ส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพคือส่วนของกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศซึ่งมีการสร้างก๊าซชีวภาพ



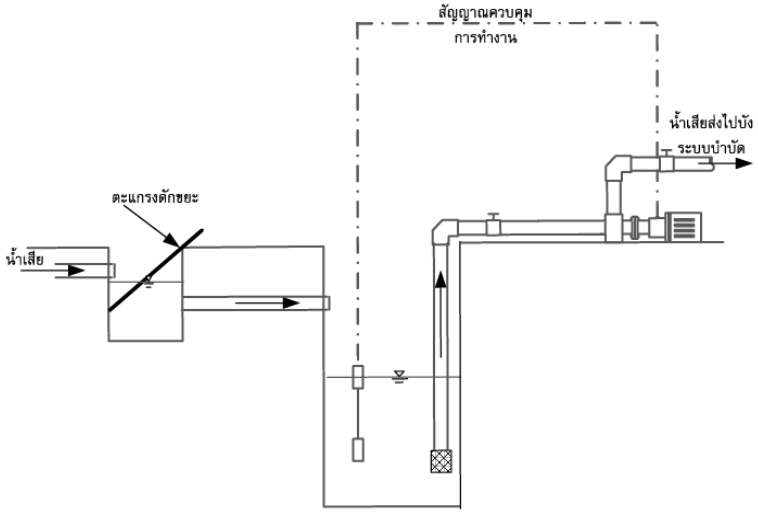
รูปที่ 5-1 ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

5.1 ระบบบำบัดน้ำเสียและระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

- **ระบบรวบรวมน้ำเสีย**

เป็นระบบที่ทำการรวบรวมน้ำเสียจากส่วนต่างๆของโรงงานมายังระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งอาจใช้การไหลในรางระบายน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity flow) แล้วติดตั้งเครื่องสูบน้ำ เพื่อสูบน้ำเสียมายังระบบบำบัดน้ำเสียดังแสดงใน**รูปที่ 5-2** โดยเครื่องสูบน้ำเสียซึ่งทำหน้าที่รวบรวมน้ำเสียจากจุดต่างๆภายในโรงงานสามารถเลือกใช้ได้ทั้งแบบหอยโข่ง (Centrifugal) หรือแบบจุ่ม (Submersible) ซึ่งทั่วไปจะควบคุมการทำงานด้วยลูกลอย หรืออาจใช้แท่งอิเล็กโทรด ดัง**รูปที่ 5-3**

รูปที่ 5-2 บ่อสูบน้ำเสียและเครื่องสูบน้ำ



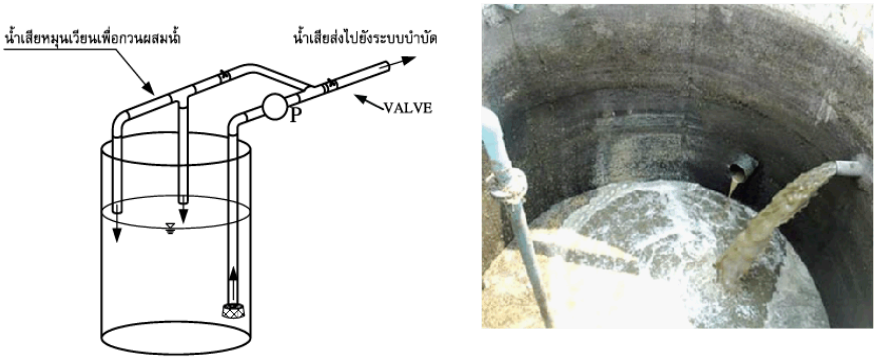
รูปที่ 5-3 รายละเอียดของส่วนประกอบในระบบบ่อรวบรวมน้ำเสีย

การบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำ

1. ในกรณีที่บ่อสูบน้ำเสียขนาดไม่ใหญ่นัก เครื่องสูบน้ำจะทำงานไม่ต่อเนื่อง การทำงานจะสั่งการโดยลูกลอยในบ่อสูบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหมั่นตรวจสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีที่น้ำเสียเข้าบ่อน้ำเสียมีปริมาณที่สูง อาจมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำมากกว่า 1 ตัว นอกจากนี้ควรจะติดตั้งเครื่องสูบน้ำ รองไว้ในกรณีที่มีการเสียหายของเครื่องสูบน้ำหลัก

2. ในกรณีที่บ่อสูบมีขนาดใหญ่มีพื้นที่หน้าตัดมาก น้ำในบริเวณผิวน้ำในบ่อสูบจะค่อนข้างที่จะนิ่งเกิดการสะสมของชั้นไขมันขึ้น ดังนั้นจะต้องมีการติดตั้งชุดกวนน้ำเพื่อให้น้ำมีการผสมกัน ไม่เกิดการตกตะกอนในบ่อสูบ โดยชุดกวนน้ำที่ใช้อาจเป็นใบกวนในกรณีที่พื้นที่บ่อสูบกว้างมาก แต่ที่นิยมใช้ในกรณีที่บ่อสูบมีพื้นที่กว้างไม่มากนัก คือการหมุนเวียนน้ำเสียกลับมาฉีดลงสู่ผิวน้ำในบ่อสูบดัง**รูปที่ 5-4**

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



รูปที่ 5-4 วิธีการหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อกวนผสมในบ่อสูบ

ในกรณีที่น้ำเสียมีสารแขวนลอยสูง ดังตัวอย่างใน**รูปที่ 5-5** ซึ่งเป็นรางรวบรวมน้ำเสียและบ่อสูบน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำเสียจะมีปริมาณของแป้งหลุดออกมาเป็นปริมาณมาก ซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมแป้งในบ่อสูบ การดูแลรักษาระบบจำเป็นที่จะต้องเพิ่มการสูบตะกอนแป้งที่สะสมในระบบออกดัง **รูปที่ 5-6** ซึ่งแป้งที่ได้สามารถนำไปขายเพื่อเป็นอาหารสัตว์ได้

รูปที่ 5-5 ระบบรวบรวมน้ำเสีย

รูปที่ 5-6 ตะกอนแป้งในบ่อสูบที่สามารถตักรวบรวมได้

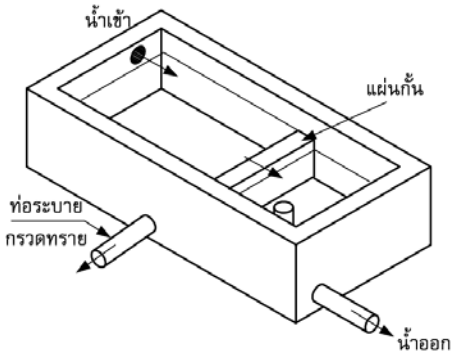
นอกเหนือจากการดูแลเรื่องอุปกรณ์ในการสูบน้ำเสีย ระบบรางหรือท่อรวบรวมน้ำเสียก็มีความสำคัญเช่นกันโดยการออกแบบระบบที่ดีนั้นจะต้องไม่มีการปะปนระหว่างน้ำเสียกับน้ำฝน น้ำเสียที่เข้ามาสู่ระบบจะต้องเป็นน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่ตรวจสอบได้ ไม่ปะปนกับน้ำเสียที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย เนื่องจากในบางอุตสาหกรรมมีกระบวนการผลิตที่ใช้สารเคมีบางชนิด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

- **ระบบกำจัดสิ่งแปลกปลอม**

บางครั้งในน้ำเสียอาจมีเศษขยะชิ้นส่วนของวัตถุดิบที่หลุดหรือทิ้งมาจากกระบวนการผลิต ขยะ กรวด ทราย ปนเข้ามาได้ ระบบกำจัดสิ่งแปลกปลอมจะมีหน้าที่ ในการกำจัดเศษขยะเหล่านี้ โดยจะเป็นระบบการตกตะกอน กรวด ทราย การใช้ตะแกรงหยาบและละเอียด เป็นต้น

ตัวอย่างของระบบกำจัดสิ่งแปลกปลอมในระบบก๊าซชีวภาพที่สำคัญมีดังนี้

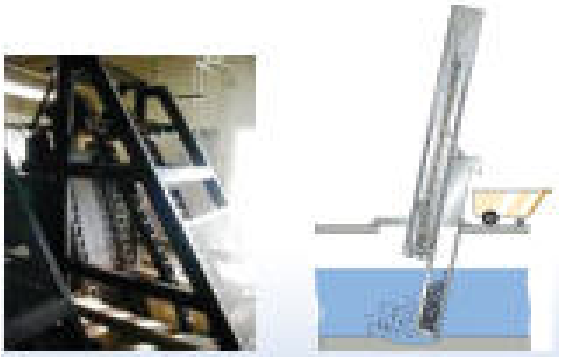
1. บ่อดักกรวดทราย มักเป็นหน่วยบำบัดน้ำเสียหน่วยแรกที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ซึ่งจะทำหน้าที่ในการดักอนุภาคขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนได้ง่าย เช่น เศษกรวด ทราย เป็นต้น ตะกอนที่ตกตะกอนอยู่ก้นรางจะทำการระบายทางท่อระบายตะกอนด้านล่างของราง รูปแบบของบ่อดักทรายอย่างง่ายแสดงได้ดัง**รูปที่ 5-7**



รูปที่ 5-7 บ่อดักกรวดทราย

การดูแลระบบดักกรวดทราย ต้องมีการหมั่นตรวจสอบคือปริมาณทรายที่สะสมอยู่ในรางดักทราย ถ้าหากมีปริมาณมากต้องมีการระบายทิ้ง เพื่อป้องกันไม่ให้ทรายหลุดไปยังหน่วยบำบัดลำดับต่อไป โดยทั่วไปน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมไม่ค่อยมีกรวดทรายในปริมาณที่สูง การใช้รางดักกรวดทรายชนิดที่ต้องระบายตะกอนทรายโดยอาศัย แรงงานคนจึงเป็นที่นิยมมากกว่า โดยความถี่ของการระบายตะกอนจะขึ้นกับปริมาณทรายที่มีอยู่ในน้ำ

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



รูปที่ 5-8 ตะแกรงหยาบแบบซี่ทำงานโดยใช้ระบบอัตโนมัติ

ส่วนตะแกรงละเอียด (Fine Screen) จะมีขนาดช่องเปิดเล็กกว่าตะแกรงหยาบ โดยจะมีขนาดรูเปิดต่ำกว่า 1 มม. มักใช้งานในสองลักษณะคือ ใช้กำจัดกรวดทรายแทนถังตกตะกอนขั้นแรกที่นิยมใช้ได้แก่ แบบ Inclined Screen และ Rotary Drum screen ดัง**รูปที่ 5-9** และ **รูปที่ 5-10** ตามลำดับโดยสามารถแยกขยะและสิ่งแปลกปลอมออกได้ประมาณ 80-90% แยกของแข็งแขวนลอยได้15-30% และยังใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถังตกตะกอนขั้นแรก โดยจะใช้ตะแกรงละเอียดบำบัดน้ำเสียก่อนส่งไปยังถังตกตะกอนขั้นแรก ในกรณีที่ระบบมีการทำงานเกินกำลังและ มีอัตราภาระบรรทุกของแข็งหรืออัตราการไหลล้นผิวสูงเกินกว่าที่ได้ออกแบบ

รูปที่ 5-9 ตะแกรงละเอียดแบบ Static Screen

รูปที่ 5-10 ตะแกรงละเอียดแบบ Rotary Drum Screen

การดูแลตะแกรงดักขยะ

ให้หมั่นตรวจดูการสะสมของขยะที่ค้างอยู่บนตัวตะแกรง หากเป็นตะแกรงแบบที่ต้องใช้คนในการทำความสะอาด ต้องมีการดูแลอย่างใกล้ชิด ไม่ควรให้เศษขยะต่างๆ ค้างบนตะแกรงมากเกินไป เนื่องจากจะทำให้เกิดการอุดตันของตะแกรงได้ หากเป็นตะแกรงแบบอัตโนมัติ ควรหมั่นดูแลอุปกรณ์จำพวกมอเตอร์และเฟืองต่างๆ อยู่เสมอ ตะแกรงดักขยะที่เป็นตะแกรงสเตนเลสจะไม่ค่อยมีปัญหาเกี่ยวกับการเป็นสนิมและการสึกกร่อน สำหรับขยะที่ได้จากการดักขยะและกรวดทราย จะเก็บบรรจุใส่ถุงเพื่อรอการนำไปกำจัดต่อไป ดังนั้นในระบบบำบัดแบบอัตโนมัติ ดัง **รูปที่ 5-11** จึงควรมีการตรวจสอบและเปลี่ยนถุงบรรจุเป็นปะจำเพื่อป้องกันการล้นของขยะ

รูปที่ 5-11 การรวบรวมขยะจากตะแกรงดักขยะแบบ rotary Drum Screen

- **ระบบกำจัดไขมัน**

ในน้ำเสียอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอาหารหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับเนื้อสัตว์จะมีไขมันปนอยู่ในน้ำเสีย จึงต้องมีการสร้างบ่อดักไขมันเพื่อทำหน้าที่แยกน้ำมัน หรือไขมันออกจากน้ำเสีย หลักการทำงานของบ่อดักไขมันจะใช้เป็นถังพักน้ำ เพื่อให้น้ำมีความเร็วในการไหลที่ช้า เพียงพอที่จะให้ไขมันที่อยู่ในน้ำ มีเวลาในการลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ จากนั้น จึงทำการรวบรวมไขมันที่ลอยขึ้นไปกำจัด โดยจะออกแบบได้ทั้งเป็นแบบถังกลมและถังเหลี่ยม

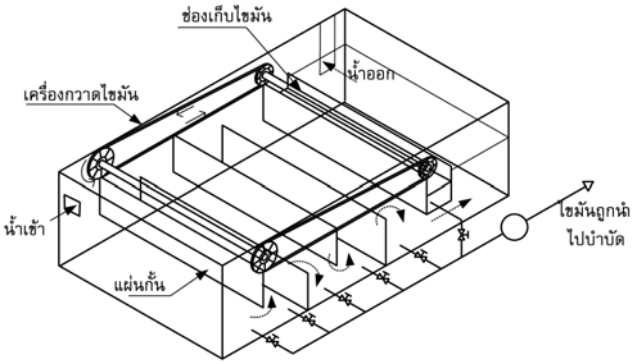
นอกจากระบบบ่อดักไขมันที่ให้เกิดไขมันลอยขึ้นสู่ผิวน้ำเอง จะใช้วิธีการเติมสารเคมี และอากาศเข้าไปกับน้ำเสียเพื่อไล่ไขมันให้ลอยขึ้นมาเร็วขึ้น ซึ่งจะเรียกระบบนี้กว่าระบบ Dissolved-Air floatation (DAF) ทั้งนี้ลักษณะการ

ไหลของน้ำและองค์ประกอบของบ่อดักไขมันแสดงได้ดัง **รูปที่ 5-12** ส่วนการทำงานของถัง Dissolved-Air floatation แสดงใน**รูปที่ 5-13**

การดูแลระบบกำจัดไขมัน

โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ต้องดูแลเป็นพิเศษในบ่อดักไขมัน ได้แก่เครื่องกวาดไขมัน และเครื่องสูบไขมัน ทั้งนี้ใบกวาดไขมันเป็นส่วนที่ต้องดูแลเป็นประจำ เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ต้องเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาการใส่น้ำมันล่อลื่นเพื่อให้การเคลื่อนที่ของเฟืองและโซ่ไม่ติดขัดควรทำอย่างเสมอตามตารางการบำรุงรักษา นอกจากนี้ยังต้องตรวจดูประสิทธิภาพในการกวาดไขมันของใบกวาด เนื่องจากต้องใช้งานเป็นเวลานาน มักเกิดการเกาะสะสมของไขมันบนใบกวาด ทำให้ประสิทธิภาพการกวาดไขมันก็จะลดลง

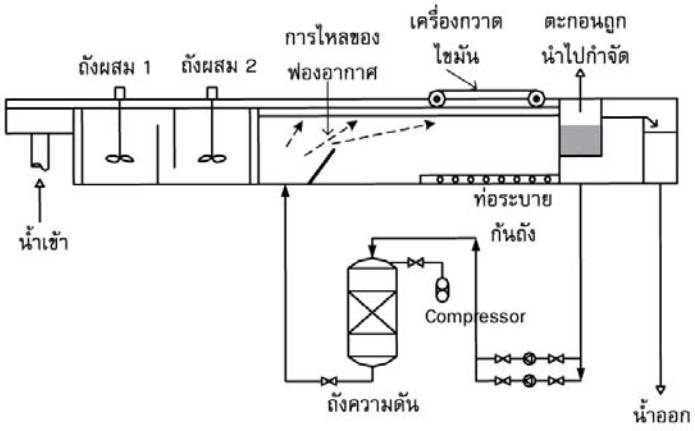
นอกเหนือจากหน้าที่ในการกำจัดน้ำมันหรือไขมันแล้ว ที่กันของบ่อดักไขมันก็จะเกิดการตกตะกอนได้ ดังนั้นควรมีวาล์วเพื่อระบายตะกอน และทำหน้าที่เป็นวาล์วระบายน้ำในกรณีที่ต้องทำการล้างและทำความสะอาดบ่อ



รูปที่ 5-12 ระบบดักไขมัน

โดยทั่วไปการทำงานของเครื่องสูบไขมันจะเป็นการสั่งงานโดยใช้แท่งอิเลคโทรดเพื่อวัดระดับของไขมันในบ่อพักไขมัน ดังนั้นควรมีการตรวจสอบความถูกต้องในการส่งสัญญาณระหว่างอิเลคโทรดและเครื่องสูบไขมัน หากปริมาณไขมันที่จะต้องสูบในแต่ละวันมีปริมาณน้อย เครื่องสูบไขมันอาจมีการติดตั้งเพียงชุดเดียวแต่ควรมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาอยู่อย่างเสมอ เนื่องจากหากเครื่องสูบไขมันทำงานไม่เป็นปกติ จะทำให้เกิดปัญหาขึ้น ทำให้เกิดการสะสมของไขมันในบ่อพักไขมัน และเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในกรณีที่เครื่องสูบไขมัน เสีย บ่อดักไขมันควรติดตั้งจุดระบายไขมันฉุกเฉิน เพื่อให้รถดูดสิ่งปฏิกูลสามารถเข้ามาดูดไขมันออกไปทิ้งได้

ส่วนกรณีที่ใช้ระบบ DAF ในการกำจัดไขมัน ต้องดูแลเครื่องเติมสารเคมีและเครื่องเติมอากาศ (Air Blower) และเพิ่มการดูแลอุปกรณ์ที่ต้องรับแรงดันต่างๆ ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมทำงานอยู่เสมอ



รูปที่ 5-13 ระบบ Dissolved-Air Floatation

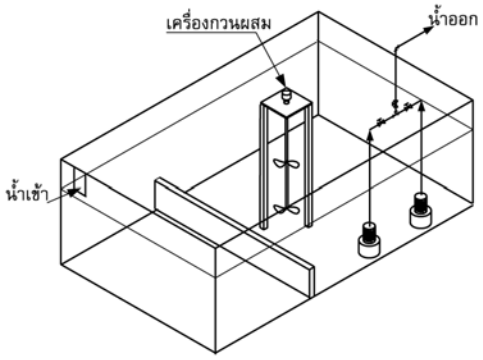
บ่อปรับสภาพหรือบ่อปรับสมดุล (Equalization Tank, EQ Tank)

การปรับสภาพของน้ำเสียมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมให้อัตราการไหลและความเข้มข้นของน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบคงที่และสม่ำเสมอมากที่สุด โดยลักษณะของบ่อปรับสภาพจะมีลักษณะเป็นบ่อกักหรือบ่อพักน้ำ สำหรับปริมาตรของบ่อปรับสภาพจะขึ้นอยู่อัตราการไหลของน้ำเสียและความผันผวนของอัตราการไหล หากระบบมีความผันผวนมาก ขนาดของบ่อปรับสภาพจะมีขนาดใหญ่มากกว่าในระบบที่มีความผันผวนน้อย

นอกจากนี้ภายในบ่อปรับสภาพมีการใช้เครื่องมือกลช่วยในการทำให้เกิดการผสมของน้ำภายในบ่อ เพื่อให้ความเข้มข้นของน้ำเสียมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้เป็นเครื่องกวนน้ำแบบ Jet Aerator ดังรูปที่ 5-14 และ 5-15 รูปแบบของบ่อปรับสภาพอาจแบ่งออกได้ด้วยกันสองแบบใหญ่ ๆได้แก่

- แบบที่มีระดับน้ำภายในบ่อคงที่ อัตราการไหลของน้ำที่ออกจากบ่อจะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้ามาสู่บ่อดังนั้นในกรณีนี้บ่อปรับสภาพจะมีหน้าที่ในการปรับค่าความเข้มข้นของสารในน้ำเสียมากกว่าใช้ควบคุมอัตราการไหล ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมน้ำออกจากบ่อ ส่วนใหญ่เป็นแบบเวียร์รับน้ำล้น

- แบบที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในบ่อ มีวัตถุประสงค์ทั้งในการปรับอัตราการไหลให้คงที่และปรับความเข้มข้นของสารต่าง ๆในน้ำเสียด้วย โดยอุปกรณ์ที่ควบคุมอัตราการไหลจะเป็นเครื่องสูบน้ำ



รูปที่ 5-14 แบบเครื่องกวนน้ำผสม

รูปที่ 5-15 การกวนผสมน้ำเสียภายในบ่อปรับสภาพ

การดูแลบ่อปรับสภาพ

เป็นการดูแลรักษาทั่วไป เนื่องจากมีลักษณะเป็นบ่อเก็บน้ำไม่มีเครื่องมือกลใดๆเข้ามาเกี่ยวข้อง ยกเว้นอาจมีเครื่องผสมน้ำ และเครื่องสูบน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง การดูแลรักษาจึงเป็นการดูแลเกี่ยวกับเครื่องกลที่ใช้ในการผสมน้ำและเครื่องสูบน้ำที่จะส่งต่อไปยังหน่วยบำบัดถัดไป

บ่อปรับสภาพที่นิยมใช้กันจะใช้เครื่องสูบน้ำในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียเพื่อให้สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นต่อไป ผู้ดูแลระบบจำเป็นที่จะต้องคอยสังเกตความสม่ำเสมอของลักษณะของน้ำออกจากบ่อปรับสภาพ หากคุณลักษณะของน้ำที่ผ่านบ่อปรับสภาพไม่สม่ำเสมอแสดงว่าปริมาตรของบ่อปรับสภาพหรือลักษณะการไหลของน้ำเสียในบ่อปรับสภาพไม่เหมาะสมทำให้การผสมกันของน้ำเสียเข้ามาใหม่และน้ำเสียเก่าภายในบ่อไม่ดีพอ น้ำเสียที่เข้ามาใหม่สามารถไหลออกจากบ่อปรับสภาพไปได้ง่าย ส่งผลให้ลักษณะของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงสูง แต่หากอัตราการไหลของน้ำเสียที่ไปยังหน่วยบำบัดต่อไปไม่สม่ำเสมอแสดงว่ามีปัญหาที่การทำงานของเครื่องสูบน้ำ หรือเกิดการตกตะกอนที่ก้นบ่อ

ในบ่อปรับสภาพที่มีขนาดที่ใหญ่มักมีการตกตะกอนของแข็งในบ่อ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการขุดลอก ทำความสะอาดอย่างน้อยปีละหนึ่งหรือสองครั้ง หรือตามปริมาณตะกอนที่สะสมในบ่อ ซึ่งความถี่ในการขุดลอกขึ้นอยู่กับปริมาณสารแขวนลอย ตะกอน หรือสิ่งแปลกปลอมเจือปนที่มากับน้ำเสีย

- **ระบบตกตะกอนขั้นต้น**

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

อาหารสัตว์ หรือในกรณีที่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพยังสามารถรับสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นได้ ก็จะนำตะกอนส่วนนี้ไปหมักและทำให้เกิดกระบวนการสร้างกรด เพื่อย่อยสลายโมเลกุลให้มีขนาดเล็กลงแล้วจ่ายเข้าสู่ระบบก๊าซชีวภาพ แต่หากตะกอนที่ได้มีปริมาณน้อยจะทำการต่อท่อระบายไปยังถังทำข้น (Sludge Thickener) แล้วจึงนำเข้าไปถังย่อยสลายตะกอน (Sludge Digester) ต่อไป

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียยังมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากขั้นตอนนี้ยังไม่มีการเติมสารเคมีหรือย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย รูปแบบของถังตกตะกอนจะสอดคล้องกับลักษณะของสารแขวนลอยในน้ำเสียและพื้นที่ที่ใช้ในการก่อสร้าง สำหรับ**รูปที่ 5-16** ในรูป A เป็นถังตกตะกอนแบบมี Plate Settle ที่ใช้โรงงานผลิตปลากระป๋อง ส่วนรูป B เป็นถังตกตะกอนในโรงงานผลิตแป้ง ซึ่งนอกจากชนิดบ่อตกตะกอนทั้งสองแบบแล้ว

พบว่ามีการใช้บ่อดินดาดคอนกรีตเพื่อตกตะกอนและมีการทำทางลาดเพื่อให้รถตักสามารถลงไปตักตะกอนขึ้นมาทิ้งได้ ในกรณีที่น้ำเสียมีตะกอนของแข็งแขวนลอยจำพวกดินและทรายอยู่จำนวนมาก เช่น ในโรงงานแป้งมันสำปะหลังเป็นต้น

A-ถังแบบมีแผ่นเอียงช่วยตกตะกอน B-ถังแบบถังกลม

รูปที่ 5-16 ถังตกตะกอนขั้นต้น

การดูแลระบบถังตกตะกอน

ควรมีการระบายตะกอนออกอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนสะสมอยู่ในปริมาณที่มากจนเกินไปซึ่งหากตะกอนสะสมอยู่ในปริมาณที่มากจนเกินไปจะทำให้สารแขวนลอยหลุดออกไปกับน้ำออกส่งผลให้ระบบบำบัดขั้นหลังรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ปริมาณสูงขึ้น สำหรับระบบที่มีการใช้ Plate Settle ควรตรวจสอบมุมของการวางตัวของแผ่นเอียง (Plate) ให้ทำมุมตามที่มีการออกแบบไว้หรือไม่ เพราะการมีตะกอนสะสมบนแผ่น Plate มากเกินไปทำให้กดแผ่น Plate ทำมุมผิดไป ดังนั้นประสิทธิภาพของถังกรองจึงลดลง

➢ **ระบบบำบัดขั้นหลัง**

เป็นส่วนของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดไม่ใช้อากาศ เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะยังคงมีค่าบีโอดีและซีโอดีสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นจึงต้องทำการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำ โดยเลือกใช้ระบบบ่อเติมอากาศแบบตะกอนเร่ง หรือสำหรับโรงงานที่มีพื้นที่จำนวนมาก จะใช้ระบบบำบัดขั้นหลังแบบบึงประดิษฐ์และบ่อผึ่งแสดงได้ดัง**รูปที่ 5-17** โดยน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบบ่อไม่ใช้อากาศ จากนั้นจึงจะไหลต่อไปยังบ่อเติมอากาศและบึงประดิษฐ์ก่อนที่จะปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

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

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

บ่อไม่ใช้อากาศ
(Anaerobic Pond)

บ่อเติมอากาศ
(Aerobic Pond)

บึงประดิษฐ์
(Wetland)

รูปที่ 5-17 ระบบบ่อเติมอากาศและบ่อผึ่ง

รูปที่ 5-18 ระบบบำบัดขั้นหลังแบบตะกอนเร่ง

เนื่องจากระบบบำบัดขั้นหลังสามารถเลือกใช้ได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับพื้นที่และความต้องการของเจ้าของกิจการดังนั้นการดูแลรักษาระบบจึงแตกต่างกันไป ในกรณีที่ระบบบำบัดขั้นหลังเป็นแบบบ่อผึ่งรวมกับบึงประดิษฐ์ การดูแลรักษาจะทำได้ง่ายกว่ากรณีของระบบตะกอนเร่ง เนื่องจากไม่ต้องการเครื่องมือกลในการควบคุมการทำงานของระบบหากการออกแบบระบบดังกล่าวมีพื้นที่และความจุของบ่อเพียงพอ ตลอดจนไม่จ่ายน้ำเสียในปริมาณที่เกินขีดความสามารถของระบบ น้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการในการดูแลระบบบึงประดิษฐ์ ผู้ดูแลจำเป็นต้องดูแลและเก็บเกี่ยวพืชน้ำไม่ให้มีปริมาณที่มากหรือน้อยเกินไป เพราะหากพืชน้ำมีมาก ทำให้ระบบเกิดการขาดออกซิเจนในช่วงเวลากลางคืน แต่ถ้ามีปริมาณพืชน้ำน้อยเกินไปประสิทธิภาพในการบำบัดก็จะลดลง

- **ระบบกำจัดตะกอน**

วัตถุประสงค์ของระบบกำจัดตะกอนเพื่อลดปริมาตรและเพื่อสะดวกในการขนย้ายหรือกำจัดตะกอน โดยตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบ่งออกได้เป็นสามส่วนได้แก่ ตะกอนจากระบบตกตะกอนขั้นแรก ตะกอนจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ และตะกอนจากระบบบำบัดขั้นหลัง ซึ่งปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นแต่ละส่วนขึ้นอยู่กับชนิดของหน่วยบำบัดที่ใช้ เมื่อพิจารณาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นทั้งสามขั้นตอน พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีปริมาณการเกิดขึ้นต่อวันน้อย และนิยมหมุนเวียนตะกอนกลับเข้าไปในระบบ ยกเว้นตะกอนที่หลุดออกมากับน้ำออกหรือเมื่อเดินระบบไปเป็นเวลานานและมีการสะสมของตะกอนมาก จึงมีการกำจัดเป็นครั้งคราว

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

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

รูปที่ 5-19 ถังทำข้นแบบต่างๆ (Sludge Thickener)

เมื่อผ่านระบบการทำตะกอนให้ข้น ตะกอนจะถูกสูบไปยังถังย่อยตะกอนเพื่อลดปริมาณตะกอนและทำให้ตะกอนอยู่ในสภาวะที่เสถียรไม่เกิดการย่อยสลายต่อไป แล้วจึงนำตะกอนดังกล่าวไปรีดน้ำออกหรือทำให้ตะกอนแห้ง ทั้งนี้ถังย่อยตะกอนนอกจากจะทำให้ตะกอนที่ได้มีปริมาณลดลงแล้วยังใช้เป็นถังเก็บตะกอนสำรอง ซึ่งจะใช้ในกรณีที่ระบบหมักแบบไม่ใช้อากาศมีปัญหาเนื่องจากตะกอนในระบบลดลง จะทำการดึงตะกอนจากระบบย่อยตะกอนไปเติม เนื่องจากในถังหมักย่อยตะกอนมีสภาพเป็นถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ ลักษณะของถังหมักย่อยตะกอนมีลักษณะดัง **รูปที่ 5-20** โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ในการกวนผสมในถัง เพื่อให้เกิดการย่อยสลายที่เร็วขึ้น

รูปที่ 5-20 ระบบย่อยตะกอน (Sludge Digester)

การทำให้ตะกอนแห้ง (Dewatering)

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

ในกรณีที่โรงงานมีพื้นที่มากเพียงพอ การบำบัดตะกอนควรเป็นเพียงลานตากตะกอน ดังแสดงใน**รูปที่ 5-22**

รูปที่ 5-21 ระบบรีดตะกอน

รูปที่ 5-22 ลานตากตะกอน

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

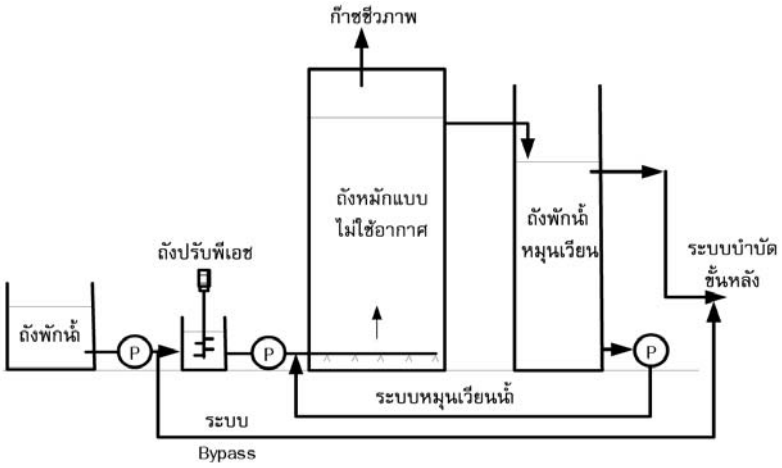
5.2 ถังปฏิกรณ์และบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสียหลักที่ใช้ในการผลิตก๊าซ ซึ่งรูปแบบของระบบบำบัดมีได้หลากหลาย ทั้งแบบเป็นเชื้อแบคทีเรียแขวนลอยในระบบ เช่น ถังหมักแบบกวนสมบูรณ์ หรือชนิดแบคทีเรียเกาะ

กับตัวกลาง เช่น ถังกรองไม่ใช้อากาศ รวมไปถึงแบบผสม เช่น ยูเอเอสบี เป็นต้น สำหรับการการเลือกใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศชนิดใดนั้น จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยจะพิจารณาจากปริมาณน้ำเสีย ความเข้มข้นสารอินทรีย์ สารเคมีที่ต้องเติม ความเหมาะสมกับพื้นที่และระบบเดิม แนวท่อรวบรวมน้ำเสีย ค่าก่อสร้างและเงินลงทุน รวมถึงค่าดำเนินการ ค่าซ่อมบำรุง และความพร้อมของบุคลากร สำหรับในส่วนของหน่วยบำบัดที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการดูแลของระบบยูเอเอสบีและระบบถังกรองโดยไม่ใช้อากาศแบบไหลขึ้นเนื่องจากเป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย

โดยทั่วไปหน่วยบำบัดย่อยในระบบยูเอเอสบีและระบบถังกรองไม่ใช้อากาศจะมีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกันซึ่งจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักดัง**รูปที่ 5-23** และมีรายละเอียดดังนี้

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



รูปที่ 5-23 หน่วยบำบัดที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิตก๊าซชีภาพ

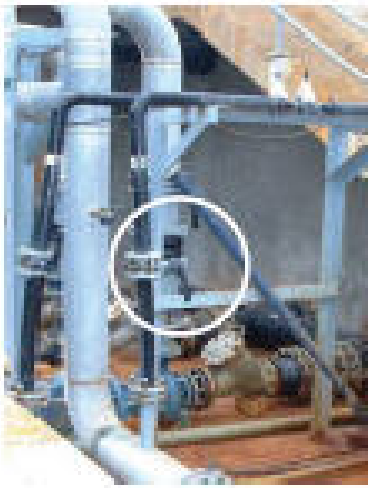
บ่อพักน้ำ เป็นถังที่รับน้ำที่ได้จากระบบบำบัดขั้นต้น น้ำเสียจะถูกสูบส่งต่อไปยังระบบบำบัดขั้นต่อไปได้จึงมีปริมาตรไม่มากนัก ปกติจะให้มีเวลากักเก็บในบ่อพักนี้ไม่เกิน 1 ชั่วโมง ภายในถังจะมีชุดลูกลอยเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องสูบ ทั้งแบบ Centrifugal หรือ Submersible แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้แบบ Centrifugal เนื่องจากมีความสะดวกในการบำรุงรักษามากกว่า โดยเครื่องสูบน้ำต้องสามารถให้แรงดันน้ำที่ค่อนข้างสูง สำหับวิธีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำใต้บ่อพักน้ำหรือสูงกว่าบ่อพักน้ำก็ได้ แต่โดยทั่วไปมักติดเครื่องสูบน้ำไว้ด้านข้างของบ่อเพื่อให้ระดับน้ำในบ่อพักสูงกว่าเครื่องสูบน้ำ ลดการใช้ Foot Valve และเป็นการช่วยลดการอุดตันของท่อดูด รูปแบบการติดตั้งเครื่องสูบน้ำจากบ่อพักแสดงใน**รูปที่ 5-24**

รูปที่ 5-24 ลักษณะการติดตั้งเครื่องสูบน้ำด้านข้างบ่อพักน้ำ

กรณีที่น้ำเสียมีเศษขยะปนเข้ามามากจะมีการติดตั้ง Strainer เพื่อดักขยะเป็นการป้องกันตัวเครื่องสูบน้ำ โดยเครื่องสูบน้ำที่ใช้ต้องมีมากกว่า 1 ตัวเสมอ เพื่อใช้เป็นเครื่องสูบน้ำสำรองในกรณีที่เกิดปัญหาขึ้น การทำงานของเครื่องสูบน้ำจะต้องหมุนเวียนกันทำงาน โดยกำหนดรอบการทำงานเป็น 12 หรือ 24 ชั่วโมง/ครั้ง ขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำแต่ไม่ควรให้เครื่องสูบน้ำมีช่วงการทำงานและหยุดงานที่ถี่เกินไปเนื่องจากจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและเกิดความเสียหายแก่ตัวมอเตอร์ได้ง่าย

ระบบปรับพีเอช เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถปรับพีเอชได้ในช่วงที่แคบ ดังนั้นในกรณีที่พีเอชของน้ำเสียต่ำเกินไปจำเป็นจะต้องปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบสำหรับการปรับพีเอชสามารถทำได้โดยการเติมโซดาไฟหรือปูขาวโดยวิธีเติมในเส้นท่อหรือการสร้างถังผสมขึ้นมาปกติในการปรับพีเอชด้วยโซดาไฟจะนิยมให้ผสมในเส้นท่อ เนื่องจากโซดาไฟเป็นสารละลายจึงเข้าทำปฏิกิริยาได้หมด แต่กรณีของปูนขาวโดยมากจะสร้างถังผสมแยกออกมา อีกชุดหนึ่งหรือใช้ถังพักน้ำเป็นถังผสมเนื่องจากปูนขาวมีความสามารถในการละลายต่ำ ก่อให้เกิดการอุดตันได้ง่าย จึงต้องมีการทำถังผสมเพื่อปรับพีเอชแยกจากระบบ โดยอุปกรณ์รูปแบบการเติมด่างแบบต่างๆ แสดงใน **รูปที่ 5-25** ถึง**รูปที่ 5-27**

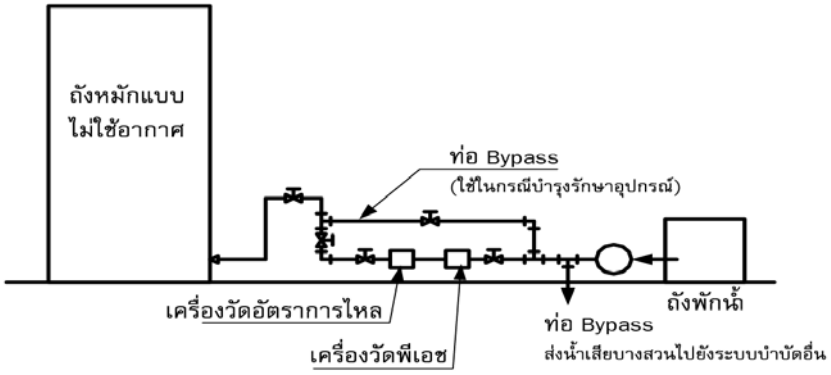
รูปที่ 5-25 ถังเก็บสารละลายโซดาไฟและเครื่องสูบละลายโซดาไฟ (NaOH)



รูปที่ 5-26 ท่อจ่ายสารละลายโซดาไฟ

รูปที่ 5-27 ไซโลเก็บปูนขาว

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



รูปที่ 5-28 ลักษณะของระบบการจ่ายน้ำเสีย

นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งท่อ Bypass น้ำเสียในกรณีฉุกเฉิน โดยท่อ Bypass นี้ มีสองลักษณะคือ

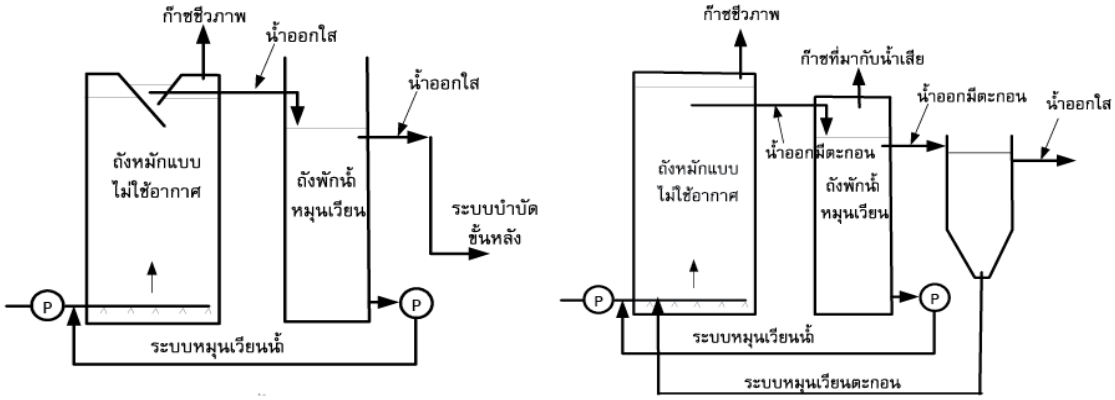
- ท่อ Bypass น้ำเสียเพื่อใช้ในการซ่อมอุปกรณ์ จะเป็นท่อที่มีขนาดเท่ากับท่อส่งน้ำเสียปกติ ติดตั้งขนานกับท่อจ่ายน้ำเสียปกติ ใช้งานเมื่อต้องการซ่อมหรือสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัด

- ท่อ Bypass น้ำเสียไปยังระบบบำบัดขั้นหลัง จะเป็นท่อที่มีขนาดเล็กกว่าท่อส่งน้ำเสียปกติโดยจะใช้งานเพื่อส่งน้ำเสียไปยังระบบบำบัดขั้นหลังในกรณีที่สารอินทรีย์ไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายไนโตรเจน (ใช้เป็นแหล่งของคาร์บอน) หรือใช้ในกรณีที่น้ำเสีย มีปริมาณมากกว่าที่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศรองรับได้

ถังปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศ

ก) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket,UASB)

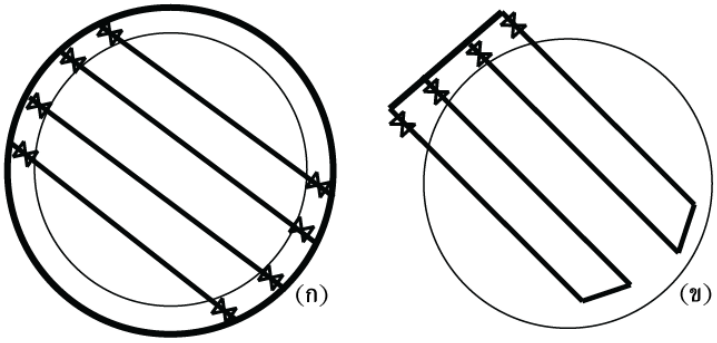
หลักการทำงานของระบบยูเอเอสบีคือจะทำการจ่ายน้ำเสียเข้าจากด้านล่างให้ไหลขึ้นผ่านชั้นแบคทีเรียภายในถัง จากนั้นน้ำที่ผ่านการบำบัดรวมถึงผลผลิตที่ได้คือก๊าซชีวภาพจะออกมาทางด้านบนของถังการรักษาตะกอนภายในระบบทำด้วยการทำให้ตะกอนแบคทีเรียรวมตัวกันเป็นเม็ดและมีน้ำหนักมากขึ้น ทำให้จมตัวอยู่ภายในถังไม่หลุดออกไปพร้อมกับน้ำออก รวมถึงได้มีการออกแบบโซนตกตะกอนด้านบนของถังเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาตะกอน การที่ระบบมีเวลากักเก็บตะกอนที่นานจึงทำให้มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงจึงนิยมใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง แต่ในบางครั้งน้ำเสียบางชนิดจะเกิดการสร้างเม็ดตะกอนได้ยาก เช่น น้ำเสียที่มีโปรตีนสูงจึงได้มีการปรับปรุงระบบยูเอเอสบีให้มีถังตกตะกอนด้านนอกเพื่อที่จะได้มีการหมุนเวียนตะกอนกลับเข้ามายังระบบได้ ดังนั้นลักษณะของยูเอเอสบีทั้งสองแบบจึงแตกต่างกันดัง**รูปที่ 5-29**



ก) ระบบยูเอเอสบีแบบไม่มีการหมุนเวียนตะกอน ข) ระบบยูเอเอสบีแบบมีการหมุนเวียนตะกอน

รูปที่ 5-29 ลักษณะของระบบยูเอเอสบี

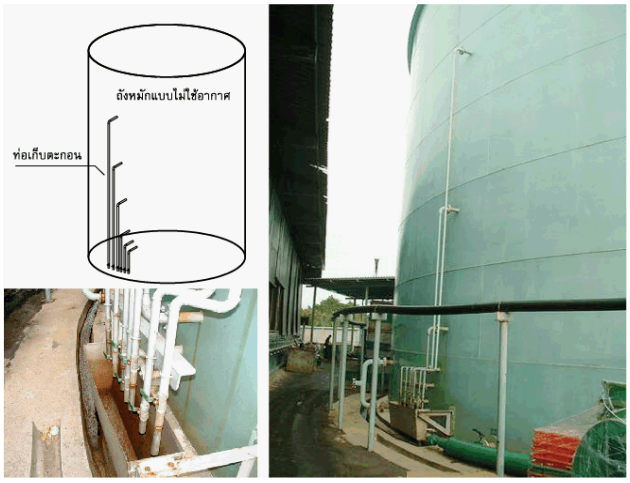
การกระจายน้ำที่ด้านล่างของถังเพื่อการกระจายของน้ำเสียเป็นไปอย่างทั่วถึงกัน ควรจะมีจุดป้อนน้ำเข้าอย่างน้อย 1 จุด จุดต่อพื้นที่ก้นถัง 2 ม.^{2} และจุดป้อนน้ำเข้าควรอยู่สูงจากก้นถัง 20 ซม. ลักษณะการจัดวางระบบกระจายน้ำ สามารถทำได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะของถังปฏิกิริยา โดยมีวิธีวางท่อหลักรอบถังแล้ววางท่อกระจายน้ำทะลุหัวท้าย ดังรูปที่ 5-30 (ก) หรือวางท่อหลักด้านเดียวแล้ววางท่อกระจายน้ำเป็น Loop ดังรูปที่ 5-30 (ข)



รูปที่ 5-30 ลักษณะการวางท่อกระจายน้ำระบบยูเอเอสบี

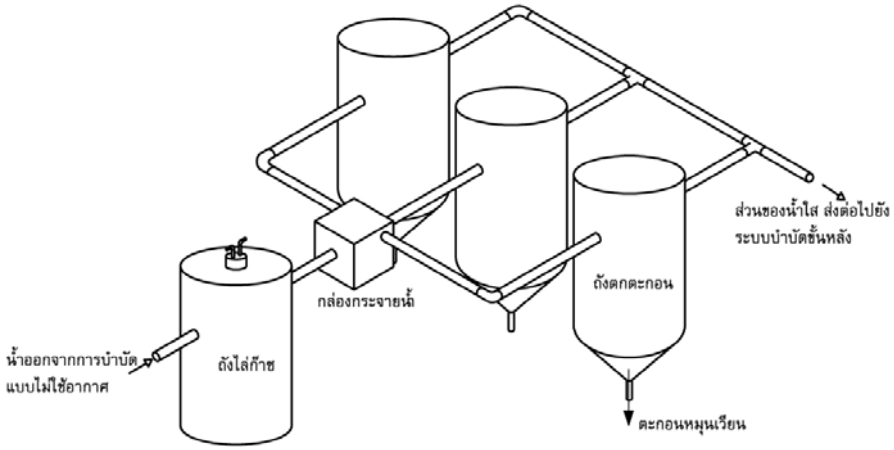
สิ่งที่สำคัญที่สุดของระบบการกระจายน้ำคือการทำให้การไหลของน้ำในทุกๆจุดภายในถังมีความสม่ำเสมอ กระจายได้อย่างทั่วถึงและต้องสามารถทำการดูแลไม่ให้หัวกระจายน้ำเกิดการอุดตัน การป้องกันการอุดตันที่ดีควรมีการติดตั้งวาล์วไว้ในท่อทุกเส้นและทำการสลับทิศทางการไหลของน้ำในท่อเป็นประจำทุกวัน เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวของสิ่งสกปรกในเส้นท่อทำให้สามารถลดการอุดตันของเศษสิ่งสกปรกในบริเวณปลายท่อและรูเจาะได้ สำหรับการตรวจสอบการอุดตันของท่อนั้นทำได้โดยปิดท่อกระจายน้ำทั้งหมด แล้วเปิดเส้นท่อทีละเส้นเพื่อตรวจสอบอัตราการไหลและแรงดันในเส้นท่อ หากเส้นท่อไหนอัตราการไหลต่ำมากหรือใกล้ศูนย์และให้แรงดันที่สูงแสดงว่าท่อเส้นนั้นอุดตัน ดังนั้นการแก้ไขอย่างง่ายที่สุดคือหยุดเดินระบบ จากนั้นเปิดเฉพาะวาล์วของเส้นท่อที่อุดตัน เพื่อที่จะใช้แรงดันของน้ำในถังดันสิ่งสกปรกให้ไหลย้อนกลับออกมา

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



รูปที่ 5-31 ถังยูเอเอสบีและท่อเก็บตัวอย่างตะกอนข้างถัง

สำหรับระบบยูเอเอสบีที่สามารถสร้างตะกอนให้เป็นเม็ดได้น้ำที่ออกจากระบบจะไม่มีตะกอนปนออกมาแต่อาจมีลักษณะขุ่นบ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสีย ซึ่งน้ำส่วนนี้สามารถปล่อยออกไปได้เลยหรือการหมุนเวียนกลับมาใช้ในระบบบางส่วนแต่สำหรับถังยูเอเอสบีแบบที่ไม่สามารถสร้างเม็ดตะกอนขึ้นมาได้จะต้องมีระบบตกตะกอนก่อนเพื่อที่จะปล่อยออกไปทำให้มีระบบบำบัดเพิ่มมากขึ้นอีกสองส่วนคือส่วนไล่ก๊าซและส่วนตกตะกอน ดัง**รูปที่ 5-32** และ**รูปที่ 5-33** ซึ่งเป็นรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์และภาพจากระบบภาพจากระบบใช้งานจริงตามลำดับ



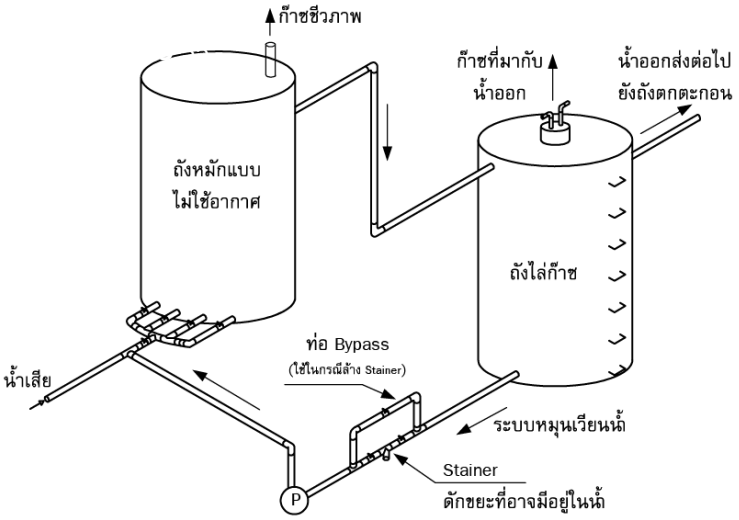
รูปที่ 5-32 การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน

สำหรับระบบยูเอเอสบีที่ตะกอนแบคทีเรียมีลักษณะเป็นฟ้อค

รูปที่ 5-33 ถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน

ถังไล่ก๊าซมีไว้เพื่อกำจัดก๊าซที่มีสะสมอยู่ในตัวตะกอนให้หลุดออกไปเพื่อที่จะทำให้ตะกอนสามารถตกตะกอนได้ง่าย เพราะถ้าหากตะกอนมีก๊าซสะสมอยู่ การตกตะกอนจะทำได้ยาก สำหรับการดูแลถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอนไม่มีจุดที่ควรระวังเป็นพิเศษสิ่งที่ควรดูแลคือการสะสมของตะกอนภายในถังต้องไม่มากเกินไปควรหมุนเวียนตะกอนกลับเข้ามาในระบบให้มากที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ

สำหรับการหมุนเวียนน้ำกลับเข้ามาในระบบจะต้องมีการควบคุมอัตราการไหลให้สัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำเสียและค่าความเร็วไหลขึ้นของน้ำภายในถังเนื่องจากหากความเร็วไหลขึ้นของน้ำสูงเกินไปจะทำให้ตะกอนฟุ้งและหลุดออกมามากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปของระบบยูเอเอสบี จะควบคุมไม่ให้อัตราการไหลของน้ำเกิน 1 ม./ชม. ดังนั้นจึงควรมีการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนไว้ด้วย สำหรับการผสมน้ำหมุนเวียนทำได้สองแบบ คือ ผสมในเส้นท่อเข้ากับท่อน้ำเสียหรือทำท่อกระจายน้ำหมุนเวียนแยกต่างหากนอกจากนี้อาจใช้วิธีการนำน้ำเสียเข้าไปผสมในถังน้ำหมุนเวียนเพื่อผสมก่อนที่จะจ่ายเข้าสู่ถัง เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนจะมีขนาดใกล้เคียงหรือใหญ่กว่าเครื่องสูบน้ำเสีย ทั้งนี้ขึ้นกับสัดส่วนการหมุนเวียนน้ำ รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ในการหมุนเวียนเข้าสู่ถังยูเอเอสบีแสดงดังรูปที่ **5-34** และ**รูปที่ 5-35**

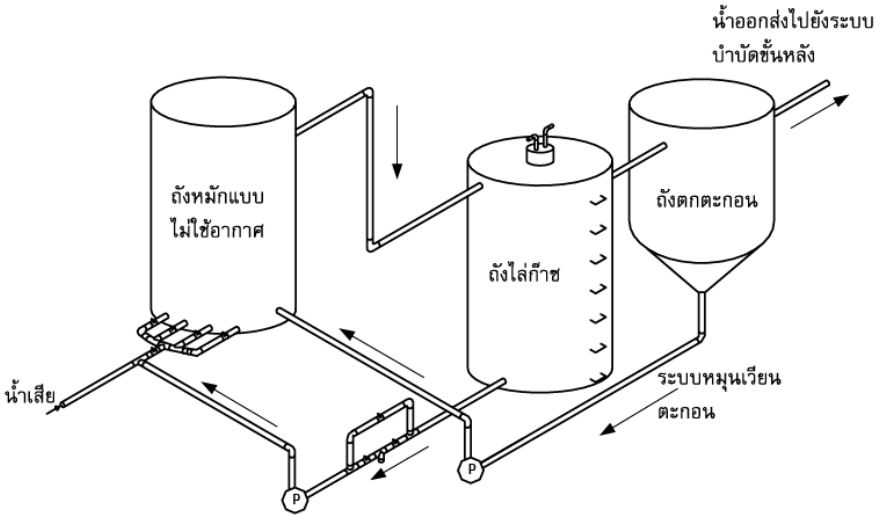


รูปที่ 5-34 การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน

รูปที่ 5-35 การหมุนเวียนน้ำ

สำหรับระบบที่ต้องมีการหมุนเวียนตะกอนเข้าสู่ถังยูเอเอสบี เครื่องสูบตะกอนที่ใช้จะต้องเป็นแบบที่ไม่ทำให้ตะกอนเสียหายโดยการเติมตะกอนเข้าสู่ถังไม่จำเป็นต้องทำการผสมตะกอนเข้ากับน้ำเสีย เนื่องจากตะกอน

ดังกล่าวทำให้เกิดการอุดตันในเส้นท่อได้ดังนั้นจึงใช้การต่อท่อเติมตะกอนที่บริเวณด้านข้างของถังประมาณ 3-4 จุด ก็ได้ โดยมีรูปแบบดัง**รูปที่ 5-36** และ **รูปที่ 5-37**



รูปที่ 5-36 การติดตั้งถังไล่ก๊าซและถังตกตะกอน

รูปที่ 5-37 การหมุนเวียนตะกอนและการเติมตะกอนเข้าถัง

ข) ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศ

ลักษณะของถังกรองไม่ใช้อากาศมีทั้งชนิดถังกลมและถังสี่เหลี่ยมซึ่งภายในบรรจุวัสดุตัวกลางไว้เพื่อให้แบคทีเรียได้อาศัยเกาะดัง**รูปที่ 5-38** จะเป็นถังกรองแบบไม่ใช้อากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมภายในบรรจุวัสดุตัวกลางแบบตาข่ายไว้ สำหรับการดูแลรักษาและเดินระบบถังกรองไม่ใช้อากาศควรมีการจัดการน้ำเสีย การหมุนเวียนน้ำเสีย การหมุนเวียนน้ำ และการปรับปรุงคุณสมบัติน้ำเช่นเดียวกับระบบยูเอเอสบี รวมถึงการกระจายน้ำด้านล่างของถัง โดยสิ่งที่ต้องมีการดูแลเพิ่มเติมในระบบถังกรองไม่ใช้อากาศคือการตรวจสอบการอุดตันของตัวกลางในระบบ เพื่อป้องกันการไหลลัดทางเนื่องจากหากเกิดการอุดตันขึ้นจะทำให้น้ำไหลออกจากระบบไม่สม่ำเสมอเกิดการไหลลัดทางขึ้นได้ ดัง**รูปที่ 5-39**

สำหรับระบบถังกรองไม่ใช้อากาศจะไม่มีการหลุดออกมาของตะกอนจากระบบเนื่องจากตะกอนจะติดอยู่กับตัวกลาง แต่อาจมีตะกอนหลุดออกมาบ้างจากแรงเฉือนที่เกิดจากการไหลของน้ำ ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีระบบการหมุนเวียนตะกอนหรือระบบป้องกันการหลุดออกของตะกอนอย่างไรก็ตามยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการหมุนเวียนน้ำออก นอกจากจะทำให้การควบคุมสมดุลระหว่างความเป็นกรดและความเป็นด่างของระบบทำได้ยากแล้ว ยังสิ้นเปลืองด่างอีกด้วย

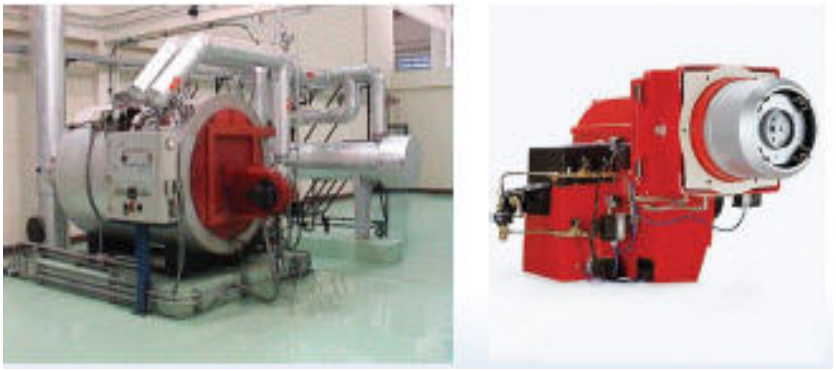
การดูแลเรื่องการไหลลัดทางของน้ำภายในถังเป็นสิ่งที่ผู้ดูแลระบบบำบัดแบบถังกรองไม่ใช้อากาศต้องให้ความสนใจเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบทำงานไปได้มากกว่า 5 ปี เนื่องจากมีโอกาสที่ตัวกลางจะอุดตันได้สูง ถ้าหากเกิดการไหลลัดทางขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้นลดลงตามไปด้วย การแก้ไขจะต้องเปิดฝาระบบบำบัดเพื่อนำเอาตัวกลางมาล้าง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

รูปที่ 5-38 ระบบถังกรองไม่ใช้อากาศ

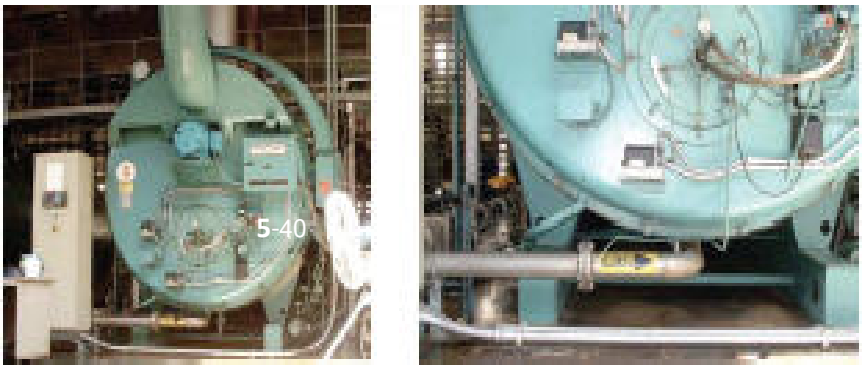
รูปที่ 5-39 น้ำออกไม่สม่ำเสมอเกิดการอุดตันของตัวกลาง/การทรุดของเวียร์

5.3 การบำรุงรักษาในส่วนก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

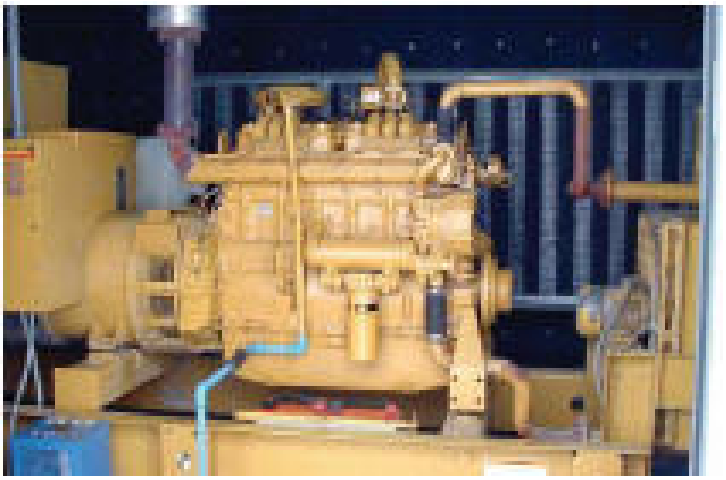
ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถผลิตขึ้นใช้เองได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ สามารถชดเชยหรือทดแทนการใช้เชื้อเพลิงต่างๆ กับอุปกรณ์ที่ต้องการความร้อนจากเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี เช่น เครื่องอบแห้ง หม้อต้มไอน้ำระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนใช้กับเครื่องยนต์สำหรับสูบน้ำหรือผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆในการใช้ก๊าซชีวภาพจำเป็นต้องให้ความใส่ใจเรื่องความปลอดภัยถึงแม้ว่าก๊าซธรรมชาติจะไม่สามารถลุกไหม้ขึ้นเองตามธรรมชาติแต่หากใช้อย่างไม่ระมัดระวังอาจเกิดอุบัติเหตุทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้การใช้ก๊าซชีวภาพในภาคอุตสาหกรรมจะใช้ในสองรูปแบบคือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าและใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนใน Burner หรือ Boiler ดัง**รูปที่ 5-40** ถึง**รูปที่ 5-42**



รูปที่ 5-40 เตาน้ำมันร้อน (Hot Oil Burner) และหัวเผา



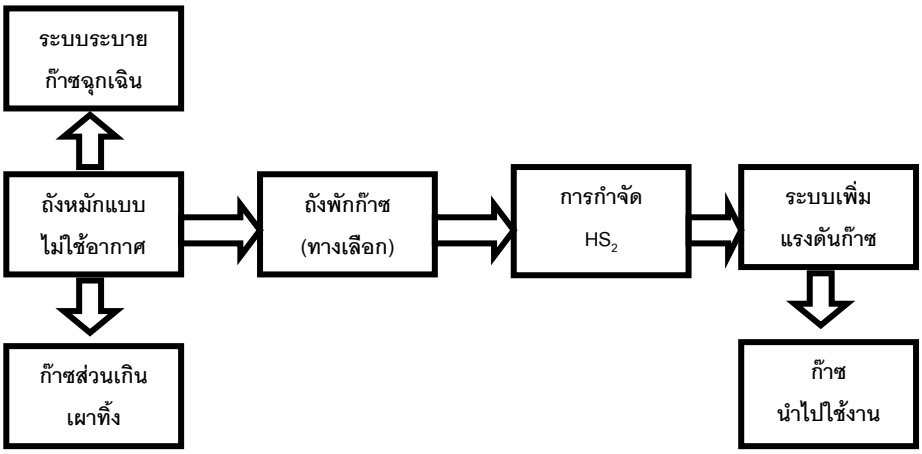
รูปที่ 5-41 หม้อไอน้ำ (Stream Boiler)



รูปที่ 5-42 ชุดเครื่องปั่นไฟใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซชีวภาพ

ก) **ขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน**

สำหรับขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานสามารถอธิบายเป็นแผนภาพได้ดัง**รูปที่ 5-43**



รูปที่ 5-43 ขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

การติดตั้งท่อส่งก๊าซชีวภาพ

ชนิดของท่อส่งในระบบท่อก๊าซชีวภาพควรใช้ท่อที่ทำจาก Stainless steel และมีการทาสีเหลือง หรือติดสัญลักษณ์ไว้ทุกๆ 2 เมตร ดัง**รูปที่ 5-44** เพื่อแสดงให้เห็นว่าเป็นท่อก๊าซ แต่ก็มีหลายแห่งที่นิยมใช้ท่อพีวีซีกับก๊าซชีวภาพ ซึ่งการใช้ท่อพีวีซี จะต้องคอยตรวจสอบการรั่วซึมบริเวณรอยต่อของท่อก๊าซอยู่เสมอ

รูปที่ 5-44 ท่อส่งก๊าซชีวภาพ

อุปกรณ์ดักน้ำ

เป็นชุด Cyclone สำหรับดักและลดสิ่งแปลกปลอมรวมถึงความชื้นและน้ำในก๊าซชีวภาพ ก่อนที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งมีลักษณะดัง**รูปที่ 5-45** ซึ่งโดยปกติแล้วก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มักจะมีความชื้นสูงเกือบถึงจุดอิ่มตัวท่อส่งก๊าซที่วางตัวอยู่ในดินมักจะทำให้ไอน้ำในก๊าซชีวภาพกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและสะสมจนอาจเกิดเป็นอุปสรรคในการส่งก๊าซ ควรให้มีความลาดเอียงประมาณ 1% ลงไปหาจุดดักน้ำที่สามารถระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซได้ ซึ่งการวางท่อส่งก๊าซดังกล่าวจะช่วยลดปริมาณน้ำที่ค้างอยู่ในท่อส่งก๊าซลงได้จำนวนหนึ่ง

รูปที่ 5-45 ชุดไซโคลนดักน้ำก่อนเข้าไปในอุปกรณ์ใช้งาน

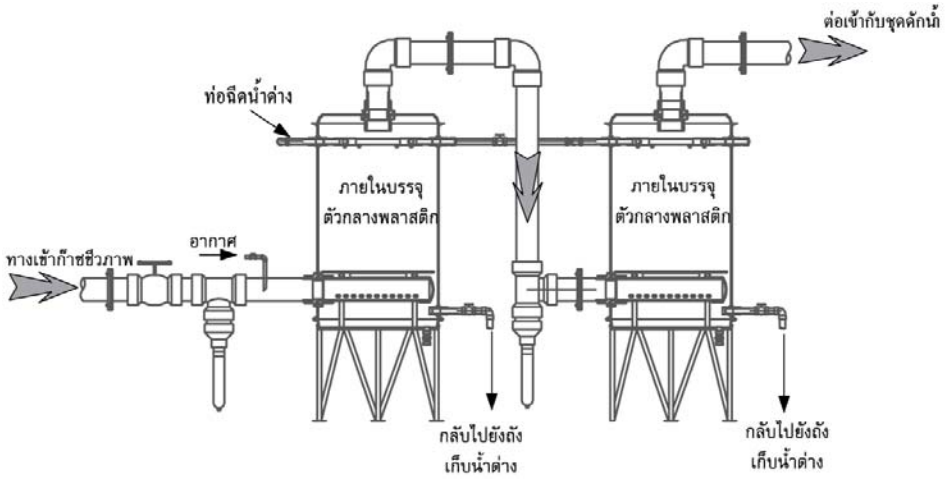
ในการใช้อุปกรณ์ดักน้ำและระบายก๊าซ ในท่อต้องหมั่นระบายน้ำที่สะสมอยู่เป็นประจำทุกวัน โดยต้องระบายน้ำทิ้งมากกว่าวันละ 1-2 ครั้ง ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศในวันนั้นๆ ข้อสังเกตคือในวันที่ฝนตก หรืออากาศเย็นจะมีการควบแน่นไอน้ำในเส้นท่อได้สูงกว่าปกติ จึงต้องมีการระบายน้ำบ่อยขึ้น แต่หากใช้ระบบระบายน้ำอัตโนมัติจะช่วยการทำงานสะดวกมากขึ้นแต่ค่าใช้จ่ายในก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

รูปที่ 5-46 จุดระบายน้ำที่ควบแน่นในเส้นออกจากท่อส่งก๊าซ

อุปกรณ์ดักไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่สร้างปัญหาให้กับเครื่องยนต์ที่นำก๊าซชีวภาพไปใช้งานโดยทั่วไปในก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ประมาณ 1% แม้ว่าจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่หากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดปฏิกิริยากับไอน้ำที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพจะทำให้เกิดสารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid H_2SO_4) ซึ่งคุณสมบัติเป็นกรดทำให้เกิดการกัดกร่อนวัสดุต่างๆรวมไปถึงภายในเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ วิธีการกำจัดมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายและนิยมใช้ในประเทศไทยคือการฉีดสารละลายด่าง (NaOH หรือ $Ca(OH)_2$) เข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้การฉีดสารละลายด่างจากด้านบนของถัง ในขณะที่ให้ก๊าซชีวภาพไหลขึ้นจากทางด้านล่างเพื่อให้สารละลายด่างเกิดปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้งนี้ผู้ควบคุมระบบจะต้องมีการตรวจสอบพีเอชของ

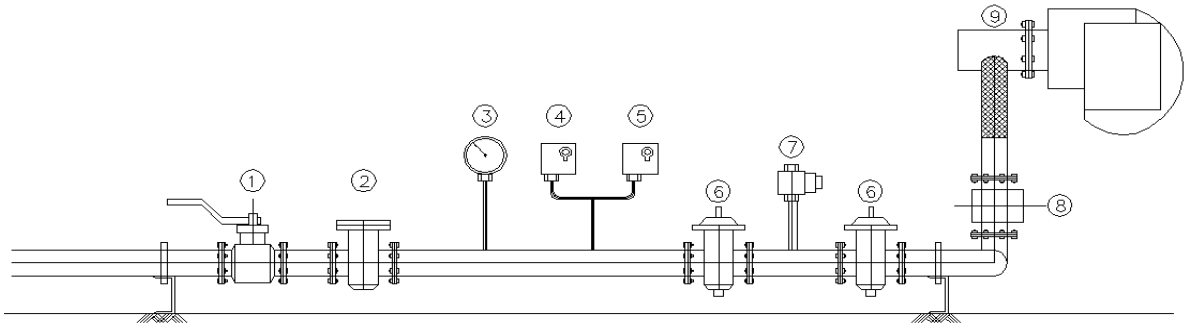
สารละลายด่างเสมอ หากมีพีเอชที่ลดลงต่ำกว่า 8.0 ควรเปลี่ยนสารละลายใหม่ซึ่งลักษณะการทำงานของระบบแสดงในรูปที่ **5-47** และ **รูปที่ 5-48**



รูปที่ 5-47 แผนผังการทำงานของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

รูปที่ 5-48 ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือการควบคุมการไหลและแรงดันของก๊าซที่จะเข้าสู่เครื่องจักรกลให้มีความสม่ำเสมอเพื่อให้เครื่องจักรกลเดินได้เรียบไม่สะดุด โดยในการปรับแรงดันของก๊าซนอกจากจะใช้ Blower ในการควบคุมแรงดันที่ต้นทาง ยังมีการควบคุมแรงดันและอัตราการไหลของก๊าซก่อนจะเข้าไปยังเครื่องจักรกลอีกด้วยซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่ Pressure Switch หรือ Pressure Regulator เป็นต้น ดังแสดงใน**รูปที่ 5-49**



เมื่อ

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

รูปที่ 5-49 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Burner

ข) อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย

1. Pressure Release Valve (PRV)

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

รูปที่ 5-50 การติดตั้ง Pressure Release Valve

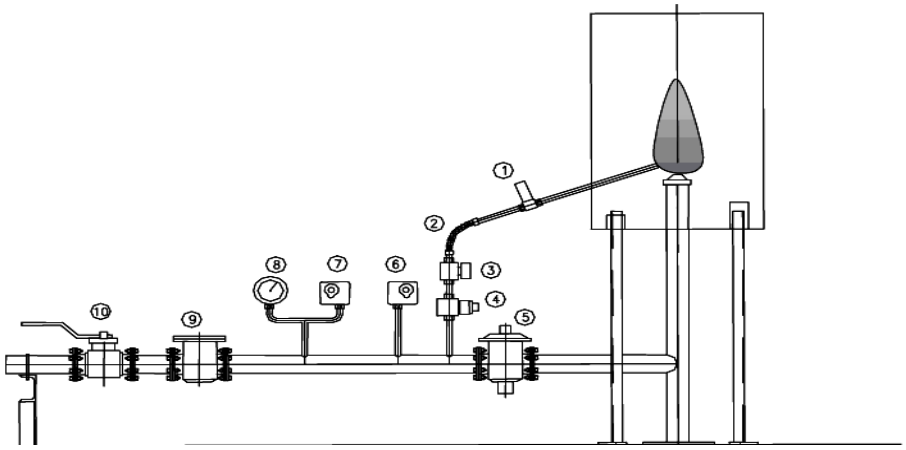
2. อุปกรณ์เผาก๊าซทิ้งอัตโนมัติ (Biogas Flare)

ในกรณีที่ปริมาณของก๊าซชีวภาพมีมากเกินความต้องการเนื่องจากบางครั้งความต้องการใช้พลังงานของโรงงานลดลง ดังนั้นระบบ Gas Flare หรือระบบการเผาก๊าซส่วนเกินทิ้ง ซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์ความปลอดภัยชนิดหนึ่งที่ต้องมีไว้

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

ลักษณะของอุปกรณ์เผาก๊าซทิ้งอัตโนมัติและชุดควบคุมความดันในระบบแสดงดัง**รูปที่ 5-51** โดยมีขั้นตอนในการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของ Biogas Flare ดัง**รูปที่ 5-52**

รูปที่ 5-51 Gas Flare และระบบวัดความดันในท่อก๊าซ



เมื่อ

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

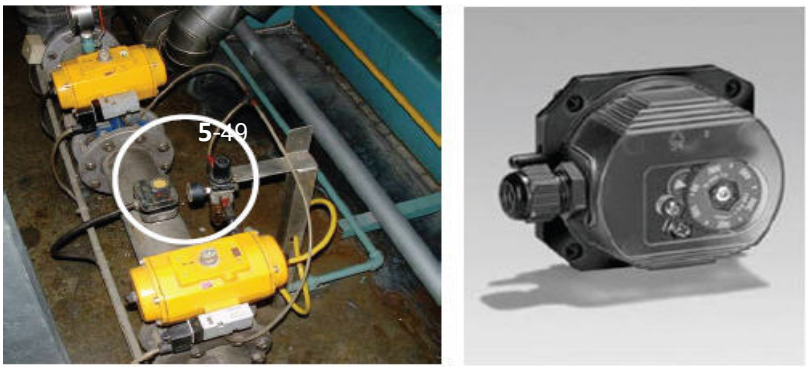
รูปที่ 5-52 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Biogas Flare แบบเปิด

ค. อุปกรณ์อื่น ๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานก๊าซชีวภาพ

ค-1 อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน

(1) Pressure Switch

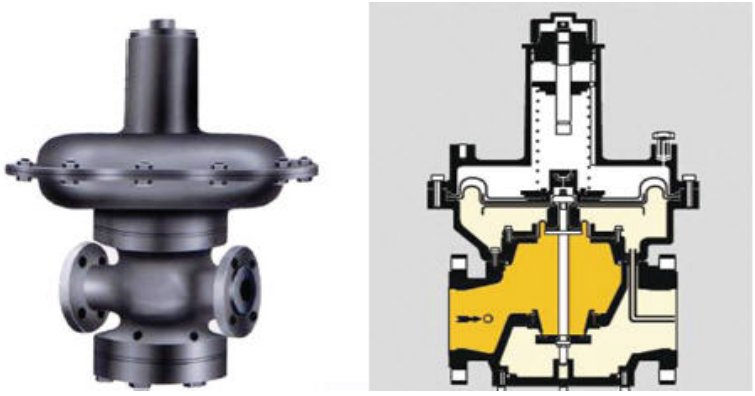
มีลักษณะทั่วไปดัง**รูปที่ 5-53** เป็นตัวควบคุมการทำงานของวาล์วด้วยแรงดันในท่อ โดยมีการตั้งค่าแรงดันในระบบที่จะให้มีการส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุม เพื่อทำการเปิดหรือปิดอุปกรณ์



รูปที่ 5-53 Pressure Switch และรูปแบบการติดตั้ง

(2) Pressure Regulator

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมระดับแรงดันของก๊าซในเส้นท่อ โดยหลังจากผ่าน Regulator ความดันในเส้นท่อจะมีค่าคงที่ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการใช้งาน โดยภายในจะมีสปริงหรือไดอะแฟรมติดตั้งอยู่ เมื่อแรงดันก๊าซที่ไหลเข้ามามีแรงดันมากกว่าที่ตั้งไว้ ก๊าซจะดันสปริงให้ยกขึ้นทำให้แรงดันก๊าซในระบบลดลง หากแรงดันที่ส่งมาลดลงสปริงก็จะกดตัวกลับลงมา ทำให้แรงดันในระบบเพิ่มขึ้น โดยจะมีลักษณะดัง**รูปที่ 5-54**



รูปที่ 5-54 ลักษณะของ Pressure Regulator

ค-2 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นนอกจากจะทำให้ทราบถึงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ยังสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและปริมาณก๊าซที่ได้ซึ่งจะทำให้ทราบสัดส่วนของการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ ถ้าหากสัดส่วนดังกล่าวสูงหรือต่ำกว่าสัดส่วนทางทฤษฎีจะต้องมีการตรวจสอบว่าความแตกต่างนั้น

เกิดจากความผิดพลาดของระบบหรือเกิดจากเครื่องมือการตรวจวัดซึ่งจะสามารถช่วยให้แก้ไขปัญหาได้ทัน นอกจากนี้ยังนำไปใช้เพื่อประเมินความสามารถของอุปกรณ์ที่ใช้ก๊าซว่ามีประสิทธิภาพหรือไม่

สำหรับเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันสองแบบคือ แบบ Thermal Mass Flow Meter และแบบที่วัดจากปริมาตรการไหลของก๊าซโดยตรง ดังใน**รูปที่ 5-55** ซึ่งเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซแบบ Thermal Mass Flow Meter จะอาศัยความร้อนในการวัดอัตราการไหลของก๊าซ หลักในการวัดสองรูปแบบ

- รูปแบบที่หนึ่งจะวัดอัตราการไหลโดยรักษาอุณหภูมิที่วัดได้ให้คงที่ โดยเมื่อมีมวลอากาศไหลผ่านแท่งความร้อนจะทำให้ความร้อนลดลง การวัดปริมาณก๊าซที่ไหลผ่านจะเป็นการเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้า ที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมิความร้อนให้คงที่

- รูปแบบที่สองจะเป็นการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิสองจุด โดยจุดแรกจะเป็นตัวส่งความร้อน เมื่อก๊าซไหลผ่านก็จะนำเอาความร้อนไปด้วย ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองจุดจะถูกนำไปเปลี่ยนให้เป็นอัตราการไหลของก๊าซ

รูปที่ 5-55 เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซแบบ Thermal Mass Flow Meter และแบบวัดปริมาตรของก๊าซที่ไหลผ่าน

5.4 การเริ่มต้นเดินระบบ

ในการเริ่มต้นเดินระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพทุกแบบ มีหลักการในการเริ่มต้นเดินระบบที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งในการเริ่มต้นด้วยระบบจะต้องปรับให้แบคทีเรียมีความคุ้นเคยกับน้ำเสียและสภาพสภาวะแวดล้อมที่ต้องการให้แบคทีเรียทำงาน โดยการเริ่มต้นเดินระบบสามารถแบ่งออกได้เป็นสองรูปแบบหลักได้แก่

การเริ่มต้นเดินระบบครั้งแรก

เป็นการเริ่มต้นเดินระบบหลังจากที่มีการก่อสร้างเสร็จ ความยากง่ายในการเริ่มต้นเดินระบบ ในกรณีนี้ จะขึ้นอยู่กับตะกอนหัวเชื้อที่นำมาใส่ในระบบ ในบางระบบจะไม่มีการเติมตะกอนหัวเชื้อซึ่งจะให้การพัฒนาตะกอนแบคทีเรียขึ้นมาเอง ซึ่งทำให้ใช้เวลาในการเดินระบบนานกว่าหกเดือน ทั้งนี้ในการเริ่มต้นเดินระบบนั้นจะต้องวัดค่า pH ของแบคทีเรียที่มีอยู่ในระบบก่อน เพื่อจะให้ทราบความสามารถในการรับสารอินทรีย์ของแบคทีเรียการเริ่มต้นจ่ายน้ำเสียครั้งแรกจะต้องไม่ให้สารอินทรีย์เข้าไปสูงเกินกว่าที่แบคทีเรียจะรับได้ จากนั้นจึงค่อย ๆเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์เข้าไป สำหรับการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์นิยมเพิ่มครั้งละ 5-10% ซึ่งในช่วงแรกของการเดินระบบอาจ

ต้องมีการเติมด่างช่วยในการปรับพีเอช(pH) เนื่องจากในระบบยังมีความเป็นด่างไม่เพียงพอขณะที่ทำการเพิ่มสารอินทรีย์ต้องมีการวิเคราะห์น้ำเสีย ทั้งน้ำเสียก่อนเข้าระบบ น้ำเสียภายในระบบ และน้ำเสียออกจากระบบให้ถี่ขึ้น ซึ่งพารามิเตอร์ที่มักจะทำการตรวจวัดได้แก่ ค่าความเป็นด่าง-กรด (pH) ซึ่งวัดได้ง่าย สามารถได้ผลการวิเคราะห์ที่เร็ว

สิ่งสำคัญที่สุดในการเดินระบบครั้งแรก

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

การเดินระบบใหม่หลังจากที่มีการหยุดการผลิต

ในกรณีโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องมีการหยุดกิจการเป็นช่วงๆ เนื่องจากฤดูการผลิตและเก็บเกี่ยววัตถุดิบจะส่งผลให้ไม่มีน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้ต้องหยุดเดินระบบ ซึ่งโดยทั่วไประบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศสามารถทนทานต่อการขาดสารอาหารได้เป็นเวลานาน เนื่องจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีค่าอัตราการสร้างเซลล์ใหม่ และการย่อยสลายต่ำ ดังนั้นถึงแม้จะหยุดการเดินระบบเป็นเวลานาน 1-2 เดือนก็สามารถกลับมาเดินระบบได้ตามปกติ ในการเริ่มต้นเดินระบบอีกครั้ง ควรมีการหมุนเวียนน้ำในระบบเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวและตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ว่ายังทำงานได้ตามปกติ นอกจากนี้ยังเป็นการกระตุ้นและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแบคทีเรียประมาณ 1-2 วัน จากนั้นจึงเริ่มจ่ายน้ำเสียเข้าไปในระบบโดยควรจ่ายให้ระบบรับสารอินทรีย์ประมาณ 60-70% ของสารอินทรีย์ที่สามารถรับได้ก่อนจะหยุดเดินระบบ จากนั้นก็สามารถเพิ่มสารอินทรีย์ได้ครั้งละ 10 % ต่อ 2-3 วัน และในการเดินระบบอีกครั้งก็ยังจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบสภาพการทำงานของแบคทีเรียเช่นเดิม ดังนั้นหากการหยุดเดินระบบมีช่วงเวลาไม่นาน เช่น ไม่เกิน 1 สัปดาห์ ไม่ควรปล่อยให้ระบบหยุดนิ่งควรมีการหมุนเวียนน้ำในระบบ เพื่อให้สามารถกลับมาเดินระบบได้ทันที

บทที่ 6
รายละเอียด ระยะเวลาและความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษา

บทที่ 6
ระยะเวลาและความถี่ ในการตรวจสอบและบำรุงรักษา

รายละเอียด ระยะเวลาและความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษาแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ การตรวจสอบรายวัน การตรวจสอบรายเดือน และ การตรวจสอบรายปี รายละเอียดการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพดัง**ตารางที่ 6-1** สำหรับการตรวจสอบและบำรุงรักษาในแต่ละส่วนมีดังนี้

6.1 การตรวจสอบรายวัน

เป็นการตรวจสอบระบบโดยทั่วไปเพื่อตรวจหาความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งปัญหาที่พบบางอย่างอาจต้องรีบแก้ไข เช่น การปรับอัตราการไหลของน้ำเสีย บางอย่างอาจต้องทำการวางแผนเพื่อที่จะแก้ไขในอนาคต ในกรณีที่การแก้ไขต้องมีการวางแผนและใช้งบประมาณมาก เช่น การเพิ่มเติมหน่วยบำบัดต่างๆ การตรวจสอบรายวันจะช่วยให้ทราบถึงความผิดปกติในระบบและทราบถึงความสามารถในการบำบัดของระบบได้เป็นอย่างดี โดยสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน

ก. การดูแลระบบบำบัด อุปกรณ์ ตรวจความผิดปกติของอุปกรณ์ต่าง ๆ

การตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรจะตรวจสอบในสองลักษณะคือ

- การตรวจเช็คเครื่องจักรประจำวัน เพื่อเป็นการตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรสภาพการทำงาน เพื่อให้ทราบถึงสภาวะการทำงานโดยรวมของเครื่องจักร
- ตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นๆ มีสภาพการทำงานเป็นอย่างไร เช่น เปิด ปิด หรือ ส่งซ่อม เป็นต้น เพื่อให้ทราบถึงชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรแต่ละตัวจะได้นำไปวางแผนในการตรวจซ่อมโดยละเอียดตามชั่วโมงการทำงานต่อไป

ตารางที่ 6-1 รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพ

ลำดับ	รายละเอียดอุปกรณ์/ระบบที่ต้องตรวจสอบ	ความถี่การตรวจสอบ	ชิ้นส่วน/อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ	สภาพระบบ	หมายเหตุ
1	**รางระบายน้ำ**				
	- ตรวจสอบขยะหรือสิ่งแปลกปลอมตกค้างในราง	รายวัน			
	- ตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของราง รอยแตก/รั่ว	รายเดือน			
2.	**บ่อสูบน้ำเสีย**				
	- สภาพโดยทั่วไปเช่น รอยรั่ว การทำงานของปั๊มน้ำเสียฯ	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.	**ถังปฏิกิริยา**				
	- สภาพการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน			
	- สภาพการทำงานของอุปกรณ์ประกอบเช่น เกจ์วัดความดัน	รายวัน			
8.	**ระบบจ่ายสารเคมี**				
	- ตรวจสอบปริมาณในถังเก็บ	รายวัน			
	- ตรวจสอบสภาพการทำงานโดยทั่วไป การรั่วซึมต่างๆ	รายวัน			

ตารางที่ 6-1 รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

ลำดับ	รายละเอียดอุปกรณ์/ระบบที่ต้องตรวจสอบ	ความถี่การตรวจสอบ	ชิ้นส่วน/อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ	สภาพระบบ	หมายเหตุ
9.	**ลานตากตะกอน**				
	- ตรวจสอบการทำงานโดยทั่วไป	รายวัน			
	- การขังของน้ำ	รายวัน			
	- ตะกอนแห้งช้า	รายวัน			
10.	**Gas Blower**				
	- ตรวจชุดควบคุมแรงดัน	รายวัน			
	- ตรวจสอบอุปกรณ์รองรับการสันสะเทือนของ Blower และมอเตอร์	รายวัน			
11	**Gas Flare**				
	- ตรวจสอบชุดควบคุมและตรวจจับแรงดันของก๊าซ	รายวัน			
	- ตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับเข้าในระบบ	รายวัน			
12	**การวิเคราะห์น้ำเสียในห้องปฏิบัติการ**				
	- ตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำเสียที่จำเป็น	รายวัน			

คำแนะนำ : สถานภาพของระบบ หมายถึง ให้ระบุวันสุดท้ายที่พบปัญหาและระบุสาเหตุที่ต้องซ่อมแซม

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

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

2) บ่อสูบน้ำเสีย

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

3) ตะแกรงดักขยะ

- ปริมาณขยะและตะกอนอุดตันที่ช่องของตะแกรง
- สภาพของตะแกรงดักขยะ ได้แก่ จุดชำรุด สนิม ความแข็งแรงของจุดยึดกับผนังจะต้องไม่มีจุดชำรุดใดๆ

4) บ่อดักไขมัน

- ไขมันที่ลงบนผิวน้ำ
- การอุดตันภายในท่อของไขมัน
- สภาพของบ่อสูบ เช่น รอยรั่วและรอยแตกร้าว
- การทำงานของเครื่องสูบไขมัน
- สภาพการทำงานของเครื่องกวาดไขมัน

5) บ่อปรับเสถียร

- สภาพโครงสร้างของบ่อปรับเสถียร และจุดรั่วซึมของท่อต่างๆ ที่เชื่อมกับโครงสร้างถัง
- สภาพของมอเตอร์เครื่องกวนต้องอยู่ในสภาพที่ดี เช่นต้องไม่มีรอยขีดข่วนบนตัวมอเตอร์สายไฟฟ้าที่เข้าสู่มอเตอร์ต้องอยู่ในสภาพดี

- ลักษณะการหมุนและความเร็วในการหมุนของเครื่องกวนจะต้องมั่นคงปราศจากการสั่น
- จุดยึดเครื่องกวนกับฐานรองรับต้องมั่นคง

6) ถังตกตะกอน

- ตรวจสอบระดับตะกอนในถัง
- ตรวจสอบการทำงานของเครื่องสูบตะกอน
- ลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านถังตกตะกอน

7) ถังปฏิกิริยา

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

8) ระบบจ่ายสารเคมี

- ตรวจสอบปริมาณสารเคมีที่อยู่ในถังเตรียมสารเคมีทุกถัง จะต้องมีปริมาณเพียงพอต่อการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง
- ตรวจสอบระบบท่อบริเวณรอยต่อระหว่างท่อสารเคมีกับถังเตรียมสารเคมีว่ามีจุดรั่วซึมหรือไม่ หากพบจะต้องทำการแก้ไขทันที

- ตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของเครื่องสูบจ่ายสารเคมีทุกชุด (Auto-Manual)
- บริเวณข้อต่อต่าง ๆจะต้องไม่มีสารเคมีรั่วซึม
- ตัวเครื่องสูบจ่ายจะต้องไม่มีน้ำหรือสารเคมีหรือกรดท่วม
- สายไฟสายควบคุมจะต้องไม่มีรอยฉีกขาด
- หน้าปิดตัวเครื่องจะต้องไม่มีรอยแตกร้าว

9) ลานตากตะกอน

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

10) Gas Blower

- ตรวจสอบชุดควบคุมแรงดัน สำหรับส่งจ่ายก๊าซว่าสามารถส่งก๊าซได้เพียงพอกับปริมาณการใช้จริงหรือไม่
- ตรวจสอบอุปกรณ์รองรับการสันสะเทือนของ Blower และมอเตอร์

11) Gas Flare

- ตรวจสอบชุดควบคุมและตรวจจับแรงดันของก๊าซ เพื่อส่งให้ปล่องเผาก๊าซทำงาน
- ตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับเข้าไปในระบบ

ทั้งนี้รายละเอียดที่ต้องทำการตรวจวัดอาจมากหรือน้อยกว่านี้ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และระบบที่ใช้ ผู้ที่จะทำการควบคุมระบบจึงต้องศึกษารายละเอียดของอุปกรณ์ตลอดจนวิธีการตรวจสอบอุปกรณ์อย่างถี่ถ้วน

ตารางที่ 6-2 การตรวจสอบอุปกรณ์การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

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

(ข) การวิเคราะห์น้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

เป็นการตรวจสอบสมรรถภาพของระบบบำบัดทางเคมีและชีวภาพ โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำในจุดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความสามารถในระบบบำบัด ไปหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบให้เป็นไปตามที่ได้มีการออกแบบไว้

6.2 การตรวจสอบรายเดือน

สำหรับรายการในการตรวจสอบรายเดือนจะเป็นการตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือและเครื่องจักรเป็นส่วนใหญ่ รวมถึงการตรวจซ่อม การบำรุงรักษาเครื่องจักรก่อนที่จะเกิดการเสียหายขึ้น รวมถึงอาจมีการประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัด ความสามารถในการบำบัดของระบบ และตรวจสอบปัญหาที่ผ่านมา

6.3 การตรวจสอบรายปี

จะเป็นการทำความสะอาดระบบ โดยจำเป็นที่จะต้องหยุดเดินระบบเป็นเวลา 3-4 วัน เพื่อทำการขุดลอกบ่อ ระบายตะกอนในถังตกตะกอน เข้าไปตรวจสอบในส่วนที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ในช่วงเวลาปกติ เช่น ใบกวาดที่กันบ่อตกตะกอน เครื่องสูบน้ำที่จมน้ำ เป็นต้น

ตัวอย่างการทำตารางการตรวจสอบ

ตารางการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

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

ตารางการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

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

ตารางการวิเคราะห์ผลน้ำเสีย

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

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

6.4 การตรวจสอบอุปกรณ์

การตรวจสอบอุปกรณ์มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องสูบน้ำ ซึ่งถือได้ว่าเป็นเครื่องจักรกลที่สำคัญที่สุดในระบบผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากการไหลของน้ำเสียในระบบจะขึ้นอยู่กับเครื่องสูบน้ำเป็นหลักดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการตรวจสอบเครื่องสูบน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาโดยจะทำการตรวจสอบและบันทึกผลลงในตารางบันทึก ผลประจำวันของเครื่องจักรแต่ละชนิดซึ่งในที่นี่จะยกตัวอย่างตารางการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องสูบน้ำ(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องจักรที่สำคัญของระบบ โดยตารางการตรวจสอบมีรายละเอียดดังนี้

การตรวจวัดการใช้พลังงานของมอเตอร์

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

สมการในการคำนวณ PF = $\frac{Pm}{\sqrt{3}xVxI}$

L = $\frac{Pm}{Pi} \times 100$

เมื่อ 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 = $\frac{Pm}{Pi} \times 100$

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

= 45.74 %

จากข้อมูลการตรวจวัดดังตาราง

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

การคำนวณค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

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

$$PF = \frac{10.06 \, x \, 1,000}{\sqrt{3 x 378 \, x \left[\frac{29.7+29.7+29.6}{3}\right]}}$$

$$= 0.53$$

จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ที่ใช้มีขนาดใหญ่เกินไป สามารถทำการเปลี่ยนมอเตอร์ให้เป็น 11 kW เพื่อใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ โดยมีภาระใช้งานเป็นภาระการใช้งาน

$$= \frac{11}{9.43} \text{ X } 100$$

$$= 85.72 \%$$

การบันทึกข้อมูลการใช้งานของเครื่องสูบน้ำ

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

การบันทึกข้อมูลตรวจสอบเครื่องสูบน้ำ

การบำรุงรักษา	ผลการตรวจสอบและแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
การตรวจสอบทุกวัน					
1. อุณหภูมิของร่องลื่น(แบริ่ง)					
2. ความดันท่อดูดและท่อจ่าย					
3. การรั่วซึมจากกันรั่ว					
4. การหล่อลื่นกันรั่ว					
5. โหลดของปั๊มน้ำ					
6. ระดับเสียงและการสั่นสะเทือน					

การบันทึกข้อมูลตรวจสอบเครื่องสูบน้ำ (ต่อ)

การบำรุงรักษา	ผลการตรวจสอบและแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
7. ระดับน้ำมันหล่อลื่นที่มาหล่อเลี้ยงร่องลื่น					
การตรวจสอบทุก 6 เดือน					
1.การให้ศูนย์ระหว่างเครื่องสูบน้ำกับมอเตอร์ต้นกำลัง					
2. การเติมน้ำมันให้กับร่องลื่น					
การตรวจสอบทุก 1 ปี					
1. การรั่วตามเพลาและการซ่อมบำรุงกันรั่ว					
2. การสึกของปลอกเพลา					
3. ช่องว่างระหว่างใบพัดกับแหวนเล็ก					
4. การทดสอบและปรับแก้มิเตอร์ที่ใช้วัด					
5. การทดสอบและปรับแก้มิเตอร์ไฟฟ้า					
6. เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นของร่องลื่น					

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

บทที่ 7
กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ(Biogas)

บทที่ 7

กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ(Biogas)

7.1 กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในประเทศไทย

จากสถิติการเกิดอุบัติเหตุและสาเหตุที่เกิดในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ผ่านมาสำหรับประเทศไทยเท่าที่สามารถรวบรวมจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้ จากเอกสารทางวิชาการ หนังสือพิมพ์และสื่อต่างๆ โดยเฉพาะรายที่ได้รับความเสียหายถึงแก่ชีวิตและทรัพย์สินซึ่งต้องหยุดดำเนินกิจการชั่วคราวและเจ้าของกิจการนั้นๆต้องแจ้งให้อุตสาหกรรมจังหวัดทราบ เพื่อส่งเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเข้าดำเนินการสอบสวนและตรวจสอบหาสาเหตุของอุบัติเหตุก่อนที่จะรับรองให้เปิดการดำเนินกิจการต่อไป หน่วยงานราชการที่มีอำนาจหน้าที่เข้าตรวจสอบและเกี่ยวข้องกับโรงงานอุตสาหกรรมได้แก่ กรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยส่วนใหญ่สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัยจะส่งวิศวกรชำนาญการออกปฏิบัติงานเพื่อดำเนินการสอบสวนและสรุปรายงานไว้เป็นกรณีศึกษา ซึ่งพพ.ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลรายละเอียดของสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุและแนวทางการแก้ไขไว้ เพื่อให้ผู้ที่ได้รับคู่มือฉบับนี้ได้รับความรู้ ความเข้าใจร่วมกันถึงสิ่งที่เกิดขึ้นและได้ตระหนักถึงผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคตหากใช้ก๊าซชีวภาพอย่างไม่ระมัดระวัง แม้เพียงสิ่งเล็กน้อยที่คุ้นเคย หรือมองข้ามไปอาจเป็นภัยพิบัติอย่างมหัตภายภาคหน้าได้ เพราะฉะนั้นผู้ปฏิบัติหน้าที่จึงควรหันมาใส่ใจและจริงจังกับการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างรู้ทัน ไม่ประมาทเพื่อความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินในองค์กรนั้นๆ

กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพได้รวบรวมไว้เริ่มตั้งแต่ปี 2549 จนถึงปัจจุบัน(2555)เท่าที่มีรายงานปรากฏเป็นหลักฐานบันทึกไว้ มีจำนวน 11 กรณี ดังนี้

1. การสูดดมสารพิษในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ณ โรงงานฟาร์มเลี้ยงหมู อ.เมือง จ.ราชบุรี ปี 2549
2. การทำงานในที่อับอากาศใกล้บ่อพักน้ำเสีย ณ โกดังข้าวโพดอัดแห้งแสงรัตน์ปากช่อง จ. นครราชสีมา เมื่อ 30 กรกฎาคม 2549
3. การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องสูบส่งก๊าซ ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังบริษัท สระแก้วเจริญ อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ 27 กันยายน 2549 เวลาประมาณ 4.40 น.
4. การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท เอี่ยมบูรพา จำกัด อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24 กันยายน 2551 เวลาประมาณ 14.00 น.
5. การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.นครราชสีมา เมื่อ 2 พฤษภาคม 2552

6. การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อนซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จ.กาฬสินธุ์ เมื่อ 16 มิถุนายน 2552 เวลาประมาณ 21.30 น.
7. การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อนซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เมื่อ 10 ธันวาคม 2552 เวลาประมาณ 20.00 น.
8. การเกิดเพลิงไหม้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัทชัยภูมิสตาร์ช จำกัด ต.ละหาน อ.จัตุรัส จ.ชัยภูมิ เมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2554 เวลาประมาณ 14.00 น.
9. การสูดดมก๊าซพิษจากบ่อตกตะกอนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย โรงงานสกัดปาล์มน้ำมันของบริษัท ยูนิวานิช น้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) อ.ปลายพระยา จ.กระบี่ เหตุเกิดเมื่อวันที่ 9 มีนาคม 2555 เวลา 17.30 น.
10. การเกิดเพลิงไหม้จากฟ้าผ่าของโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพของบริษัท คาสซาวา เวสท์ ทู เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด ต.โพนทอง อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ เหตุเกิดเมื่อวันที่ 7 พค.2555 เวลา 21.23
11. การสูดดมก๊าซพิษจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรและผลิตอาหารสัตว์ของบริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์ จำกัด เลขที่ 79/1 หมู่ที่ 1 ตำบลห้วยยางโทน ที่อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี ทำให้ขาดอากาศหายใจ เสียชีวิต 5 คน เมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม 2555

กรณีที่ 1 การสูดดมสารพิษในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

สถานที่เกิดอุบัติเหตุ : โรงงานฟาร์มเลี้ยงหมู จังหวัดราชบุรี คนงานเสียชีวิตจำนวน 5 คน

รายละเอียดของข่าว : จากข้อมูลในปี พ.ศ.2549 มีรายงานการสอบสวนโรคพิษจากก๊าซและการขาดอากาศหายใจ (Toxic gas and asphyxia) และข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ ปรากฏว่ามีการรั่วไหลของก๊าซที่ก่อให้เกิดผลต่อสุขภาพ ในรายงานกล่าวว่ามีการเสียชีวิตของคนงานในโรงงานฟาร์มหมู จังหวัดราชบุรี จากการสูดดมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากบ่อดักก๊าซชีวภาพ ทำให้มีผู้เสียชีวิต 5 ราย ขณะลงไปติดตั้งท่อ พีวีซี ในบ่อกว้าง 3 เมตร ลึก 4 เมตร เพื่อสูบน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียเข้าสู่บ่อหมักก๊าซชีวภาพ สาเหตุสำคัญของการเสียชีวิต คือ การขาดความรู้ในการป้องกันตนเองในการปฏิบัติงาน

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ : สูดดมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากบ่อดักก๊าซชีวภาพและขาดความรู้ในการป้องกันตนเองในการปฏิบัติงาน

กรณีที่ 2 การทำงานในที่ที่อับอากาศ

สถานที่เกิดอุบัติเหตุ : คนงานเสียชีวิตจำนวน 4 คน ในโกดังข้าวโพดอัดแห้งแสงรัตน์ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

รายละเอียดของข่าว : รายงานข่าวกล่าวว่ามีคนงานเสียชีวิต 4 รายที่โกดังข้าวโพดอัดแห้งแสงรัตน์ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ภายในโรงงานมีเครื่องจักรทำงานและมีช่องท่อสายพานตักข้าวโพดขนาด 1.5 x 3 เมตรลึกลงไปใต้ดินประมาณ 3 เมตร มีบันไดเหล็กเดินลงไปได้ คนงานเดินลงไปในช่องท่อสายพานเพื่ออัดจาระบีสายพานทุก 15 วัน ปกติจะมีการเปิดฝาช่องทางลงก่อน 1 วัน เพื่อระบายอากาศ เรื่องแบบนี้แม้จะไม่ค่อยได้ยินบ่อยนักแต่ก็เกิดซ้ำซากอยู่เหมือนกัน เหตุเกิดได้ทุกสถานการณ์ที่มีการเข้าไปอยู่ในที่อับอากาศ โดยเฉพาะเมื่อภายในสถานที่นั้นมีก๊าซพิษผสมอยู่ด้วย ในกรณีนี้พิสูจน์ทราบว่าก๊าซพิษนั้นเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่าซึ่งมีกลิ่นฉุน การสูดดมเข้าไปมากๆจะหมดสติทันทีและถึงเสียชีวิตได้ กลิ่นของก๊าซนี้เป็นสัญญาณเตือนอันตรายให้ถอยห่าง แต่เมื่อสูดดมเข้าไปเล็กน้อยประสาทสัมผัสกลิ่นจะตายก่อนทำให้ไม่สามารถรับรู้กลิ่นอีกได้ต่อไป ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดจากการย่อยสลายวัตถุอินทรีย์ที่มาจากพืชหรือสัตว์ในที่อับอากาศโอกาสที่จะเกิดก๊าซไข่เน่าขึ้นนี้ ได้แก่บริเวณบ่อพักน้ำเสีย บ่อหมัก ท่อระบายน้ำ เป็นต้น

(ที่มา : หนังสือพิมพ์เดลินิวส์ ฉบับวันที่ 30 กรกฎาคม 2549)

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ : อยู่ในที่อับอากาศและสูดดมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์(ก๊าซไข่เน่า)จากบ่อบำบัดน้ำเสีย ช่วยเหลือตัวเองไม่ได้หลังจากสูดดมก๊าซพิษเข้าไปในร่างกาย

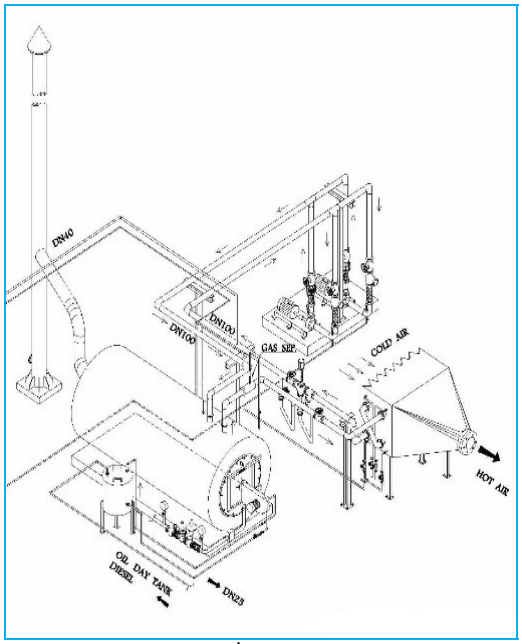
กรณีที่ 3 การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องสูบส่งก๊าซ

สถานที่เกิดอุบัติเหตุ : โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อำเภอเมือง จังหวัดสระแก้ว เกิดการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องสูบส่ง มีผู้เสียชีวิตจำนวน 2 คน บาดเจ็บสาหัส 1 คน ทรัพย์สินเสียหายประมาณ 1 แสนบาท

รายละเอียดของข่าว : เหตุเกิดขึ้นที่ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ วันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2549 เวลา 4.30-5.00 น. พบว่า บ่อผลิตก๊าซแบบผ้าใบคลุมขนาด 80 x 220 เมตร (2 บ่อ) ขอบผ้าใบยึดโยงด้วยเชือกไนล่อน ซีลด้วยน้ำ ดังแสดงใน**รูปที่ 7-1** มีรอยฉีกขาดและมีก๊าซรั่วไหลโดยทั่วไป มีวัชพืชขึ้นชิดขอบบ่อที่อาจทำให้เกิดการติดไฟได้ง่าย ลมร้อนที่ใช้สำหรับอบแป้งมีอุณหภูมิต่ำมากจนอบแป้งไม่แห้ง

รูปที่ 7-1 สภาพการฉีกขาดรอบขอบบ่อที่ซีล (seal) ด้วยน้ำ

จากการสอบสวนจากผู้อยู่ในเหตุการณ์เล่าว่า เมื่อหัวหน้างานและช่างจากฝ่ายผลิต 3 คน ตรวจพบว่าน้ำมันร้อนจากหม้อน้ำมันร้อนมีอุณหภูมิต่ำเกินไป โดย Burner ที่ใช้ Biogas ร่วมกับน้ำมันเตาได้ดับลง เนื่องจากแรงดันก๊าซชีวภาพไม่เพียงพอ ช่างทั้ง 3 คนพากันเดินมาตรวจสอบที่ห้องสูบส่งก๊าซ (Gas Station) ซึ่งผนังห้องเป็นคอนกรีตทึบทุกด้าน มีช่องระบายอากาศด้านบนติดหลังคาดังแสดงใน **รูปที่ 7-2** ผังแสดงการวางตำแหน่งของเครื่องจักรต่างๆภายในห้องสูบส่งก๊าซ เมื่อถึงห้องสูบส่งช่างทั้ง 3 คน พบว่ามีการรั่วไหลของ Biogas ที่ท่อส่งก๊าซอย่างรุนแรงในห้องสูบส่งก๊าซ ขณะที่เดินเข้าไปในห้อง ช่างได้กดสวิทซ์ไฟที่ข้างประตูทำให้ก๊าซที่รั่วไหลเกิดการจุดระเบิดขึ้น เปลวไฟได้ลวกช่างทั้ง 3 คน จนได้รับบาดเจ็บสาหัส และ เสียชีวิตต่อมา 2 คน ทรัพย์สินเสียหายประมาณ 100,000.-บาท

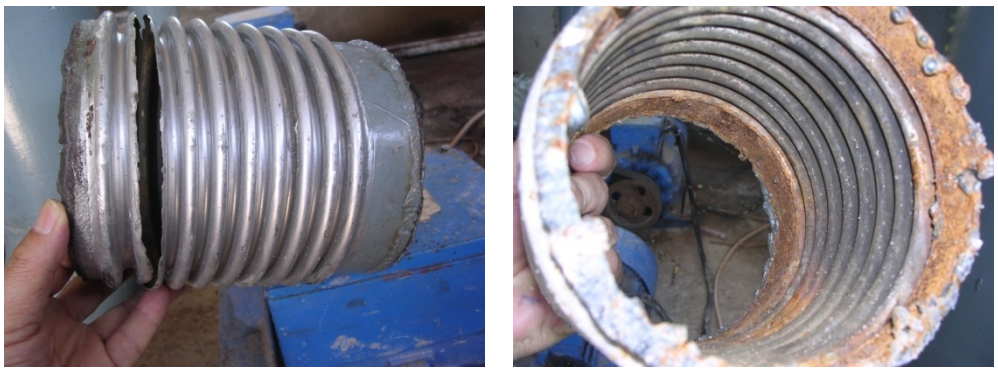


รูปที่ 7-2 ผังแสดงการวางตำแหน่งของเครื่องจักรต่างๆภายในห้องสูบส่งก๊าซของโรงงาน

จุดที่ก๊าซชีวภาพรั่วไหลเกิดขึ้นที่ข้อต่อรับการขยายตัว (Expansion Joint) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ท่อทางออกของ Blower สูบส่งก๊าซ ดังแสดงใน**รูปที่ 7-3** ถึง **รูปที่ 7-5**

รูปที่ 7-3 สภาพของห้องสูบส่งก๊าซชีวภาพ(Gas Station)

รูปที่ 7-4 สภาพข้อต่อรับการขยายตัวที่แตกรั่วหลังเกิดอุบัติเหตุ



รูปที่ 7-5 ลักษณะการฉีกขาดของข้อต่อรับการขยายตัวที่แตกออกหลังเกิดอุบัติเหตุ

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ : ข้อต่อรับการขยายตัวแตกทำให้ก๊าซชีวภาพรั่วออกมา ก๊าซที่รั่วไหลได้เกิดการจุดระเบิดขึ้น จากการวิเคราะห์สาเหตุการแตกรั่ว ของเจ้าหน้าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมที่เข้าตรวจสอบ พบว่า

- การเลือกใช้และติดตั้งข้อต่อรับการขยายตัวที่ไม่เหมาะกับงาน เนื่องจากตำแหน่งที่ติดตั้งไม่มีการขยายหรือหดตัวของท่อส่งก๊าซ แต่มีการสั่นสะเทือนจากBlower ซึ่งติดตั้งบนแท่นยึดแข็งโดยไม่มีระบบป้องกันการสั่นสะเทือน
- ข้อต่อรับการขยายตัวเสียหายจากการล้าตัว ข้อต่อมีการสะบัดตัวในจังหวะหยุดและจังหวะสตาร์ทของ Blower ทำให้เกิดแรงดัดตัวซ้ำๆ

- มีการผุกร่อนและการกัดกร่อนจาก O_2 , H_2CO_3 , H_2SO_4 ภายในข้อต่อรับการขยายตัว ซึ่งเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 และไฮโดรเจนซัลไฟด์ H_2S ใน Biogas รวมตัวกับน้ำหรือความชื้น H_2O

แหล่งจุดระเบิด (Ignition Source) ในอุบัติเหตุครั้งนั้น พบว่า

- อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดเป็นแบบไม่ป้องกันการระเบิด เช่นมอเตอร์ ปลั๊ก สวิตช์ หลอดไฟ และอุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุม ดังแสดงใน **รูปที่ 7-6**
- สวิตช์มอเตอร์ของ Blower บนแผงสวิตช์อยู่ห่างจากจุดที่ก๊าซรั่วประมาณ 1.20 เมตร

รูปที่ 7-6 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและสวิตช์มอเตอร์ของ Blower

กรณีที่ 4 การระเบิดของห้องเผาไหม้ซึ่งใช้ก๊าซชีวภาพ(Biogas)เป็นเชื้อเพลิง

สถานที่เกิดอุบัติเหตุ : โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว ระเบิดมีผู้บาดเจ็บ จำนวน 2 คน ทรัพย์สินเสียหาย 3 ล้าน

รายละเอียดของข่าว : เมื่อวันที่ 24 กันยายน 2551 ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ในจังหวัดสระแก้ว เกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้ซึ่งใช้ก๊าซชีวภาพ(Biogas)เป็นเชื้อเพลิง สำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน จากการสอบสวนสาเหตุการระเบิดของผู้เชี่ยวชาญที่เข้าตรวจวิเคราะห์ได้ลำดับเหตุการณ์ก่อนการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ไว้ดังนี้

- มีการดับเตาหม้อน้ำมันร้อน ประมาณ 12.00 น. และเริ่มพยายามจุดเตาหม้อน้ำมันร้อนที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง เวลาประมาณ 13.30 น. แต่จุดเตาไม่ได้ โดย Burner ไม่ทำงาน
- ช่างผู้ควบคุมหม้อน้ำมันร้อนและช่างไฟฟ้า ได้ตรวจสอบและพยายามซ่อมแซมระบบวาล์วจ่ายก๊าซและอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหัวเผา เพื่อให้จุดเตาได้
- เวลาประมาณ 14.00 น. ในขณะเปิดสวิตช์หัวเผาเพื่อจุดเตาหัวเผามีการทำงานโดยพัดลมมีการ Pre Purge ตามลำดับ เมื่อพัดลมหรี่ลมลงจนถึงขั้นตอนที่หัวเทียนจุดประกายไฟในห้องเผาไหม้ ปรากฏว่าทันทีที่หัวเทียนจุดประกายไฟ ก็เกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้ขึ้น (Furnace Explosion)
- แรงระเบิดทำให้ฝาหน้าของหม้อน้ำมันร้อนและคอยล์น้ำมันฝาหลังชำรุด หัวเผาหลุดร่วง ขดท่อน้ำมันที่ฝาหลังยืดตัวและแตกรั่วและมีน้ำมันถ่ายเทความร้อนรั่วไหล ทำให้มีผู้ได้รับบาดเจ็บเล็กน้อย 2 คน ทรัพย์สินเสียหายประมาณ 3 ล้านบาท ดัง**รูปที่ 7-7**

รูปที่ 7-7 สภาพหม้อน้ำมันร้อนและคอยล์น้ำมันและหัวเผาหลังเกิดอุบัติเหตุ

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ : เกิดจากก๊าซรั่วผ่าน Double Solenoid Valve และสะสมอยู่ในห้องเผาไหม้ปริมาณมาก เมื่อมีการจุดเตาก๊าซที่สะสมอยู่ในห้องเผาไหม้สัมผัสกับประกายไปของหัวเทียนทำให้เกิดการระเบิดขึ้น เจ้าหน้าที่สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรมเข้าสอบสวนอุบัติเหตุและวิเคราะห์สาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้ ดังนี้

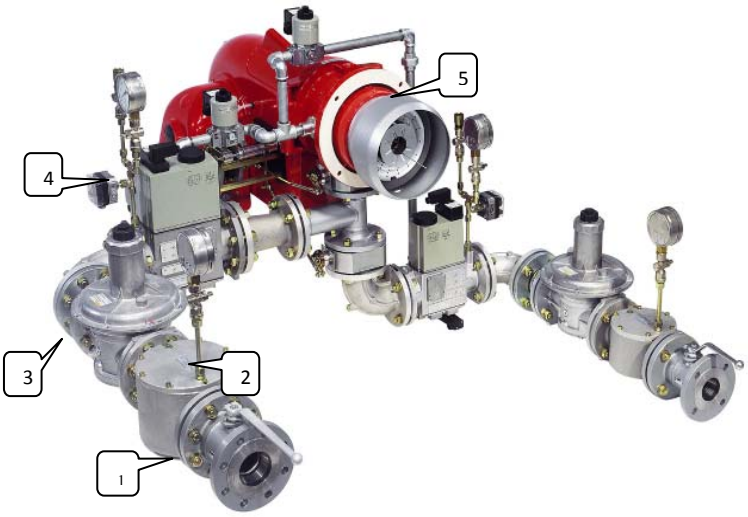
1. องค์ประกอบที่ทำให้เกิดการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

มีรายละเอียดดังนี้

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

2 ลักษณะของหัวเผาเชื้อเพลิงที่เกี่ยวข้องและการควบคุมการเผาไหม้

มีลักษณะดังแสดงใน **รูปที่ 7-8** และ**รูปที่ 7-9**



รูปที่ 7-8 อุปกรณ์ควบคุมก๊าซก่อนเข้าหัวเผาประกอบด้วย
1 Stop Valve 2 Strainer 3 Pressure Regulator
4 Double Solenoid Valve 5.Burner

รูปที่ 7-9 ลักษณะหัวเผาเป็นแบบ Rotary Cup และเป็น Combination Burner

สำหรับโรงงานนี้ลักษณะการใช้งานของหัวเผาและอุปกรณ์ควบคุมก๊าซมีรายละเอียดดังนี้

- หัวเผาเป็นแบบ Rotary Cup ผลิตจากประเทศเยอรมัน และเป็น Combination Burner
- จุดเตาโดยใช้ Electrode จุด LPG ให้ไฟติดเป็นPilot Burnerก่อน เนื่องจากน้ำมันเตาและ Biogas จะติดไฟยากในบางสภาวะ เมื่อ LPG. ติดไฟแล้วจึงป้อนน้ำมันเตาหรือ Biogas เข้าสู่เปลวไฟ

- การควบคุมการเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นระบบเร่งหรี่เชื้อเพลิงและอากาศ ตามภาระการใช้งาน (Modulating Control)

3. ลำดับการทำงานของหัวเผาตามมาตรฐานความปลอดภัย

- เมื่อสวิทช์ต่อวงจร ระบบนิรภัย Valve Proving Systems(VPS) จะตรวจสอบว่า Double Solenoid Valve (DSV) มีการรั่วของ Biogas ผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้หรือไม่ ถ้า VPS ไม่พบการรั่วไหลของก๊าซที่ DSV หัวเผาจะเริ่มทำงานตามลำดับ
- Flame Detector จะตรวจสอบความมืดทันที ถ้าห้องเผาไหม้มืดจะเปิดพัดลมเป่าอากาศผ่านห้องเผาไหม้ (Pre purge) ประมาณ 1-1.5 นาที เพื่อขจัดก๊าซเชื้อเพลิงออกจากห้องเผาไหม้ ถ้าพบความสว่างจะตัดระบบการทำงานทันที
- เมื่อการ Pre purge ครบตามเวลาที่กำหนด กระบวนการทำงานเป็นดังนี้
  - กระบังลมจะค่อยๆหรี่ลง เพื่อลดปริมาณลมที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ให้ต่ำสุด
  - หัวเทียนจะเริ่มจุดประกายไฟ Solenoid Valve ของ LPG จะเปิด LPG เข้า Pilot Burner เพื่อจุดนำให้เกิดเปลวไฟ
  - Flame Detector จะตรวจสอบการติดไฟของ LPG ที่ Pilot Burner ถ้าภายในประมาณ 3-5 sec.ไม่ติดไฟ จะแสดงด้วยสัญญาณเตือนภัยพร้อมตัดระบบการทำงานของหัวเผาทั้งหมด
  - เมื่อ Pilot Burner ติดไฟและเปลวไฟเป็นปกติ Double Solenoid Valve จะเปิด Biogas เข้าสู่ห้องเผาไหม้
  - Flame Detector จะตรวจสอบการติดไฟของ Biogas ถ้าไม่ติดไฟภายในประมาณ 3-5 sec. หัวเผาจะหยุดระบบการทำงานทั้งหมด แต่ถ้าติดไฟหัวเผาจะทำงานต่อเนื่องไป

4 ลำดับการทำงานของหัวเผา ในขณะเกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้

- ก่อนวันที่จะมีการระเบิดของห้องเผาไหม้ หัวเผามีปัญหาไม่ทำงาน โดยระบบนิรภัย VPS ได้ส่งสัญญาณเตือนภัยแสดงการรั่วของก๊าซชีวภาพผ่าน DSV หลังจากการซ่อมโดยช่างของโรงงาน หัวเผาสามารถกลับมาทำงานได้
- มีการติดเตาหม้อต้มน้ำมัน และใช้งานต่อเนื่องถึงเที่ยงของวันที่เกิดอุบัติเหตุและมีการดับเตาระหว่างเที่ยงถึงประมาณบ่ายโมงครึ่ง
- หลังบ่ายโมงครึ่ง ผู้ควบคุมหม้อต้มน้ำมันได้เริ่มจุดเตาใหม่ แต่ปรากฏว่าจุดเตาไม่ติดและพนักงานได้พยายามจุดเตาอยู่หลายครั้ง
- บ่าย 2 โมง ในขณะที่กำลังจุดเตา โดยพัดลมมีการไล่อากาศ (Pre Purge) ครบตามกำหนดเวลา ขณะนั้นมีพนักงานที่เกี่ยวข้องยืนอยู่บริเวณหน้าหัวเผาพบว่าหัวเทียนมี

การจุดประกายไฟแต่ในห้องเผาไหม้ไม่มีเปลวไฟและในขณะนั้น ก็ได้เกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้ขึ้น

5 หลักฐานการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

- Biogas มีความดันจาก Blower ประมาณ 270-350 mbar ปริมาณการผลิตประมาณ 500-600 m3/hr เมื่อผ่าน Regulator Valve ก่อนเข้าหัวเผา ปรับลดความดันเหลือประมาณ 150-230 mbar ขนาดท่อส่งก๊าซ และ Double Solenoid Valve Ø 100 และ 50 mm. เชื้อเพลิงมีโอกาสรั่วไหลสูง เนื่องจากอยู่ในรูปของก๊าซที่มีความดันและปริมาณสูงจึงอาจสะสมในห้องเผาไหม้ได้และมีโอกาสระเบิดได้ทั้งก่อนและหลังการ Pre Purge
- การใช้เชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำมันร้อนเครื่องนี้ ปกติสามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงร่วมระหว่าง น้ำมันเตากับ Biogas พร้อมกัน หรือเลือกใช้เชื้อเพลิงใดเชื้อเพลิงหนึ่งเพียงอย่างเดียวแต่ในวันที่เกิดอุบัติเหตุ โรงงานเลือกใช้เฉพาะ Biogas เพียงอย่างเดียว โดยตรวจพิสูจน์ได้จาก Burner Controlที่ติดตั้งอยู่ใน Control Panel ซึ่ง Sequence ของชุด Biogas ได้หยุดอยู่ที่ตำแหน่ง Pilot Burner กำลังจุด LPG

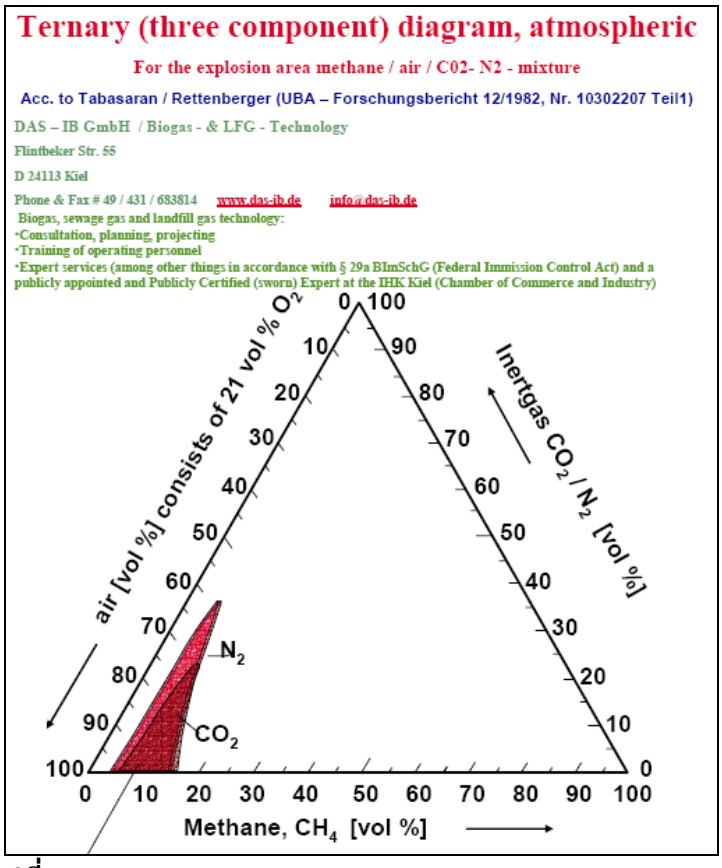
6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

หลังเกิดอุบัติเหตุได้นำก๊าซชีวภาพไปตรวจวิเคราะห์ด้วย Gas Analyzer ดังแสดงใน**รูปที่ 7-10** และผลการตรวจวิเคราะห์ สรุปได้ดังนี้

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

รูปที่ 7-10 ผลการนำก๊าซชีวภาพไปตรวจวิเคราะห์ด้วย Gas Analyzer

จากกรณีดังกล่าว ผู้เชี่ยวชาญ(ศุภวัฒน์ ธาดาจารุมงคล วิศวกร 8)จากสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้อธิบายถึงทฤษฎีการเกิดการติดไฟของก๊าซชีวภาพตามไดอะแกรมที่เรียกว่า Ternary (three component) diagram, atmospheric ดังแสดงใน**รูปที่ 7-11** และกล่าวว่าคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่สามารถจุดติดไฟเองได้มีเงื่อนไขการลุกติดไฟอัตโนมัติของก๊าซชีวภาพ (Biogas) นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Biogas , Natural Gas , Town Gas (LPG) ไว้ใน**ตารางที่ 7-1**



รูปที่ 7-11 Ternary (three component) diagram, atmospheric

เงื่อนไขการลุกติดไฟอัตโนมัติของก๊าซชีวภาพ (Biogas) สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อ

- Autoignition temperature : 595 °C
- Flammability limits in air (STP conditions) : 5.0-15.0 vol.%
- ช่วงการลุกไหม้ ; จะไม่ลุกไหม้หรือเปลวไฟดับเมื่อ

  CH_4ในบรรยากาศ < 5 % (Lower Explosive Limit),

  CH_4ในบรรยากาศ >15 % (Upper Explosive Limit)
- Specific Hazards ;Exposure to fire may cause containers to rupture/explode.
- Max. ignition velocity , Biogas (60% CH_4, 38% CO_2, 2% Other); 0.25 m/s

- General Behavior : Risk of corrosion by gas contained impurities (CO, CO_2, H_2S) in presence of moisture.

ตารางที่ 7-1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ Biogas , Natural Gas , Town Gas (LPG)

Parameter	Unit	Natural Gas	Town Gas	Biogas
Calorific value (lower)	MJ/m^3	36.14	16.1	21.48
Density	Kg/m^3	0.82	0.51	1.21
Wobbe index (lower)	MJ/m^3	39.9	22.5	19.5
Max. ignition velocity	m/s	0.39	0.70	0.25
Theor. Air requirement	$M^3 air/m^3 gas$	9.53	3.83	5.71
Max.CO_2-conc.in stack gas	Vol%	11.9	13.1	17.8
Dew point	^oC	59	60	60-160

7 อุปกรณ์ควบคุมก๊าซต่าง ๆที่ใช้ในห้องเผาไหม้ของโรงงาน เช่น

วาล์วที่ใช้ในห้องเผาไหม้ ได้แก่

- **Double Solenoid Valve**
  - ขนาด DN 100 เป็นวาล์วไฟฟ้า สำหรับปิด-เปิดก๊าซชีวภาพเข้าสู่หัวเผาแบบอัตโนมัติ ผลิตตามมาตรฐานเยอรมัน-ยุโรป ดัง**รูปที่ 7-12**

รูปที่ 7-12 ลักษณะของ Double Solenoid Valve

- **Valve Proving Systems**

เป็นระบบนิรภัย ตามาตรฐานเยอรมัน-ยุโรป ติดตั้งคู่กับ Double Solenoid Valve ทำหน้าที่ตรวจสอบการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพผ่าน Double Solenoid Valve เมื่อหัวเผาเริ่มทำงาน ถ้ามีการรั่วของก๊าซผ่านวาล์วจะแสดงด้วยสัญญาณเตือนภัยไฟสีแดงพร้อมตัดระบบการทำงานของหัวเผาทั้งหมด ดังแสดงใน **รูปที่ 7-13**

รูปที่ 7-13 ลักษณะของ Valve Proving Systems

- **ข้อกำหนดใช้งาน** ใช้ได้กับก๊าซแห้งที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 0.1%(ไม่เกิน 1000 ppm.)โดยปริมาตร

สาเหตุที่ทำให้ Biogas รั่วผ่าน Double Solenoid Valve เข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้ ดังกรณีต่อไปนี้

- เมื่อหน้าวาล์วและบ่าวาล์วสกปรก
- เมื่อหน้าวาล์วหรือบ่าวาล์วชำรุด
- เมื่อสปริงกดวาล์วสึกกร่อน แตกหัก
- เมื่อก้านวาล์วและรูสกปรก ทำให้ค้ำยัน หรือติดตายในตำแหน่งวาล์วเปิด
- มีการลัดวงจรไฟฟ้าในตำแหน่งให้วาล์วเปิด

จากการถอดชิ้นส่วนของวาล์วออกมาตรวจสอบพบว่า :

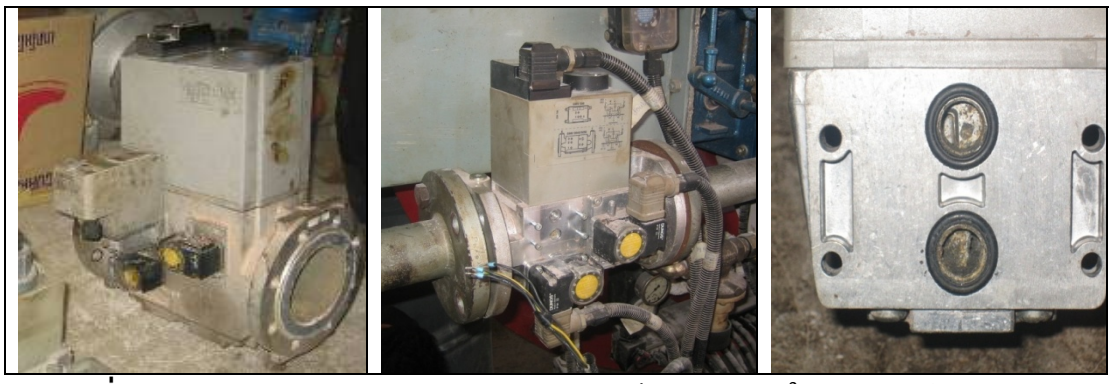
1. **Double Solenoid Valve มีประวัติการชำรุด** สปริงกดวาล์วและบ่าวาล์วมีการสึกกร่อนผุกร่อนเป็นรูพรุน(Pitting) และเคยมีการแตกหักบ่อยครั้ง ซึ่งทำให้เกิด การรั่วไหลของก๊าซชีวภาพผ่าน Double Solenoid Valve เข้าสู่ห้องเผาไหม้จนติดเตาไม่ได้หลายครั้ง ดัง**รูปที่ 7-14**

รูปที่ 7-14 ลักษณะการสึกกร่อนเป็นรูพรุน(Pitting)ของ Double Solenoid Valve

2. **สภาพก้านวาล์วและรูก้านวาล์วตัวล่างสกปรกมาก** มีเมือก ตะกอนสะสมอยู่ในรูก้านวาล์ว ทำให้ฝืดและขัดตัว ก้านวาล์วถูกตะกอนสกปรกค้ำยัน เป็นเหตุให้วาล์วเปิดค้าง หรือปิดไม่สนิท ทำให้ Biogas รั่วไหลอย่างรุนแรง ดัง**รูปที่ 7-15**

รูปที่ 7-15 ลักษณะของก้านวาล์วและรูก้านวาล์วตัวล่างสกปรกมาก

3. **Valve Proving Systems ไม่ตัดระบบการทำงาน** ของหัวเผาสาเหตุเนื่องมาจาก Valve Proving Systems มีการชำรุด รูส่งก๊าซเพื่ออัดทดสอบการรั่วของ Double Solenoid Valve มีการอุดตัน เมื่อทดสอบทำงาน ความดันจะถึง 20 mbarทันที ระบบนิรภัยจึงล้มเหลว ดัง**รูปที่ 7-16**



รูปที่ 7-16 สภาพของ Valve Proving Systems มีการชำรุดทำให้ระบบนิรภัยล้มเหลว

4. **จากการทดลองต่อวงจรให้ Valve Proving Systems ทำงาน** พบว่าการอุดตันหรือติดตายของรูส่งก๊าซนี้ ทำให้ปั้มก๊าซทำงานและหยุดทันที ซึ่งแสดงว่าเกิดความดันย้อนกลับประมาณ 20 mbar เสมือนไม่มีการรั่วของก๊าซที่ Double Solenoid Valve หลังจากนั้นภายในประมาณ 10 วินาที จะปรากฏไฟสีเหลืองหรือผ่านการทดสอบและระบบนิรภัย VPS จะต่อวงจรของหัวเผา ให้สามารถทำงานต่อเนื่องไป

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่าสาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้ ดังนี้

- มี Biogas ที่ความดันประมาณ150-230 mbar (Capacity ประมาณ 500 m^3/hr)รั่วไหลอย่างมาก ผ่าน Double Solenoid Valve ขนาด DN 100 mm. เข้าสู่ห้องเผาไหม้ตลอดเวลา จนมีความเข้มข้นของมีเทนในอากาศอยู่ระหว่าง Lower Explosive Limit ; LEL กับ Upper Explosive Limit ;UEL คือ 5-15.0 vol.% การรั่วของ Double Solenoid Valve เกิดจากก้านวาล์วและรูก้านวาล์ว ชุดล่างสกปรกมาก มีเมือกและตะกอนสะสมอยู่ในรูก้านวาล์ว จนทำให้ก้านวาล์วถูกตะกอนสกปรก ค้ำยัน วาล์วจึงเปิดค้างและเป็นสาเหตุให้ Biogas รั่วไหลอย่างมากตลอดเวลา
- มีการชำรุดของระบบนิรภัย Valve Proving Systems (VPS) ซึ่งเป็นระบบนิรภัยสำหรับตรวจสอบการรั่วของ Double Solenoid Valve การชำรุดของ VPS นี้ ทำให้มีการต่อวงจรให้หัวเผาทำงานได้ แม้จะมีการรั่วของ Biogas เข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยการชำรุดของ VPS เกิดขึ้นจาก Solenoid Valve ของ VPS ติดตายทำให้การปิด-เปิดของรูลิ้นด้านอัดเกิดการติดตายและอุดตัน ส่งผลให้เมื่อปั้มก๊าซใน VPS เริ่มทำงาน เพื่ออัดความดันทดสอบการรั่วของวาล์ว จะเกิดความดันย้อนกลับทันทีประมาณ 20 mbar ซึ่งทำให้ปั้มหยุดทำงานทันที เสมือนไม่มีการรั่วของก๊าซที่ Double Solenoid Valve ระบบนิรภัยนี้จึงล้มเหลว ซึ่งหลังจากนั้นภายในประมาณ 10 วินาที จะปรากฏไฟสีเหลืองหรือแสดงผลผ่านการทดสอบ และต่อวงจรของหัวเผา ให้สามารถทำงานต่อเนื่องไป
- หัวเผามีการจุดประกายไฟ และมีการเปิด LPG เข้าสู่ Pilot Burner จุดเป็นเปลวไฟ ซึ่งทั้งประกายไฟและเปลวไฟเป็น Ignition Source จึงทำให้เกิดการติดไฟและการระเบิดของ Biogas ซึ่งมีความเข้มข้นของมีเทนในอากาศอยู่ระหว่าง LEL กับ UEL คือ 5-15.0 vol.% จากการรั่วไหลต่อเนื่องและสะสมปริมาณมากในห้องเผาไหม้

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

กรณีที่ 5 การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อนซึ่งใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

สถานที่เกิดอุบัติเหตุ : โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เกิดการระเบิด ไม่มีรายงานผู้บาดเจ็บและเสียชีวิต

รายละเอียดของข่าว เหตุเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม 2552 ในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.นครราชสีมา เกิดการระเบิดสาเหตุเหมือนกับอุบัติเหตุในกรณีที่ 3 และ 4 สำหรับรายนี้แรงระเบิดภายในห้องเผาไหม้ ทำให้ฝาหน้าของหม้อน้ำมันหลุดออก Burner และอุปกรณ์ต่อเนื่องแตกหักชำรุดเสียหาย ท่อส่งก๊าซ และ Double Solenoid Valve สกปรกมาก ทำให้วาล์วค้างและก๊าซรั่วไหลผ่านเข้าห้องเผาไหม้ตลอดเวลา และความสกปรกทำให้ Valve Proving System เกิดการชำรุดอุดตัน ส่งผลให้ระบบนิรภัยของหัวเผาล้มเหลว หัวเผาทำงานแบบลัดวงจร ดัง **รูปที่ 7-17** และ **รูปที่ 7-18**

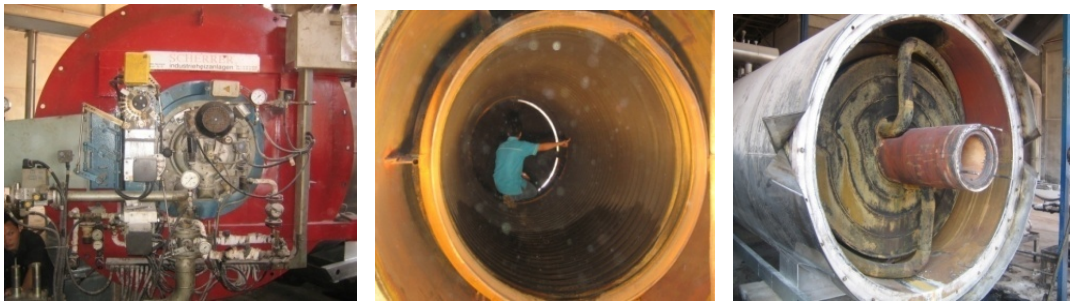
รูปที่ 7-17 สภาพฝาหม้อน้ำที่อยู่ในห้องเผาไหม้หลังเกิดเหตุ

รูปที่ 7-18 สภาพวาล์วที่อยู่ในห้องเผาไหม้หลังเกิดเหตุ

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ : ก๊าซชีวภาพรั่วไหลผ่านเข้าห้องเผาไหม้ตลอดเวลา จากการพิสูจน์ของเจ้าหน้าที่สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม สรุปสาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้ เหมือนกับกรณีที่ 4 เนื่องมาจากอุปกรณ์ชำรุดขาดการดูแลบำรุงรักษา ส่งผลทำให้ท่อส่งก๊าซ และ Double Solenoid Valve สกปรกมาก ทำให้วาล์วค้างและก๊าซรั่วไหลผ่านเข้าห้องเผาไหม้ตลอดเวลาและความสกปรกทำให้ Valve Proving System เกิดการชำรุดอุดตัน ส่งผลให้ระบบนิรภัยของหัวเผาล้มเหลว

กรณีที่ 6 การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง

เหตุเกิดขึ้น ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2552 การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน เกิดขึ้นในขณะที่ Burner กำลังทำงานโดยเผาน้ำมันร่วมกับก๊าซชีวภาพในตำแหน่ง High Fire แล้วเกิดการดับของเปลวไฟ ผู้ควบคุมหม้อน้ำมันร้อน ได้กดสวิตช์ Burner Reset ทันที หลังจากนั้นประมาณ 5 วินาที ห้องเผาไหม้ก็ระเบิดขึ้นทำให้ขดท่อน้ำมันที่ผนังหลังถูกแรงระเบิดเคลื่อนตัวถอยหลังประมาณ 30 เซนติเมตร โดยไม่มีการแตกรั่วของท่อ ฝานิรภัยที่ผนังหลังมีการเปิดระบายความดันออกจากห้องเผาไหม้ ดัง**รูปที่ 7-19**



รูปที่ 7-19 สภาพขดท่อน้ำมันที่ผนังหลังถูกแรงระเบิดเคลื่อนตัวถอยหลังประมาณ 30 เซนติเมตร

ผู้เชี่ยวชาญกรมโรงงานอุตสาหกรรมเข้าดำเนินการสอบสวนและลำดับเหตุการณ์ของการเกิดอุบัติเหตุ โดยสรุปวิเคราะห์สาเหตุตามลำดับดังนี้

1. หม้อน้ำมันร้อนกำลังทำงานโดยเผาน้ำมันร่วมกับก๊าซชีวภาพในตำแหน่ง High Fire
   - เวลาประมาณ 20.00 น. สัญญาณกระดิ่งที่ตู้ควบคุมดัง พร้อมหลอดไฟแดงสว่างขึ้น แสดงถึงเปลวไฟในห้องเผาไหม้ดับ
   - ทันทีที่ผู้ควบคุมเห็นสัญญาณแสดงเปลวไฟดับ ได้กดสวิตช์ Burner Reset ใหม่ในทันที
   - หลังจากกดสวิตช์ Burner Reset ใหม่ประมาณ 5-10 วินาที ก็ได้ยินเสียงระเบิดที่หม้อน้ำมันร้อน พร้อมมีควันไฟกระจายตัวออกด้านหลังของหม้อน้ำมันร้อน
   - หลังจากเสียงระเบิด พบว่าขดท่อน้ำมันที่ผนังหลังถูกแรงระเบิดเคลื่อนตัวถอยหลังประมาณ 30 เซนติเมตร แต่ไม่มีการแตกรั่วของท่อน้ำมัน โดยฝานิรภัยที่ผนังหลัง มีการเปิดระบายความดันออกจากห้องเผาไหม้
   - ไม่พบความเสียหายของโครงสร้างหม้อน้ำมันร้อนในส่วนอื่นๆ และไม่มีผู้บาดเจ็บ
2. มีการตรวจสภาพทั่วไปของหม้อน้ำมันร้อน การตรวจทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมก๊าซและตรวจสภาพหัวเผา
   - วาล์วปิด-เปิดก๊าซ Double Solenoid Valve ทั้งสองชุด มีการรั่วไหลเล็กน้อย
   - Valve Proving Systems (VPS) มีการอุดตันและลัดวงจรทั้งสองชุด การอุดตันของ VPSทำให้ Burner ทำงานลัดขั้นตอน ไม่เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย ดัง**รูปที่ 7-20**

รูปที่ 7-20 สภาพของ Valve Proving Systems (VPS) มีการอุดตันและลัดวงจร

3. การตรวจสภาพภายในท่อส่งก๊าซชีวภาพ พบคราบตะกรันและตะกอนสกปรกสะสมอยู่มาก คราบตะกรันและตะกอนสกปรก เป็นสาเหตุที่ทำให้ Valve Proving Systems ชำรุดอุดตัน ดังแสดงในรูปที่ **7-21**

รูปที่ 7-21 สภาพภายในท่อส่งก๊าซชีวภาพที่มีตะกอนสกปรกสะสม

4. การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เปลวไฟดับ
   - ***ปริมาณก๊าซชีวภาพไม่เพียงพอ ความดันก๊าซต่ำเกินไปจนหัวเผาตัดดับ***
     กรณีนี้ เป็นระบบความปลอดภัยของหัวเผา เมื่อความดันก๊าซต่ำเกินไป หัวเผาจะตัดระบบการเผาไหม้ทั้งหมด และปิดวาล์วจ่ายก๊าซ ทำให้ไม่มีก๊าซป้อนเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นระบบป้องกันการระเบิดของห้องเผาไหม้
   - ***การอุดตันของไส้กรองก๊าซชีวภาพ ทำให้ก๊าซชีวภาพไม่เพียงพอ ส่วนผสมก๊าซ-อากาศบางเกินไป***

กรณีนี้ จากการตรวจสอบสภาพไส้กรอง ปรากฏว่าไส้กรองไม่มีการอุดตัน หัวเผาจึงไม่ดับจากสาเหตุนี้

- ***ค่ามีเทนในก๊าซชีวภาพแปรเปลี่ยนมาก จนส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศต่ำกว่า LEL หรือสูงกว่า UEL***

  กรณีนี้ จากการตรวจวิเคราะห์ด้วย Gas Analyzer ปรากฏว่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซอ่านค่าได้ไม่แน่นอน เนื่องจากมีน้ำปนในก๊าซมาก และรบกวนการทำงานเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

- ***ก๊าซชีวภาพมีน้ำปนมาก เมื่อก๊าซที่มีน้ำปนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำและขยายตัวประมาณ 1,600 เท่าแบบทันทีทันใด ทำให้บริเวณดังกล่าวขาดเชื้อเพลิงและอากาศ เปลวไฟจึงมีการกระพือดับ ขาดการระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซ หรือวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติอุดตัน ไม่มีระบบกำจัดความชื้นออกจากก๊าซชีวภาพ***

  กรณีนี้ จากการตรวจสภาพท่อส่งก๊าซ พบคราบตะกรันและตะกอนสะสมมาก และพบว่าที่ถังดักน้ำ (Knockout Drum) มีน้ำสะสมมาก เนื่องจากเกิดการอุดตันของวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติ (Auto Valve Drain)

5. การระเบิดในห้องเผาไหม้ เกิดขึ้นในขณะเดินเครื่องที่ High Fire แล้วเปลวไฟดับ สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ สามารถสรุปวิเคราะห์ได้ตามลำดับดังนี้

- ***เปลวไฟมีการกระพือดับ สาเหตุเกิดจากก๊าซชีวภาพมีน้ำปนมาก***

  ข้อวิเคราะห์ เมื่อก๊าซที่มีน้ำปนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะ เป็นไอน้ำและขยายตัวประมาณ1,600 เท่า ทันทีทันใด ทำให้เกิดบริเวณที่ขาดเชื้อเพลิงและอากาศ เปลวไฟจึงดับ สาเหตุพื้นฐานเกิดจาก

  1) ไม่มีระบบกำจัดความชื้นออกจากก๊าซชีวภาพ
  2) ขาดการระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซชีวภาพ เนื่องจากวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติอุดตันจากเมือกและตะกอน
  3) การกำจัด H_2S ขาดประสิทธิภาพ น้ำมีออกซิเจนปน จึงเกิดตะกอนและเมือก

- ***มีก๊าซชีวภาพไหลผ่าน DSV เข้าสู่ห้องเผาไหม้ในขณะเตาดับ และสะสมในห้องเผาไหม้***

  ข้อวิเคราะห์ ในขณะเตาดับ Flame Detector ต้องใช้เวลาตรวจสอบการดับของเปลวไฟ ก่อนจะสั่งตัดระบบเชื้อเพลิง จึงยังมีก๊าซป้อนเข้าห้องเผาไหม้ปริมาณมาก เนื่องจากวาล์วก๊าซเปิดในตำแหน่งเร่งสุด

- ***มีความร้อนสูงสะสมอยู่ที่ปูนทนไฟภายในห้องเผาไหม้ เป็น Ignition Source***

ข้อวิเคราะห์ ภายในห้องเผาไหม้ ปูนที่คอเตาและฝาหลังจะสะสมความร้อนจากการเผาไหม้ไว้สูงมากจึงสามารถจุดระเบิดก๊าซชีวภาพผสมอากาศ เมื่อมีความเข้มข้นระหว่าง LEL กับ UEL ได้

กรณีที่ 7 การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อนซึ่งใช้ Biogas เป็นเชื้อเพลิง

สถานที่เกิดอุบัติเหตุ : โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ในอำเภอห้วยผึ้ง จังหวัดกาฬสินธุ์

รายละเอียดของข่าว เกิดขึ้น ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จ.กาฬสินธุ์ เมื่อ วันที่ 24 มิถุนายน 2552 มีการระเบิดภายในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำมันร้อน แรงระเบิดทำให้ฝาด้านหน้าของหม้อน้ำมันร้อนพร้อมหัวเผาหลุดร่วงลงในระยะประมาณ 1 เมตร มีผู้ได้รับบาดเจ็บจากเศษวัสดุและเขม่ารวม 4 ราย เป็นพนักงานของโรงแป้งมัน 2 ราย เป็นพนักงานของบริษัทผู้รับเหมาติดตั้งหม้อน้ำมันร้อน 2 ราย ทรัพย์สินเสียหาย 1-3 แสนบาท

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ : เกิดการระเบิดภายในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำมันร้อน สาเหตุเหมือนกับกรณีที่ 5 และ กรณีที่ 6 ที่ผ่านมา ซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้ข้อมูลจากการสอบสวนเบื้องต้นของเจ้าหน้าที่ในจังหวัดกาฬสินธุ์

กรณีที่ 8 การเกิดเพลิงไหม้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย

สถานที่เกิดอุบัติเหตุ : โรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังบริษัท ชัยภูมิสตาร์ช จำกัด ต.ละหาน อ.จัตุรัส จ.ชัยภูมิ

รายละเอียดของข่าว เหตุการณ์เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2554 บ่อก๊าซชีวภาพผลิตไฟฟ้า ในโรงงานแป้งมันของบริษัท ชัยภูมิสตาร์ช จำกัด ต.ละหาน อ.จัตุรัส จ.ชัยภูมิ เกิดการระเบิดจนอาคารถล่มได้รับความเสียหาย แรงระเบิดที่ทะลักออกจากบ่อก๊าซชีวภาพพื้นที่กว่า 10 ไร่ กลายเป็นเปลวไฟขนาดใหญ่โหมเข้าใส่ตัวโรงงาน ส่งผลให้คนงาน 31 ราย ได้รับบาดเจ็บสาหัส หลังถูกไฟลวกและไหม้ร่างกายประมาณร้อยละ 90 ส่วนสาเหตุของการระเบิดจากการสอบสวนเบื้องต้นของเจ้าหน้าที่ตำรวจในท้องที่เปิดเผยว่า ผู้เห็นเหตุการณ์เล่าว่า ก่อนเกิดเหตุมีฝนตกลงมา ลมได้พัดเอาผ้าใบที่คลุมปากหลุมก๊าซชีวภาพ หรือก๊าซไบโอมีเทน ที่บรรจุอยู่ภายในหลุมประมาณ 20,000 คิว หลุดออก ทำให้ก๊าซรั่วลอยไปตามลม ซึ่งพัดผ่านเข้าไปในโรงงานที่คนงานกำลังทำงานอยู่ ประกอบกับภายในโรงงานกำลังมีการเชื่อมเหล็ก ทำให้เกิดประกายไฟลุกไหม้ไปตามก๊าซที่รั่วมาตามลม และยังทำให้บ่อก๊าซที่อยู่ใกล้กับโรงงานระเบิดเกิดเพลิงลุกไหม้ และมีผู้ได้รับบาดเจ็บถึง 36 คน มี 7 คน

ได้รับบาดเจ็บสาหัส โดยถูกไฟลวกตามร่างกายดัง**รูปที่ 7-22** และ **รูปที่ 7-23** ส่วนความเสียหายยังไม่สามารถประเมินได้ในขณะนั้น

รูปที่ 7-22 สภาพโรงงานที่เกิดการระเบิดและผู้ได้รับบาดเจ็บจากอุบัติเหตุถูกไฟลวกตามร่างกาย

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ : ก๊าซชีวภาพรั่วจากบ่อเก็บก๊าซซึ่งขณะนั้นมีการใช้เครื่องเชื่อมเหล็กก่อให้เกิดประกายไฟ ทำให้เกิดเพลิงลุกไหม้

รูปที่ 7-23 สภาพโรงงานหลังเกิดอุบัติเหตุไฟไหม้

ต่อมาในที่ปรึกษาได้เข้าสัมภาษณ์ถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาเป็นกรณีศึกษาของการทำคู่มือประเมินความเสี่ยงอันตรายและคู่มือระงับอุบัติเหตุจากการมีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ทางผู้จัดการบริษัทฯ เล่าว่า บริษัทฯมีอุปกรณ์ความปลอดภัยของระบบที่สั่งและติดตั้งจากผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศทุกชนิด โดยเฉพาะอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับต้องสั่งซื้อมาจากประเทศเยอรมันตัวละประมาณ 300,000 บาทซึ่งเมื่อเกิดเหตุจะใช้ได้ครั้งเดียวเท่านั้นก็จะต้องถอดออกไปเปลี่ยนเป็นชิ้นใหม่มาแทน แต่ด้วยเหตุสุดวิสัยเกินกว่าความคาดหมาย เวลาที่เกิดเหตุการณ์รวดเร็วมากยังไม่ถึง 3 วินาทีที่สัญญาณเตือนภัยจะดังขึ้นก็เกิดระเบิด มีเปลวไฟลุกไหม้อย่างรุนแรง ผู้ปฏิบัติงานที่ตายยังไม่มีโอกาสรู้ตัวเสียด้วยซ้ำ ทุกวันนี้ยังรู้สึกเสียใจทุกครั้งที่มีคนเข้าไปสอบถาม และความเสียหายล่าสุด(มิย.55) กล่าวว่ามีจำนวนผู้เสียชีวิตรวมทั้งสิ้น 24 ราย อาการสาหัสยังนอนโรงพยาบาลอีก 2 ราย สำหรับค่าเสียหายประมาณ 100 ล้านบาท ซึ่งปัจจุบันทางบริษัทฯยังมิได้รับค่าชดเชยความเสียหายจาก

บริษัทประกันภัย และได้ก่อสร้างอาคารหลังใหม่แทนอาคารหลังเก่าที่เสียหาย โครงสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพเป็นบ่อดิน ใช้ HDPE หนา 1.5 มิลลิเมตร เป็นวัสดุในการคลุมบ่อหมักก๊าซชีวภาพ โดยทางโรงงานมีการกักเก็บก๊าซชีวภาพวันต่อวัน ซึ่งผลิตได้วันละประมาณ 40,000 ลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ที่บริเวณรอบๆบ่อหมัก/เก็บก๊าซชีวภาพมีแนวรั้วล้อมรอบเพื่อป้องกันเปลวไฟด้วย ดัง**รูปที่ 7-24**

รูปที่ 7-24 สภาพบ่อหมักและการกักเก็บก๊าซชีวภาพที่สร้างขึ้นใหม่หลังเกิดอุบัติเหตุ

กรณีที่ 9 การสูดดมก๊าซพิษจากบ่อตกตะกอนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย

สถานที่เกิดอุบัติเหตุ : โรงงานสกัดปาล์มน้ำมันของบริษัท ยูนิวานิช น้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) อ.ปลายพระยา จ.กระบี่ เหตุเกิดเมื่อวันที่ 9 มีนาคม 2555 เวลา 17.30 น.

รายละเอียดของข่าว เหตุการณ์เกิดขึ้นจากคนงานทำความสะอาดบ่อบำบัดน้ำเสีย โรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน จ.กระบี่ ลงทำความสะอาดบ่อเก็บน้ำเสีย เกิดอาการแน่นหน้าอกหายใจไม่ออก เสียชีวิตคาบ่อ 3 ศพ เพื่อนคนงานลงไปช่วยสาหัสอีก 2 คาดสาเหตุเกิดจากแก๊สพิษภายในบ่อ

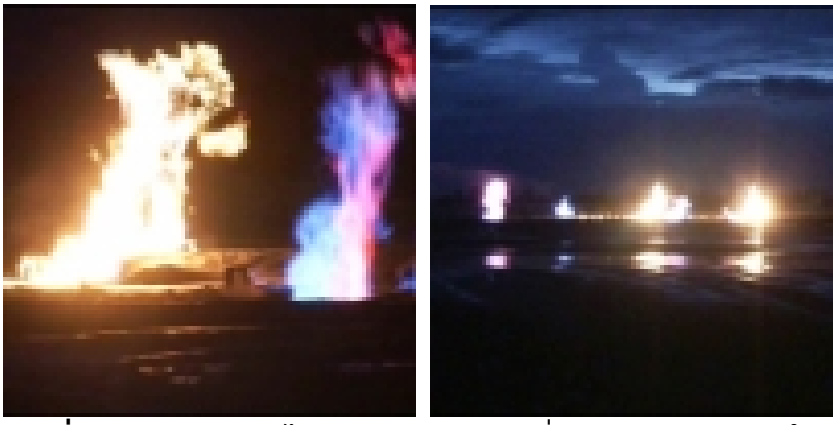
จากการสอบสวนของเจ้าหน้าที่ตำรวจประจำท้องที่กล่าวว่า เวลาประมาณ 17.30 น.วันที่ 9 มีนาคม ที่ผ่านมา ได้รับแจ้งจาก บริษัท ยูนิวานิช น้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่ ม.9 ต.ปลายพระยา อ.ปลายพระยา ว่ามีเหตุคนงานทำความสะอาดเสียชีวิตภายในบ่อบำบัดน้ำเสียภายในโรงงาน จึงได้เดินทางไปตรวจสอบที่เกิดเหตุ อยู่บริเวณบ่อบำบัดน้ำเสียใกล้บ้านพักคนงาน ห่างจากด้านหลังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มประมาณ 800 เมตร มีเจ้าหน้าที่ของโรงงาน คนงานและชาวบ้านยืนมุงดูจำนวนมาก จุดเกิดเหตุเป็นบ่อทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้างประมาณ 4 เมตร ยาว 2 เมตร ลึกประมาณ 3 เมตร ที่ก้นบ่อมีตะกอนมีน้ำขังอยู่ประมาณ 50 ซม. ส่งกลิ่นเน่าเหม็นอบอวล มีผู้เสียชีวิต 3 คน และผู้บาดเจ็บ 2 คน ซึ่งถูกนำส่งโรงพยาบาลปลายพระยาก่อนหน้านี้

เจ้าหน้าที่ตำรวจสอบสวนผู้เกี่ยวข้องในเบื้องต้นคาดว่า สาเหตุการเสียชีวิตน่าจะเกิดจากก๊าซพิษบางอย่าง หรือก๊าซไข่เน่า ที่อยู่ภายในก้นบ่อเก็บน้ำเสีย เมื่อคนงานลงไปกวาด ก็ทำให้ก๊าซเกิดการฟุ้งกระจาย และมีกลิ่นเหม็น ทำให้เกิดอาการแน่นหน้าอกหายใจติดขัด

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ : สูดดมสารพิษ (ก๊าซไข่เน่า)เข้าร่างกายทำให้ขาดอากาศ(ออกซิเจน)หายใจ และลงไปในที่อับอากาศโดยไม่มีเครื่องป้องกันอันตรายก่อนลงไปปฏิบัติงาน

กรณีที่ 10 การเกิดเพลิงไหม้จากฟ้าผ่าของโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพ

สถานที่เกิดอุบัติเหตุ : โรงงานบ่มก๊าซชีวภาพ ของบริษัท คาสซาวาเวสท์ทูเอ็นเนอร์ยี่ จำกัด ต.โพนทอง อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ เหตุเกิดเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2555 เวลา 21.23 น.ดัง**รูปที่ 7-25**



รูปที่ 7-25 สภาพเพลิงไหม้บนแผ่นพลาสติกที่มีก๊าซชีวภาพอยู่ข้างใน

รายละเอียดของข่าว จากการติดตามสถานการณ์ภัยธรรมชาติที่จังหวัดกาฬสินธุ์ ล่าสุดได้เกิดเหตุพายุฟ้าผ่าโรงงานบ่มก๊าซชีวภาพ ของ บริษัท คาสซาวา เวสท์ ทู เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด ต.โพนทอง อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ ซึ่งเมื่อช่วงค่ำเกิดเหตุพายุฟ้าฝนฟ้าคะนองอย่างหนัก เกิดฟ้าผ่าลงบนผ้าใบคลุมกากมันสำปะหลัง จนส่งผลให้เกิดเพลิงลุกไหม้ อย่างรวดเร็ว เจ้าหน้าที่ตำรวจจากสถานีตำรวจภูธร(สภ.)เมืองกาฬสินธุ์ ได้วิทยุระดมรถดับเพลิงไปช่วยกันดับไฟ แต่เนื่องจากว่าในบริเวณดังกล่าวสะเก็ดไฟได้ลุกลามไปยังบ่อคลุมก๊าซชีวภาพ จึงทำให้เกิดเพลิงลุกไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เจ้าหน้าที่ไม่สามารถเข้าดับไฟได้ และทำได้เพียงการระดมฉีดน้ำ เพื่อไม่ให้เพลิงลุกไหม้ไปยังพื้นที่ข้างเคียงจากการสอบถามพนักงานในโรงงาน ทราบว่า ก่อนเกิดเหตุได้เกิดพายุฝนตกลงมาอย่างหนัก และเกิดพายุฝนมีฟ้าผ่าลงมาตรงอาคาร โดยสะเก็ดไฟได้ตกใส่ผ้าใบที่ใช้คลุมในบ่อบ่มก๊าซ จนเกิดเปลวไฟลุกไหม้ขึ้นมา และเปลวก๊าซได้ลุกไหม้อย่างรุนแรง ซึ่งในขณะนั้นเจ้าหน้าที่ดับเพลิง ยังคงฉีดพ่นน้ำ เพื่อให้เปลวเพลิงไม่ลุกลามไปที่อื่นและโชคดี ที่ในบริเวณดังกล่าว ไม่มีบ้านเรือนประชาชนอยู่ใกล้ ส่วนความเสียหายยังประเมินค่าไม่ได้

http://www.thairath.co.th/content/region/258656

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ : ฟ้าผ่าลงบนผ้าใบที่คลุมก๊าซชีวภาพทำให้เกิดไฟลุกไหม้อย่างรวดเร็วไม่มีใครได้รับบาดเจ็บเพราะเป็นเวลากลางคืนและโรงงานอยู่ห่างไกลชุมชน

กรณีที่ 11 การสูดดมก๊าซพิษจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร

สถานที่เกิดอุบัติเหตุ : บ่อหมักไบโอแก๊ส บริษัท เอส.พี.เอ็ม.อาหารสัตว์ จำกัด เลขที่ 79/1 หมู่ที่ 1 ตำบลห้วยยางโทน อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี เหตุเกิดเมื่อวันที่ 27 พค.2555 เวลา 10.00 น. ดัง**รูปที่ 7-26**

รูปที่ 7-26 สภาพสถานที่เกิดเหตุและศพของผู้เสียชีวิตที่ลงไปซ่อมท่อ

รายละเอียดของข่าว จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น บริษัท เอส.พี.เอ็ม.อาหารสัตว์ จำกัด (บริษัทแม่)สถาบันวิจัยระบบพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ลงนามความร่วมมือกับบริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์ จำกัด ในโครงการระบบต้นแบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าช้างเนเปียร์ร่วมกับน้ำเสียฟาร์มสุกรเพื่อนำก๊าซชีวภาพไปผลิตกระแสไฟฟ้าขายให้การไฟฟ้าสถาบันวิจัยระบบพลังงานมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของพลังงานหมุนเวียนที่ผลิตจากชีวมวลซึ่งกำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง และเห็นความสำคัญของการขยายผลงานวิจัยเป็นระดับ full scale ร่วมกับภาคอุตสาหกรรม ซึ่ง ได้จัดพิธีลงนามความร่วมมือระหว่าง รศ.ดร.บุญสม ศิริบำรุงสุข อธิการบดีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กับ คุณสมชาย นิติกาญจนา กรรมการผู้จัดการบริษัท เอส พี เอ็ม อาหารสัตว์ จำกัด ในวันอังคารที่ 6 ธันวาคม 2554 เวลา 08.30-09.00 น. ณ ห้องประชุม 2 สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

จากข่าวที่ปรากฏในหน้าหนังสือพิมพ์ บ่อก๊าซมรณะดังกล่าว เป็นบ่อดินขุดลึกประมาณ 2 เมตร กว้าง 5 เมตร อยู่ภายในบริษัท เอสพีเอ็ม เป็นฟาร์มหมูขนาดใหญ่พื้นที่หลายร้อยไร่ ผู้เห็นเหตุการณ์เล่าว่า ขณะที่คนงานชาวลาว 3 คน ลงไปในบ่อเพื่อต่อท่อก๊าซชีวภาพ จากบ่อเก็บก๊าซขนาดใหญ่ หรือ คอบเวอร์ลากูน(cover lagoon) มายังบ่อผลิตก๊าซแบบCSTR ที่ใช้สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักหญ้าเนเปียร์ ก็เกิดเหตุไม่คาดคิดขึ้น เมื่อวาล์วท่อก๊าซที่คนงานเสียบอยู่เพื่อรอการขันน็อต ถูกแรงดันก๊าซจากท่อส่งก๊าซดันจนหลุด ทำให้ก๊าซชีวภาพจากบ่อเก็บรั่วออกมา

คนงานทั้ง 3 ไม่ทันตั้งตัวจึงสูดดมเข้าไปจนหมดสติ นายเนตร เสือเอ็ง ช่างรับเหมาที่ยืนอยู่ปากบ่อ ได้กระโดดลงไปช่วยลูกน้อง จนหมดสติตามไป นายนรินทร์ เติมทองพนักงานฟาร์มหมู ซึ่งยืนอยู่บริเวณนั้นเห็นท่าไม่ดีรีบลงไปช่วย แต่กลับเอาชีวิตไปทิ้งอีกคนเมื่อเจ้าหน้าที่มาถึงก็พบภาพสลดใจ คนงานทั้ง 5 คน นอนกอดคอกันตายอย่างน่าเวทนา แต่การนำศพผู้เสียชีวิตขึ้นจากบ่อนั้นทำได้ยากลำบาก เนื่องจากก๊าซยังคงรั่วไหลต่อเนื่อง เจ้าหน้าที่กู้ภัยจึงต้องสวมเครื่องช่วยหายใจโรยตัวลงไปนำศพขึ้นมาอย่างทุลักทุเล โดยผลัดเปลี่ยนกันลงไปในบ่อทุกๆ 2 นาที ป้องกันการขาดอากาศหายใจ จากการลงพื้นที่ตรวจหาสาเหตุเบื้องต้น ของทีมวิศวกร กรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าสาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากความหละหลวมของเจ้าของฟาร์มที่ปล่อยให้ผู้รับเหมาเข้าไปต่อเติมในบ่อก๊าซในวันหยุดที่ไม่มีวิศวกรมาควบคุมดูแล แต่สาเหตุสำคัญเกิดจากตัวผู้ปฏิบัติงานเองที่ไม่ทำตามกฎความปลอดภัย คิดว่ารับมือได้จึงไม่ยอมใช้อุปกรณ์ป้องกันที่ทางฟาร์มจัดเตรียมไว้ ส่วนการจะปิดวาล์วท่อก๊าซที่หลุดออกนั้น ยังทำไม่ได้ทันที เจ้าหน้าที่ต้องใช้แรงดันน้ำอุดท่อก๊าซไว้ชั่วคราว จนกว่าจะเผาทำลายก๊าซในบ่อเก็บให้หมดก่อนจึงค่อยให้ทีมกู้ภัยสวมหน้ากากออกซิเจนลงไปปิดวาล์วท่อก๊าซที่กันบ่อได้

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ : ผู้ปฏิบัติงานถูกก๊าซชีวภาพซึ่งมีปริมาณก๊าซมีเทนมาก(ก๊าซไข่เน่า)รมตลอดเวลาที่ลงไปทำงาน โดยคนงานที่ลงไปเชื่อมท่อในบ่อหมักก๊าซชีวภาพทั้งหมดไม่มีอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัย(อุปกรณ์เซฟตี้)

การวิเคราะห์สาเหตุของอุบัติเหตุที่เกิด

สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุครั้งนี้วิเคราะห์สาเหตุของการเกิดได้ 2 ประเด็น ดังนี้

1. เกิดจากการปฏิบัติงานในที่อับอากาศและบริเวณที่ปฏิบัติงานมีสภาวะของบรรยากาศอันตราย ซึ่งเกิดจากก๊าซชีวภาพที่ไหลออกมาจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ จากการติดตั้งวาล์วของท่อลำเลียงก๊าซชีวภาพ

2. เกิดจากการละเลยและไม่ใส่ใจของนายจ้างไม่ปฏิบัติตามประกาศข้อบังคับของกระทรวงแรงงาน “เรื่องการกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อมในการทำงานในที่อับอากาศ พ.ศ. 2547” ซึ่งประกาศไว้ ณ วันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2547 ประกาศดังกล่าวได้แจ้งและกำหนด ขั้นตอน มาตรการในการทำงานในที่อับอากาศไว้อย่างชัดเจนและนายจ้างจะต้องทราบและถือปฏิบัติตามประกาศกระทรวงแรงงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานแก่ลูกจ้าง

7.2 กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในต่างประเทศ

สำหรับกรณีศึกษาของต่างประเทศเท่าที่สืบค้นมาได้จากอินเตอร์เน็ตและเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ

กรณีที่ 1 ประเทศอินเดีย เมือง Edathala Aluva:

รายละเอียดของข่าว : โรงงานก๊าซชีวภาพที่อยู่ใกล้ Edathala Aluva ระเบิด ทำให้มีผู้เสียชีวิต 4 ราย บาดเจ็บจำนวนมาก สาเหตุถังคอนกรีตเก็บก๊าซชีวภาพเกิดความดันสูงทำให้ก๊าซชีวภาพที่อยู่ภายในถังระเบิดออกมา ดังแสดงใน**รูปที่ 7-27**

รูปที่ 7-27 สถานที่เกิดเหตุก๊าซชีวภาพระเบิดในประเทศอินเดีย

ALUVA : Four persons were killed and many seriously injured when the concrete tank of a biogas plant at Edathala near Aluva exploded owing to a suspected pressure build-up, on Wednesday. The deceased were identified as Lalu, 42, of Kochi; Safangiri, 30, of Kolkata, and Ibrahim, 75 of Lucknow, while one body is yet to be identified.

The police suspected that the unidentified man belonged to West Bengal. The injured persons rescued from the site are Pradeep Jana, 18, and Usman, 30, both of Kolkata and Ashraf, 42 of Aluva. While Pradeep Jana was admitted to Karothukuzhi Hospital, Ashraf was taken to Carmel Hospital and Usman to the Aluva Taluk Hospital. The police said that the newly commissioned plant exploded while three workers were standing on top of it. Two of them died instantly and the third person, Ashraf, had a narrow escape. Two bodies were recovered from the site later.

Eight fire mobile units of Aluva along with ambulances and doctors in nearby stations were rushed to the spot. A police team led by Superintendent of Police T. Vikram arrived at the spot to carry out rescue operations.

The rescue team pumped out the waste from the plant to pits dug near the site and the operations were on till late in the night. The accident site was visited by local MP K.P. Dhanapalan and Rajya Sabha Member P Rajeev apart from District Collector M. Beena and DMO Dr. Ramani.

From : http://www.hindu.com/2009/08/27/stories/2009082761930100.htm

กรณีที่ 2 ประเทศอังกฤษ เมือง Sturminster Newton

รายละเอียดของข่าว : แมทธิวพิตต์, อายุ 29 สูดดมก๊าซมีเทนในขณะที่เขาทำงานในบ่อหมักแบบไร้อากาศที่ฟาร์มเพื่อน Mr Harwood ผู้อยู่ในเหตุการณ์ กล่าวว่า มันจะเป็นความอัปยศที่

เกิดอุบัติเหตุอันน่าเศร้าในครั้ง เพราะจะทำให้คนไม่เชื่อมั่นในเทคโนโลยีที่ยอดเยี่ยมนี้ สำหรับการจัดการของเสียที่มีประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่ายน้อยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Matthew Pitt, aged 29, of Sturminster Newton died after being overcome by methane as he worked on the anaerobic digester at the farm. A 50-year-old colleague also received hospital treatment. An inquest has yet to be held and as a result the cause remains unknown, but Mr. Harwood feels it would be a shame if this incident put people off of the technology.

He said: "I'm desperately sorry this accident happened. I have never heard of a fatality involving anaerobic digesters in my ten years working in this field. "This incident may not even be related to the biogas plant – we won't know until the findings of an inquest come out."But it would be a shame were this tragic accident to put people off what is a fantastic technology for dealing with farming emissions and which can also be used to deal with waste in a cost effective and environmentally friendly way.

"Biogas is the single best renewable technology by such a long way that it's unbelievable." Mr Harwood likens the anaerobic digester to a "steel cow". He says it can be fed with all the things cattle would eat as well as some of the things they cannot, such as manure which retains some of its nutrients.This produces methane, which is used to produce energy, and has two other eco-friendly side effects.

One of these is the by-product it creates, Digestate, which can be used as a bio-fertiliser. Mr Harwood says it is better for the environment and has shown a seven per cent yield increase on crops. The other benefit is that because the anaerobic digester contains all its emissions, it could serve to displace fossil fuels which pollute the atmosphere.

Mr Harwood said: "It really is a win, win, win situation and Defra is very keen to push it forward and develop it further."There are currently just more than 200 anaerobic digesters on farms and sewage farms in the UK. Defra has a shared goals document through which it is working towards having more than 1,000."

From : http://www.thisisdorset.co.uk/Biogas-expert-shocked-death-plant-worker/story-11764632-detail/story.html

7.3 สรุปสาเหตุของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นทั้งในและต่างประเทศ

ก๊าซชีวภาพหรือไบโอก๊าซ (Biogas) คือก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจนประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่คือก๊าซมีเทน(CH_4)ประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)ประมาณ 30-50เปอร์เซ็นต์ และก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซไนโตรเจน และน้ำ เป็นต้น ก๊าซที่เกิดขึ้นในฟาร์มโดยตัวมันเองมักไม่มีอันตรายต่อคนและสัตว์ ถ้ามีการระบายอากาศเป็นปกติแต่ในบางแห่ง เช่น ที่พักมูลสัตว์หรือบ่อน้ำเสียความเข้มข้นของก๊าซเหล่านั้น (CO_2,NH_3,CH_4,H_2S) อาจสูงมาก ทำให้ O_2 ลดต่ำลงมากจนคนที่สูดดมก๊าซนั้นถึงกับหมดสติหรือตายได้หากช่วยไม่ทัน นอกจากนั้นก๊าซอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัว เป็นก๊าซที่ไม่มีอันตรายโดยตรงหรือไม่ทราบอันตราย แต่มีกลิ่นซึ่งรบกวนความเป็นอยู่ที่สุขสบายของมนุษย์ ก๊าซชนิดต่างๆ มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีก่อให้เกิดพิษต่อคน สัตว์ และพืชได้ในลักษณะต่างๆ กันถ้ามีความเข้มข้นสูงเกิน บางชนิดมีผลรบกวนต่อระบบประสาทสัมผัส บางชนิดมีผลระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อบุในทางเดินหายใจและนัยน์ตา สำหรับสาเหตุที่ทำให้เสียชีวิตเกิดจากการขาดอากาศหายใจเนื่องจากปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอกับการหายใจได้ ซึ่งน่าจะเกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) ที่มีน้ำหนักมากกว่าอากาศไม่ลอยตัวขึ้นสูง ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในบ่อมีปริมาณลดน้อยลง ซึ่งคุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจนซันไฟด์ (H_2S) เมื่อหายใจเข้าไปทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ ถ้าได้รับปริมาณมากจะทำให้หมดสติ หรือมีอาการโคม่าอาจทำให้เสียชีวิตได้

จากกรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพทั้งในและต่างประเทศสามารถสรุปสาเหตุหลักใหญ่ๆได้ 3 ประเด็นคือ

7.3.1 การเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานในพื้นที่อับอากาศสูดดมก๊าซพิษที่เกิดจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพทำให้เสียชีวิต

เป็นที่ทราบอยู่แล้วว่าก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน ก๊าซที่เกิดจะมีคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน (CH_4)และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)เป็น องค์ประกอบหลักส่วนก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซเหล่านี้ล้วนแต่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้ที่อยู่ในบริเวณระบบก๊าซชีวภาพ มีรายละเอียดดังนี้

<u>อันตรายของก๊าซต่าง ๆที่มีผลต่อสุขภาพ</u>

<u>ก๊าซมีเทน (CH_4)</u>

สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไป จะก่อให้เกิดอาการหายใจติดขัดอย่างรุนแรง ปวดศีรษะ วิงเวียน และอาจหมดสติได้

สัมผัสทางผิวหนัง : ไม่ปรากฏว่าเป็นอันตรายเมื่อสัมผัสถูกผิวหนัง

ไม่ปรากฏว่าเป็นอันตรายเมื่อกลืนกินเข้าไป และยากที่จะกลืนกินเข้าไปเนื่องจากเป็นก๊าซ

สัมผัสถูกตา : อาจเกิดการระคายเคืองได้ เมื่อสัมผัสถูกตา

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไปทำให้คลื่นไส้ หัวใจเต้นผิดปกติ ปวดศีรษะ มึนงง รบกวนการมองเห็น หายใจไม่ออก มีอาการชัก อาการโคม่า

สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสถูกผิวหนังจะเป็นแผลพอง การกลืนหรือกินเข้าไป มีอาการเหมือนน้ำแข็งกัดบริเวณริมฝีปาก ปาก และเยื่อเมือกจะมีผลทำลายตับ

สัมผัสถูกตา : การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง การมองเห็นไม่ชัดเจน การก่อมะเร็ง : สารนี้เป็นสารก่อมะเร็งตาม OSHA , NTP , IARC

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไปทำให้วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ ถ้าได้รับสารปริมาณมากจะทำให้หมดสติ หรือมีอาการโคม่า อาจทำให้เสียชีวิตได้

สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง

สัมผัสถูกตา : การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง โรคเยื่อบุตาอักเสบ และเยื่อตาขาวได้รับบาดเจ็บ ความผิดปกติ,อื่นๆ : สารนี้ทำลายปอด ทรวงอก ระบบหายใจ การเดินอาหาร ไต ท่อไต กระเพาะปัสสาวะและเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์

ที่มา : http://www.erdi.or.th/biogas/biogasTech_sub_safety.php

สำหรับผู้ปฏิบัติงานที่ต้องลงไปปฏิบัติงานในสถานที่อับอากาศ กระทรวงแรงงานได้ออกกฎหมายเพื่อคุ้มครองสวัสดิภาพและความปลอดภัยให้แก่แรงงานเป็นกฎกระทรวงว่าด้วย **การกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานในที่อับอากาศ พ.ศ. 2547** (รายละเอียดดูภาคผนวก ข)

7.3.2 การเกิดอุบัติเหตุจากการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

กรณีอุบัติเหตุที่เกิดกับการนำก๊าซชีวภาพไปใช้แทนน้ำมันเตาใน Bioler เพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังสาเหตุที่เกิดเกือบทุกรายเกิดจากการละเลยไม่ใส่ใจในการตรวจสอบอุปกรณ์และชิ้นส่วนที่นำมาใช้งานกับก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่มักจะมีระยะเวลาในการตรวจสอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ตามหลักเกณฑ์ของการใช้น้ำมันเตา ข้อเท็จจริงคือเชื้อเพลิงประเภทก๊าซชีวภาพยังเป็นเรื่องใหม่สำหรับบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายหัวเผา Burner ที่ใช้กับ Boiler ในประเทศไทย วัตถุประสงค์เพียงต้องการให้จุดไฟติดสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาเท่านั้น เรื่องที่ผู้ติดตั้งและปรับจูนหัวเผา ให้ความใส่ใจกับองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพ เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจะมีผลกับการเร่งและปรับความร้อนให้หัวเผา ส่วนก๊าซประกอบอื่น เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และน้ำที่ปนอยู่ในก๊าซชีวภาพจะให้ความสนใจอยู่บ้างแต่ก็เพียงเล็กน้อย จากสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุกับชุดหัวเผาผลจากการสอบสวนเกือบทั้งหมดสรุปว่า

สาเหตุและตัวการที่สำคัญคือก๊าซที่ประกอบอยู่ในก๊าซชีวภาพเป็นตัวการหลักของการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น

7.3.3 การเกิดอุบัติเหตุจากภัยธรรมชาติ

กรณีอุบัติเหตุที่เกิดจากภัยธรรมชาติ เช่น กรณีของเพลิงไหม้จากพายุพัดแผ่นผ้า HDPE ขาด เกิดเพลิงลุกไหม้ หรือกรณีการเกิดฟ้าผ่าอาคารบริเวณใกล้เคียง และเกิดลูกไฟกระเด็นไปตกใส่บ่อผลิตก๊าซชีวภาพเป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้นั้น หากพิจารณาไปถึงสาเหตุที่แท้จริงแล้วจะพบว่าความผิดพลาดและเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุนั้น คือมนุษย์ซึ่งเป็นผู้ออกแบบและกำหนดจุดตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพ หากการออกแบบได้ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขแล้วคงจะไม่เกิดอุบัติเหตุขึ้นมา

7.4 มาตรการป้องกัน

งานด้านวิศวกรรมโดยทั่วไปจะใช้หลักการ 3E เป็นพื้นฐานของการดำเนินงานด้านความปลอดภัย อันได้แก่

- **วิศวกรรม (engineering) E ตัวแรก** คือ การใช้หลักและวิชาความรู้ทางด้านวิศวกรรมในทุกๆ แขนง เพื่อทำการแก้ไขปรับปรุงสภาพการณ์ทางกายภาพต่างๆทุกชนิดที่เกี่ยวข้องให้มีความปลอดภัยแก่การใช้หรือปฏิบัติงานมากที่สุด

- **การศึกษา (education) E ตัวที่สอง** คือ การให้การศึกษาด้วยวิธีการอบรมและแนะนำพนักงานทุกๆ คน ตลอดจนหัวหน้างานและผู้เกี่ยวข้องทุกคนในโรงงานให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย รวมทั้ง การป้องกันอุบัติเหตุและเสริมสร้างความปลอดภัยในโรงงาน

- **การออกกฎบังคับ (enforcement) E ตัวสุดท้าย** คือ การกำหนดวิธีการทำงานหรือวิธีการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยขึ้นมาเป็นมาตรฐาน พร้อมออกกฎระเบียบและข้อบังคับให้พนักงานและผู้เกี่ยวข้องทุกคนได้ปฏิบัติตามวิธีการทำงานหรือวิธีการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยนั้นๆ หากมีการฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามก็จะต้องถูกลงโทษ เพื่อให้เกิดความสำนึกและหลีกเลี่ยงการทำงานที่ไม่ถูกต้องหรือเป็นอันตราย

สำหรับ พพ.เป็นหน่วยงานที่ให้การส่งเสริมสนับสนุนการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน เห็นพ้องต้องกันว่า มาตรการ 3E คงไม่เพียงพอกับงานด้านความปลอดภัยจึงได้เพิ่มเติมมาตรการด้านการปลูกจิตสำนึก สร้างความตระหนัก(Awareness) ในรูปของการทำกิจกรรมการส่งเสริม โดยเฉพาะกิจกรรมที่ทุกฝ่ายมีส่วนร่วมกันดำเนินงานในองค์กรของตนเองเมื่อกิจกรรมใดประสบความสำเร็จจะมีผลต่อทัศนคติซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมได้ เช่น กิจกรรมส่งเสริมด้านความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยที่มีรูปแบบหลากหลายโดยตั้งเป้าหมายไว้เพื่อเพิ่มและเสริมให้เกิดการตระหนักด้านความปลอดภัย ปรับทัศนคติซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม แนวทาง

ต่างๆ ต่อไปนี้คือตัวอย่างของความสำเร็จที่เคยปฏิบัติแล้ว และได้ผลดีเป็นอย่างมาก คือ กิจกรรมที่ก่อให้เกิดความตระหนัก ควรจะมุ่งเน้นไปที่ปัญหาที่มีอยู่และการสัมผัส (Exposure) ของแต่ละองค์กร และของแต่ละประเภทการปฏิบัติการ (Type of Operation) ทางเลือกของเครื่องมือและวิธีการในการส่งเสริมมีมากมายหลายแบบในราคาของการดำเนินการที่ต่ำ การพิจารณารูปแบบจะขึ้นอยู่กับนโยบายของบริษัท การสัมผัสที่เฉพาะเจาะจง (Specific Exposure) ความสูญเสียที่เคยเกิดขึ้น และตัวผู้ปฏิบัติงาน เช่น ระดับความชำนาญ (Skill Level) พื้นฐานด้านเทคนิค และระยะเวลาของประสบการณ์ในงานนั้น องค์กรควรเลือกการส่งเสริมที่ตรงกับปัญหาวิกฤต (Critical Problems) และตรงเป้าหมายของปัญหาเฉพาะของหน่วยงาน

งานส่งเสริมและสร้างความตระหนักในโครงการเผยแพร่ความรู้ ความเข้าใจสำหรับการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพให้ปลอดภัยก็เช่นกัน นอกจากจะให้ความรู้เกี่ยวกับอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงานแล้ว ยังต้องหามาตรการป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นภายในบ่อที่มีก๊าซชีวภาพอีกด้วย อาทิเช่น การจัดซื้อ-จัดหาอุปกรณ์ความปลอดภัยเตรียมไว้ภายในโรงงานก่อนเกิดอุบัติเหตุ เช่น หมวก ถุงมือ แว่นตา หน้ากาก พัดลมดูดอากาศ เป็นต้น

7.5 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย

7.5.1 กฎหมาย ประกาศกระทรวงที่เกี่ยวข้องออกโดย กระทรวงมหาดไทย ได้แก่

- ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร ปี พ.ศ.2519
- ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม
- ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)
- ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานในสถานที่อับอากาศ
- ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีอันตราย
- ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยปั้นจั่น
- ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม
- ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยลิฟท์ขนวัสดุชั่วคราว

- ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยนั่งร้าน
- ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยสถานที่ที่มีอันตรายจากการตกจากที่สูงวัสดุกระเด็นตกหล่นและการพังทะลาย
- ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยหม้อน้ำ
- ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการ เพื่อความปลอดภัยในสถานประกอบการ เพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง

7.5.2 กฎหมาย ประกาศกระทรวงที่เกี่ยวข้องออกโดย กระทรวงแรงงาน ได้แก่

♣ ประกาศกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม เรื่อง คณะกรรมการความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน

♣ ประกาศกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้าง

7.5.3 กฎหมาย ประกาศกระทรวงที่เกี่ยวข้องออกโดย กระทรวงพลังงาน เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 ได้แก่

✧ กฎหมายการอนุรักษ์พลังงาน

✧ พระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ.2540

7.5.4 กฎหมาย ประกาศกระทรวงที่เกี่ยวข้องออกโดย กระทรวงอุตสาหกรรม ได้แก่

☆ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 เรื่องมาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน

☆ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องมาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ.2546

☆ ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ.2543

สำหรับรายละเอียดของกฎหมาย ประกาศกระทรวง ประกาศกรม กฎ ระเบียบ ของแต่เรื่องสามารถสืบค้นและดาวน์โหลดข้อมูลตามกระทรวง ทบวง กรมที่รับผิดชอบในเรื่องนั้นๆจากอินเตอร์

เน็ตได้ นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานหลายแห่งที่เปิดดำเนินการอบรมด้านความปลอดภัยโดยเฉพาะเช่น สมาคมส่งเสริมความปลอดภัยและอนามัยในการทำงาน(ประเทศไทย) ซึ่งเป็นสมาคมที่จัดตั้งโดยมติคณะรัฐมนตรี(พ.ศ. 2529) เพื่อความปลอดภัยของสังคมไทย โดยมีหน้าที่หลักในการกำหนดนโยบายการส่งเสริมความปลอดภัยในการทำงานและอาชีวอนามัย กำกับและอำนวยการเพื่อให้การรณรงค์ส่งเสริมความปลอดภัยในการทำงานและอาชีวอนามัยเป็นไปตามนโยบายรัฐบาล รณรงค์สร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยในการทำงานให้เกิดขึ้นในสังคมแรงงาน จัดงานสัปดาห์ความปลอดภัยในการทำงาน และแต่งตั้งคณะอนุกรรมการหรือคณะทำงานเพื่อปฏิบัติงานเฉพาะกิจได้ตามความจำเป็น เป็นต้น

ภาคผนวก ก
การปฐมพยาบาลเบื้องต้น

ภาคผนวก ก
ปฐมพยาบาลเบื้องต้น

การปฐมพยาบาลบาดแผล

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

เมื่อผู้ป่วยได้รับสารพิษ

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

แผลไฟไหม้ น้ำร้อน

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

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

การปฐมพยาบาลคนเป็นลม

1. ให้ผู้ป่วยนอนราบและพาเข้าที่ร่ม
2. พยายามลดความร้อนในร่างกาย
3. ให้ดื่มน้ำปนน้ำเกลือเล็กน้อยจำนวนมากๆ
4. ส่วนผสมอาจเป็นดังนี้ น้ำ 1 แก้ว ปนเกลือครึ่งช้อนกาแฟ และให้ดื่มจำนวนมากๆ บ่อยๆ

ห้ามเลือด

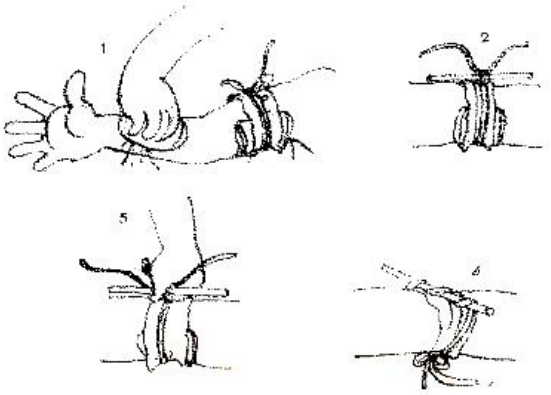
อุปกรณ์

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

หลักการใช้สายรัด

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

การเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

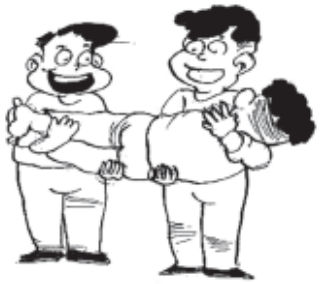


1. การอุ้มพยุงเดิน มักใช้กับคนเจ็บประเภทขาแพลง กระดูกหักบริเวณขาแขนข้างใดข้างหนึ่ง ตาเจ็บ ปิดตา และใช้กับผู้ป่วยที่รู้สึกตัวดี

2. อุ้มกอดด้านหน้า ใช้คนเจ็บที่เดินไม่ได้ และน้ำหนักตัวไม่มากจนเกินไป และคนเจ็บใช้แขนข้างใดข้างหนึ่ง

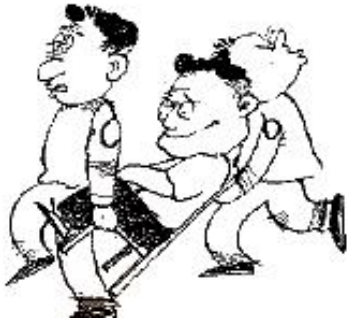
3.อุ้มทาบและกอดด้านหน้า ใช้กับคนเจ็บที่เดินไม่ได้ ข้อเท้าเคล็ดหรือข้อเท้าแพลง

4. อุ้มทางหลัง ใช้กับบาดเจ็บที่เป็นเด็กหรือตัวเล็กและบาดเจ็บบริเวณขา



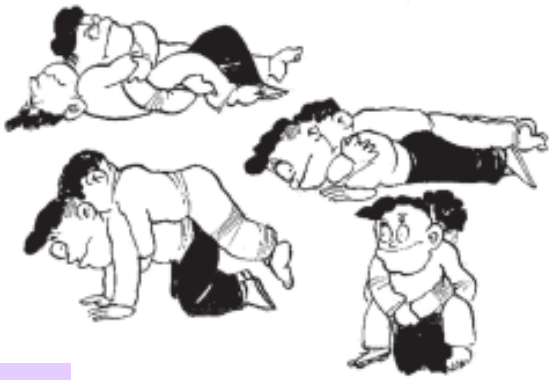
5. อุ้มเคียง ใช้กับคนเป็นลมหรือเท้าเจ็บ

6. อุ้มคู่กอดหลัง ใช้กับผู้บาดเจ็บที่เท้าเจ็บ บาดเจ็บที่ศีรษะ ตาเจ็บ หรือต้องการเดินผ่านช่องแคบๆ



7. การเคลื่อนย้ายโดยใช้เก้าอี้ ใช้กับผู้บาดเจ็บที่ขา แขน ตาเจ็บ หรือปิดตา มีบาดแผลบริเวณท้อง หรือทรวงอก

8. อุ้มกอดด้านหลัง ใช้กับผู้บาดเจ็บที่หมดสติหรือไม่รู้สึกตัว และตัวโตกว่ามาก



อุ้มพยุงด้วยคน 8 คน

ใช้กับผู้บาดเจ็บที่สงสัยว่ากระดูกต้นคอหรือกระดูกสันหลังหัก หรือผู้บาดเจ็บที่ได้รับบาดเจ็บสาหัส มีวิธีปฏิบัติดังนี้

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

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

3 ขณะยกผู้บาดเจ็บพยายามให้ตัวผู้บาดเจ็บอยู่ในลักษณะตัวตรงที่สุดเท่าที่กระทำได้

4 เมื่อวางผู้บาดเจ็บลง ให้ปฏิบัติทวนวิธีการยกขึ้น จากนั้นจึงยกลงจากเข่าวางบนไม้กระดานแข็งบานประตูหรือเปลที่รอรับอยู่

ข้อเคล็ด, ข้อเคลื่อน, กระดูกหัก

ข้อเคล็ด

- อย่านวด ให้ใช้น้ำแข็งหรือผ้าเย็นประคบ
- อย่าเคลื่อนไหวส่วนที่บาดเจ็บ
- หลักจาก 24 ชั่วโมงหมั่นแช่บริเวณที่บาดเจ็บด้วยน้ำอุ่น

ข้อเคลื่อน

- อย่าพยายามทำข้อที่เคลื่อนให้เข้าที่ด้วยตัวเอง
- อย่าเคลื่อนไหวส่วนที่บาดเจ็บ
- ใช้น้ำแข็งหรือผ้าเย็นประคบ
- รีบนำส่งโรงพยาบาล

กระดูกหัก

- ถ้าสงสัยว่าผู้ป่วยกระดูกหักต้องรีบนำส่งแพทย์
- ใช้น้ำแข็งประคบเพื่อลดความเจ็บปวด
- ให้ผู้ป่วยได้รับความอบอุ่นและให้ยาระงับปวด
- อย่าให้ส่วนของอวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บนั้นเคลื่อนไหว ถ้าทำได้ให้เข้าเฝือกส่วนที่หักไว้ชั่วคราว

การเคลื่อนย้ายด้วยเปลหาม

- ใช้ในการเคลื่อนย้ายผู้บาดเจ็บนอนราบ
- ใช้กับผู้บาดเจ็บได้หลายประเภท เช่น ผู้บาดเจ็บที่หมดสติ กระดูกขาหัก ฯลฯ
- วัสดุที่อาจหาได้ในขณะที่เกิดอุบัติเหตุ ได้แก่

(1) บานประตู

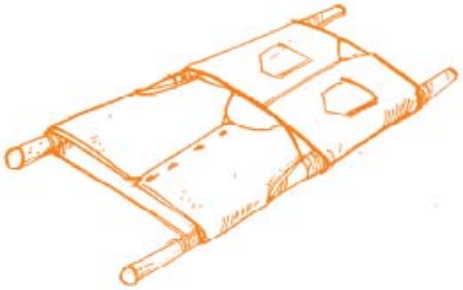
ใช้ได้ดีมาก เนื่องจากเป็นไม้กระดานแข็ง ใช้ได้ดีกับผู้บาดเจ็บที่กระดูกสันหลัง

(2) ผ้าห่ม ผ้าปูเตียง

พับผ้าห่มหรือผ้าปูเตียงบนไม้ยาวๆ 2 อัน โดยพับกลับไปมาหลายๆ ครั้ง และใช้แทนเปลหาได้

(3) เสื้อผ้า

- ใช้ไม้ยาวๆ 2 อัน สอดเข้าไปในตัวเสื้อ
- ติดกระดุมเสื้อให้เรียบร้อยหรือใช้เข็มกลัดช่วย



(4) ผ้าขาวม้า

- ใช้ผ้าขาวม้าผูกปลายผ้าเข้าด้วยกัน แล้วสอดไม้ท่อนยาวๆ 2 ท่อนเป็นเปลหาม

ภาคผนวก ข
กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ภาคผนวก ข
กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

1. กฎกระทรวง

ว่าด้วยเรื่อง ***"การกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานในที่อับอากาศ พ.ศ. 2547"***

รายละเอียดกฎกระทรวงมีดังนี้

บันทึกหลักการและเหตุผล
ประกอบกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการ
ด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน
ในที่อับอากาศ
พ.ศ. ๒๕๔๗

หลักการ

กำหนดมาตรฐานให้นายจ้างดำเนินการในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานในที่อับอากาศ

เหตุผล

โดยที่มาตรา ๑๐๓ แห่งพระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๑ บัญญัติให้รัฐมนตรีว่าการกระทรวงแรงงานมีอำนาจออกกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานให้นายจ้างดำเนินการในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานประกอบกับที่ทำงานของงานบางประเภทเป็นที่อับอากาศ ซึ่งอาจเกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยหรือชีวิตของลูกจ้าง ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของลูกจ้างที่ทำงานในที่ดังกล่าว จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้

กฎกระทรวง
กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการ
ด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน
ในที่อับอากาศ
พ.ศ. ๒๕๔๗

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๖ และมาตรา ๑๐๓ แห่งพระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๑ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๑ มาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ และมาตรา ๕๐ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงแรงงานออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๒ ในกฎกระทรวงนี้

"ที่อับอากาศ" หมายความว่า ที่ซึ่งมีทางเข้าออกจำกัดและมีการระบายอากาศไม่เพียงพอที่จะทำให้อากาศภายในอยู่ในสภาพถูกสุขลักษณะและปลอดภัย เช่น อุโมงค์ ถ้ำ บ่อ หลุม ห้องใต้ดิน ห้องนิรภัย ถังน้ำมัน ถังหมัก ถัง ไซโล ท่อ เตา ภาชนะหรือสิ่งอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน

"บรรยากาศอันตราย" หมายความว่า สภาพอากาศที่อาจทำให้ลูกจ้างได้รับอันตรายจากสภาวะอย่างหนึ่งอย่างใด ดังต่อไปนี้

(๑) มีออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ ๑๙.๕ หรือมากกว่าร้อยละ ๒๓.๕ โดยปริมาตร

(๒) มีก๊าซ ไอ ละอองที่ติดไฟหรือระเบิดได้ เกินร้อยละ ๑๐ ของค่าความเข้มข้นขั้นต่ำของสารเคมีแต่ละชนิดในอากาศที่อาจติดไฟหรือระเบิดได้ (Lower Flammable Limit หรือ Lower Explosive Limit)

(๓) มีฝุ่นที่ติดไฟหรือระเบิดได้ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเท่ากับหรือมากกว่าค่าความเข้มข้นขั้นต่ำของสารเคมีแต่ละชนิดในอากาศที่อาจติดไฟหรือระเบิดได้ (Lower Flammable Limit หรือ Lower Explosive Limit)

(๔) มีค่าความเข้มข้นของสารเคมีแต่ละชนิดเกินมาตรฐานที่กำหนดตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีอันตราย

(๕) สภาวะอื่นใดที่อาจเป็นอันตรายต่อร่างกายหรือชีวิตตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด

หมวด ๑
บททั่วไป

ข้อ ๓ ให้นายจ้างจัดทำป้ายแจ้งข้อความว่า "ที่อับอากาศ อันตราย ห้ามเข้า" ให้มีขนาดมองเห็นได้ชัดเจน ติดตั้งไว้โดยเปิดเผยบริเวณทางเข้าออกของที่อับอากาศทุกแห่ง

ข้อ ๔ ห้ามนายจ้างให้ลูกจ้างหรือบุคคลใดเข้าไปในที่อับอากาศ เว้นแต่นายจ้างได้ดำเนินการให้มีความปลอดภัยตามกฎกระทรวงนี้แล้ว และลูกจ้างหรือบุคคลนั้นได้รับอนุญาตจากผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาตตามข้อ ๑๘ และเป็นผู้ผ่านการอบรมตามข้อ ๒๑

ข้อ ๕ ห้ามนายจ้างอนุญาตให้ลูกจ้างหรือบุคคลใดเข้าไปในที่อับอากาศหากนายจ้างรู้หรือควรรู้ว่าลูกจ้างหรือบุคคลนั้นเป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ โรคหัวใจ หรือโรคอื่นซึ่งแพทย์เห็นว่าการเข้าไปในที่อับอากาศอาจเป็นอันตรายต่อบุคคลดังกล่าว

หมวด ๒
มาตรการความปลอดภัย

ข้อ ๖ ให้นายจ้างจัดให้มีการตรวจวัด บันทึกผลการตรวจวัด และประเมินสภาพอากาศในที่อับอากาศว่ามีบรรยากาศอันตรายหรือไม่ โดยให้ดำเนินการทั้งก่อนให้ลูกจ้างเข้าไปทำงานและในระหว่างที่ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศ

ถ้านายจ้างตรวจพบบรรยากาศอันตราย ให้นายจ้างดำเนินการ ดังต่อไปนี้

(๑) นำลูกจ้างและบุคคลที่อยู่ในที่อับอากาศออกจากบริเวณนั้นทันที

(๒) ประเมินและค้นหาว่าบรรยากาศอันตรายเกิดจากสาเหตุใด

(๓) ดำเนินการเพื่อทำให้สภาพอากาศในที่อับอากาศนั้นไม่มีบรรยากาศอันตราย เช่น การระบายอากาศ หรือการปฏิบัติตามมาตรการอื่น

หากนายจ้างได้ดำเนินการตามวรรคสองแล้วที่อับอากาศนั้นยังมีบรรยากาศอันตรายอยู่ แต่นายจ้างมีความจำเป็นที่จะต้องให้ลูกจ้างหรือบุคคลใดเข้าไปในที่อับอากาศที่มีบรรยากาศอันตรายนั้น ให้นายจ้างจัดให้ลูกจ้างหรือบุคคลนั้นสวมใส่หรือใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลชนิดที่ทำให้บุคคลดังกล่าวทำงานในที่อับอากาศนั้นได้โดยปลอดภัย

ให้นายจ้างเก็บบันทึกผลการตรวจวัด การประเมินสภาพอากาศ และการดำเนินการเพื่อให้สภาพอากาศในที่อับอากาศไม่มีบรรยากาศอันตรายไว้พร้อมที่จะให้พนักงานตรวจแรงงานตรวจสอบได้

ข้อ ๗ กรณีที่นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศให้นายจ้างแต่งตั้งลูกจ้างที่มีความรู้ความสามารถและได้รับการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามข้อ ๒๑ ให้เป็นผู้ควบคุมงานคนหนึ่งหรือหลายคนตามความจำเป็นเพื่อทำหน้าที่ ดังต่อไปนี้

(๑) วางแผนการปฏิบัติงานและการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงานและปิดประกาศหรือแจ้งให้ลูกจ้างทราบเป็นลายลักษณ์อักษร

(๒) ชี้แจงและซักซ้อมหน้าที่ความรับผิดชอบ วิธีการปฏิบัติงาน และวิธีการป้องกันอันตรายให้เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้

(๓) ควบคุมดูแลให้ลูกจ้างใช้เครื่องป้องกันอันตราย และอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล และให้ตรวจตราอุปกรณ์ดังกล่าวให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะใช้งาน

(๔) สั่งให้หยุดการทำงานไว้ชั่วคราว ในกรณีที่มีเหตุซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อลูกจ้างจนกว่าเหตุนั้นจะหมดไป และหากจำเป็นจะขอให้ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาตตามข้อ ๑๘ ยกเลิกการอนุญาตนั้นเสียก็ได้

ข้อ ๘ ให้นายจ้างจัดให้ลูกจ้างซึ่งได้รับการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามข้อ ๒๑ คนหนึ่งหรือหลายคนตามความจำเป็น เป็นผู้ช่วยเหลือ พร้อมด้วยอุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิตที่เหมาะสมกับลักษณะงาน คอยเฝ้าดูแลบริเวณทางเข้าออกที่อับอากาศโดยให้สามารถติดต่อสื่อสารกับลูกจ้างที่ทำงานในที่อับอากาศได้ตลอดเวลา เพื่อช่วยเหลือลูกจ้างออกจากที่อับอากาศ

ข้อ ๙ ให้นายจ้างจัดให้มีอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล อุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิตที่เหมาะสมกับลักษณะงานตามมาตรฐานที่อธิบดีประกาศกำหนด และนายจ้างต้องควบคุมดูแลให้ลูกจ้างซึ่งทำงานในที่อับอากาศและผู้ช่วยเหลือสวมใส่หรือใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลและอุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิตนั้น

ข้อ ๑๐ ให้นายจ้างจัดให้มีสิ่งปิดกั้นมิให้บุคคลใดเข้าหรือตกลงไปในที่อับอากาศที่มีลักษณะเป็นช่อง โพรง หลุม ถังเปิด หรือที่มีลักษณะคล้ายกัน

ข้อ ๑๑ ให้นายจ้างปิด กั้น หรือกระทำโดยวิธีการอื่นใดที่มีผลในการป้องกันมิให้พลังงาน สาร หรือสิ่งที่เป็นอันตรายเข้าสู่บริเวณที่อับอากาศในระหว่างที่ลูกจ้างกำลังทำงาน

ข้อ ๑๒ ให้นายจ้างจัดบริเวณทางเดินหรือทางเข้าออกที่อับอากาศให้มีความสะดวกและปลอดภัย

ข้อ ๑๓ ให้นายจ้างประกาศห้ามลูกจ้างสูบบุหรี่ หรือพกพาอุปกรณ์สำหรับจุดไฟหรือติดไฟที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำงานเข้าไปในที่อับอากาศปิดไว้บริเวณทางเข้าออกที่อับอากาศ

ข้อ ๑๔ ให้นายจ้างจัดให้มีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการใช้งานในที่อับอากาศ และตรวจสอบให้อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นมีสภาพสมบูรณ์และปลอดภัยพร้อมใช้งาน ถ้าที่อับอากาศนั้นมีบรรยากาศที่ไวไฟหรือระเบิดได้ ต้องเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดที่สามารถป้องกันมิให้ติดไฟ หรือระเบิดได้

ข้อ ๑๕ ให้นายจ้างจัดให้มีเครื่องดับเพลิงที่มีประสิทธิภาพและจำนวนเพียงพอที่จะใช้ได้ทันทีเมื่อมีการทำงานที่อาจก่อให้เกิดการลุกไหม้

ข้อ ๑๖ ห้ามนายจ้างอนุญาตให้ลูกจ้างทำงานที่ก่อให้เกิดความร้อน หรือประกายไฟในที่อับอากาศ เช่น การเชื่อม การเผาไหม้ การย้ำหมุด การเจาะ หรือการขัด เว้นแต่จะได้จัดให้มีมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมตามหมวดนี้

ข้อ ๑๗ ห้ามนายจ้างอนุญาตให้ลูกจ้างทำงานที่ใช้สารระเหยง่าย สารพิษ สารไวไฟในที่อับอากาศ เว้นแต่จะได้จัดให้มีมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมตามหมวดนี้

หมวด ๓
การอนุญาต

ข้อ ๑๘ ให้นายจ้างเป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาตให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศ ในการนี้นายจ้างจะมอบหมายเป็นหนังสือให้ลูกจ้างซึ่งได้รับการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามข้อ ๒๑ คนหนึ่งหรือหลายคนตามความจำเป็น เป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาตแทนก็ได้

ให้นายจ้างเก็บหนังสือมอบหมายไว้ ณ สถานประกอบกิจการพร้อมที่จะให้พนักงานตรวจแรงงานตรวจสอบได้

ข้อ ๑๙ ให้นายจ้างจัดให้มีหนังสืออนุญาตให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศทุกครั้ง และหนังสืออนุญาตนั้นอย่างน้อยต้องมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

(๑) ที่อับอากาศที่อนุญาตให้ลูกจ้างเข้าไปทำงาน
(๒) วัน เวลา ในการทำงาน
(๓) งานที่ให้ลูกจ้างเข้าไปทำ
(๔) ชื่อลูกจ้างที่อนุญาตให้เข้าไปทำงาน
(๕) ชื่อผู้ควบคุมงานตามข้อ ๗
(๖) ชื่อผู้ช่วยเหลือตามข้อ ๘
(๗) มาตรการความปลอดภัยที่เตรียมไว้ก่อนการให้ลูกจ้างเข้าไปทำงาน
(๘) ผลการตรวจสภาพอากาศและสภาวะที่อาจเกิดอันตราย
(๙) อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล และอุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิต
(๑๐) อันตรายที่ลูกจ้างอาจได้รับในกรณีฉุกเฉินและวิธีการหลีกหนีภัย
(๑๑) ชื่อและลายมือชื่อผู้ขออนุญาต และชื่อและลายมือชื่อผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาตตามข้อ ๑๘

ข้อ ๒๐ ให้นายจ้างเก็บหนังสืออนุญาตให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศตามข้อ ๑๙ ไว้ ณ สถานประกอบกิจการพร้อมที่จะให้พนักงานตรวจแรงงานตรวจสอบได้ และให้ปิดสำเนาหนังสือดังกล่าวไว้ที่บริเวณทางเข้าที่อับอากาศให้เห็นชัดเจนตลอดเวลาที่ลูกจ้างทำงาน

หมวด ๔
การฝึกอบรม

ข้อ ๒๑ ให้นายจ้างจัดให้มีการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และหลักสูตรที่อธิบดีประกาศกำหนดแก่ลูกจ้างทุกคนที่ทำงานในที่อับอากาศ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีความรู้ความเข้าใจทักษะที่จำเป็นในการทำงานอย่างปลอดภัย ตามหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย พร้อมทั้งวิธีการและขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

ข้อ ๒๒ ให้นายจ้างเก็บหลักฐานการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามข้อ ๒๑ ไว้พร้อมที่จะให้พนักงานตรวจแรงงานตรวจสอบได้

ให้ไว้ ณ วันที่ ๒๗ เมษายน พ.ศ. ๒๕๔๗

(นางอุไรวรรณ เทียนทอง)
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงแรงงาน

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับกฤษฎีกา เล่ม ๑๒๑ ตอนที่ ๓๕ ก วันที่ ๑๐ มิถุนายน ๒๕๔๗

2. ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ว่าด้วยเรื่อง ***"หลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงพ.ศ.2543"***

ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม
ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง
และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง
พ.ศ. 2543

เพื่ออนุวัติตามข้อ 5 และข้อ 6 แห่งประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ. ศ. 2542) ลงวันที่ 18 พฤศจิกายน 2542 ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงานที่ให้กำหนดหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง

จึงสมควรกำหนดระเบียบปฏิบัติการชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงไว้ดังต่อไปนี้

หมวด 1
หลักเกณฑ์ทั่วไป

ข้อ 1 ระเบียบนี้เรียกว่า " ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 "

ข้อ 2 ในระเบียบนี้

" ความเสี่ยง " หมายความว่า ผลลัพธ์ของความน่าจะเกิดอันตราย และผลจากอันตรายนั้น

" ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ " หมายความว่า ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มมาตรการควบคุมอีกหรือเป็นผลจากการมีมาตรการที่เหมาะสมในการลดหรือควบคุมความเสี่ยง

" อันตราย " หมายความว่าสิ่งหรือเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือความเจ็บป่วยจากการทำงาน ความเสียหายต่อทรัพย์สิน ความเสียหายต่อสภาพแวดล้อม ความเสียหายต่อสาธารณชน หรือสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้รวมกัน

" อุบัติการณ์ " หมายความว่าเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นแล้วมีผลให้เกิดอุบัติเหตุ หรือเหตุการณ์เกือบเกิดอุบัติเหตุ

" เหตุการณ์เกือบเกิดอุบัติเหตุ " หมายความว่าเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุ

" อุบัติเหตุ " หมายความว่าเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดจากการที่ไม่ได้คาดคิดไว้ล่วงหน้าหรือไม่ทราบล่วงหน้าหรือขาดการควบคุม แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วมีผลให้เกิดการบาดเจ็บหรือความ

/ เจ็บป่วยจากการทำงาน...

เจ็บป่วยจากการทำงานหรือการเสียชีวิตหรือความสูญเสียต่อทรัพย์สินหรือความเสียหายต่อสภาพแวดล้อม หรือต่อสาธารณชน

"อุบัติภัยร้ายแรง" หมายความว่าการเกิดเพลิงไหม้ การระเบิด หรือการรั่วไหลของสารเคมีหรือวัตถุอันตรายที่ส่งผลกระทบรุนแรงต่อสุขภาพอนามัย ชีวิต ทรัพย์สิน ชุมชน หรือสิ่งแวดล้อม

"ขั้นตอนการปฏิบัติ" หมายความว่าเอกสารที่อธิบายถึงขั้นตอนการทำงาน หรือการดำเนินงานในเรื่องใดเรื่องหนึ่งเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงานหรือเพื่อเป็นการลดหรือควบคุมความเสี่ยง

"การดำเนินงาน" หมายความว่าการออกแบบ กระบวนการผลิต การรับจ่าย การเก็บ การขนถ่ายหรือขนย้าย การใช้ การขนส่ง วัตถุดิบ เชื้อเพลิง สารเคมีหรือวัตถุอันตราย ผลิตภัณฑ์และวัตถุพลอยได้ วิธีการปฏิบัติงาน เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต และกิจกรรมหรือสภาพการณ์ต่างๆ ภายในโรงงาน เป็นต้น

ข้อ 3 ผู้ประกอบกิจการโรงงานหรือผู้ขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานหรือใบอนุญาตขยายโรงงานต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน โดยต้องทำการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานเพื่อชี้บ่งอันตราย ประเมินความเสี่ยง และจัดทำแผนงานการจัดการความเสี่ยงตามข้อ 4 ข้อ 5 และข้อ 6 ตามระเบียบนี้ ดังนี้

3.1 ผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานอยู่เดิมหรือผู้ขอรับใบอนุญาตขยายโรงงาน การศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตราย และประเมินความเสี่ยงต้องดำเนินงานโดยกลุ่มบุคลากรของโรงงานอย่างน้อย 3 คน และมีคุณสมบัติครอบคลุมดังนี้

3.1.1 มีความรู้ ความเข้าใจ และประสบการณ์ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการประกอบกิจการโรงงาน เช่น เทคโนโลยีการผลิต กระบวนการผลิต การซ่อมบำรุง เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ วัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์และวัตถุพลอยได้ เป็นต้น

3.1.2 มีความรู้ ความเข้าใจ และประสบการณ์ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมการทำงาน

3.1.3 มีความรู้ และความเข้าใจในการชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการบริหารจัดการความเสี่ยง

3.2 ผู้ขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน การศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงต้องดำเนินงานโดยกลุ่มบุคลากรที่มีคุณสมบัติตามข้อ 3.1.1 ข้อ 3.1.2 และข้อ 3.1.3

/ 3.3 การจัดทำรายงาน...

3.3 การจัดทำรายงานการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดจากการประกอบกิจการโรงงานให้ปฏิบัติดังนี้

3.3.1 ทำการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานทั้งหมด รวบรวมเพื่อจัดทำเป็นบัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม ลงในแบบบัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยง และอันตรายตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

3.3.2 เลือกวิธีการชี้บ่งอันตรายในข้อ 4 ให้เหมาะสมกับการดำเนินงานเพื่อทำการชี้บ่งอันตรายกับรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายที่ได้รวบรวมไว้ในข้อ 3.3.1

3.3.3 ทำการชี้บ่งอันตรายจากสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายตามบัญชีรายการข้อ 3.3.1 ด้วยวิธีการที่เหมาะสม โดยระบุถึงเหตุการณ์ อุบัติเหตุ อุบัติภัยร้ายแรง อันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้หรือผลที่จะเกิดตามมา

3.3.4 ทำการประเมินความเสี่ยงโดยพิจารณาถึงโอกาสและความรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นได้จากรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยง และอันตรายนั้น ในการพิจารณาต้องคำนึงถึงลำดับของการเกิดเหตุการณ์ เงื่อนไขหรือปัจจัยที่เป็นต้นเหตุในการเกิดด้วย

3.3.5 จัดระดับความเสี่ยงของรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยง และอันตรายที่อาจส่งผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม โดยให้ปฏิบัติตามข้อ 5

3.3.6 จัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง โดยจัดทำแผนงานลดความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 1 และจัดทำแผนงานควบคุมความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 2 โดยให้ปฏิบัติตามข้อ 6

3.3.7 นำผลจากการปฏิบัติตามข้อ 3.3.1 – 3.3.6 มาจัดทำรายงานการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน

3.4 รายงานการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดจากการประกอบกิจการโรงงานโดยอย่างน้อยต้องประกอบด้วย

3.4.1 ข้อมูลรายละเอียดการประกอบกิจการ

3.4.2 บัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยง และอันตราย

3.4.3 ข้อมูลรายละเอียดการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของสิ่งที่เป็นความเสี่ยง และอันตราย

3.4.4 ข้อมูลรายละเอียดแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง

/ 3.4.5 บทสรุปผลการศึกษา...

3.4.5 บทสรุปผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานที่มีความเสี่ยงอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ความเสี่ยงสูง ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ รวมทั้งแผนงานลดความเสี่ยงและควบคุมความเสี่ยง

หมวด 2
การชี้บ่งอันตราย

ข้อ 4 ผู้ประกอบกิจการโรงงานหรือผู้ขอรับใบอนุญาตขยายโรงงานหรือผู้ขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานอาจเลือกใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งหรือหลายวิธีที่เหมาะสมตามลักษณะการประกอบกิจการหรือลักษณะความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการโรงงานในการชี้บ่งอันตรายได้ ดังต่อไปนี้

4.1 Checklist เป็นวิธีที่ใช้ในการชี้บ่งอันตรายโดยการนำแบบตรวจไปใช้ในการตรวจสอบการดำเนินงานในโรงงานเพื่อค้นหาอันตราย แบบตรวจประกอบด้วยหัวข้อคำถามที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบว่าได้ปฏิบัติตามมาตรฐานการออกแบบ มาตรฐานการปฏิบัติงาน หรือกฎหมาย เพื่อนำผลจากการตรวจสอบมาทำการชี้บ่งอันตราย

ขั้นตอนการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี Checklist ให้ปฏิบัติดังนี้

4.1.1 กำหนดหัวข้อเรื่องที่จะตรวจสอบความปลอดภัยในการดำเนินงานในโรงงาน

4.1.2 ร่างรายละเอียดของเรื่องที่จะต้องตรวจสอบ โดยพิจารณาถึงขั้นตอนการปฏิบัติ ข้อกฎหมายด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย และมาตรฐานความปลอดภัย

4.1.3 นำรายละเอียดในข้อ 4.1.2 มาจัดทำแบบตรวจเพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบความปลอดภัย

4.1.4 ตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของแบบตรวจอีกครั้งโดยผู้ที่มีประสบการณ์เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าแบบตรวจนั้นครอบคลุมประเด็นปัญหาความปลอดภัยที่เป็นอยู่

4.1.5 นำแบบตรวจไปใช้ตรวจสอบความปลอดภัยในการดำเนินงานในโรงงาน

/ 4.1.6 นำผลการตรวจสอบ...

4.1.6 นำผลการตรวจสอบมาชี้บ่งอันตราย เพื่อหาแนวโน้มของอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากพื้นที่ การทำงาน เครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ และกิจกรรมต่างๆ

4.1.7 นำผลการชี้บ่งอันตรายมาประเมินความเสี่ยง เพื่อจัดลำดับความเสี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นลงในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 1 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.1.8 จัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงตามระดับความเสี่ยงที่ประเมินได้ลงในแบบแผนงาน 1 หรือแบบแผนงาน 2 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.2 What If Analysis เป็นกระบวนการในการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายในการดำเนินงานต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยการใช้คำถาม "จะเกิดอะไรขึ้น....ถ้า...." (What If) และหาคำตอบในคำถามเหล่านั้นเพื่อชี้บ่งอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในการดำเนินงานในโรงงาน

ขั้นตอนการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี What If Analysis ให้ปฏิบัติดังนี้

4.2.1 แต่งตั้งกลุ่มบุคคลเพื่อทำการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วยรูปแบบคำถาม (What If)

4.2.2 กำหนดขอบเขตของการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตราย โดยครอบคลุมทั้งในกรณีเกิดเพลิงไหม้ ระเบิด สารเคมีหรือวัตถุอันตรายรั่วไหล

4.2.3 ระบุขอบเขตของแหล่งกำเนิดอันตราย และพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ รวมทั้งผู้ที่ได้รับผลกระทบ

ขอบเขตของแหล่งกำเนิดอันตรายในกระบวนการผลิตอาจเป็น

- สารเคมีหรือวัตถุอันตราย
- เครื่องจักรอุปกรณ์
- หน่วยของกระบวนการผลิต
- พื้นที่การปฏิบัติงาน
- ระบบสาธารณูปโภค
- ชุมชนใกล้เคียง

4.2.4 เตรียมข้อมูลรายละเอียดในหัวข้อต่างๆ ซึ่งสมาชิกกลุ่มจะต้องทบทวนเอกสารพื้นฐานที่สำคัญเพื่อใช้ในการตั้งคำถามซึ่งกำหนดสมมติฐานหรือความคลาดเคลื่อนจากช่วงเวลาการผลิตปกติ ทั้งในกรณีที่มีการดำเนินงานปกติ ผิดปกติ และเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น รวมทั้งกรณีที่มีการ

/ เปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต...

เปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตไปจากกระบวนการผลิตปกติ หัวหน้ากลุ่มจะต้องเข้าสำรวจพื้นที่การทำงานที่อันตรายเพื่อที่จะเข้าใจสภาพทั่วไป และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่จริง เพื่อประสิทธิภาพในการประเมินความเสี่ยง

4.2.5 จัดทำคำถามให้เป็นระบบและทบทวนคำถามต่างๆ โดยสมาชิกในกลุ่ม สำหรับรูปแบบการตั้งคำถามให้พิจารณาในประเด็นต่างๆ ดังนี้

- ความล้มเหลวของเครื่องจักรอุปกรณ์
- สภาพกระบวนการผลิตที่ผิดปกติเนื่องจากอุณหภูมิ ความดัน หรือความล้มเหลวของการป้อนวัตถุดิบสู่กระบวนการผลิต เป็นต้น
- ความล้มเหลวของเครื่องมือ เครื่องวัด
- ความล้มเหลวของระบบสาธารณูปโภคที่เกี่ยวข้อง
- ความผิดพลาดจากการทำงานของคนงาน
- การทำงานไม่เป็นไปตามขั้นตอน ระหว่างสภาพการทำงานปกติ การเดินเครื่องจักร หรือการหยุดเครื่องจักร
- อุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงรักษา
- อุบัติเหตุในบริเวณสถานที่การทำงานที่เกี่ยวข้อง เช่น พื้นที่ขนส่ง ผลกระทบจากรถยก หรืออุบัติเหตุระหว่างการขนส่ง เป็นต้น
- ความล้มเหลวโดยรวม เช่น ความล้มเหลวของอุปกรณ์หลายชนิด หรือความล้มเหลวของอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมกับความผิดพลาดจากการทำงานของคนงาน

การตั้งคำถามจะต้องเป็นระบบ โดยเริ่มจากจุดเริ่มต้นของขั้นตอนแรกในกระบวนการผลิต กระทั่งถึงขั้นตอนการผลิตขั้นสุดท้าย การตั้งคำถามนี้สามารถประยุกต์ใช้กับสภาพกระบวนการผลิตที่ไม่ปกติได้

4.2.6 ดำเนินการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วยเทคนิคการชี้บ่งอันตรายในรูปแบบคำถาม What If โดยรวบรวมคำถามต่าง ๆ เข้าด้วยกันเป็นหมวดหมู่ตามลำดับขั้นตอนการผลิต โดยหัวข้อแต่ละคอลัมน์ในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงจะประกอบด้วย

- คำถาม What If
- อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา
- มาตรการเพื่อลดผลกระทบของอันตราย

/ ข้อเสนอแนะ...

- ข้อเสนอแนะ

ในการทบทวนจะเริ่มต้นด้วยคำถาม What If แต่ละคำถาม โดยพิจารณาถึงอันตราย ผลที่จะเกิดตามมา และมาตรการลดผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับคำถามแต่ละคำถาม รวมทั้งข้อเสนอแนะในการป้องกันอันตราย โดยหัวหน้ากลุ่มมีหน้าที่จัดการกับคำถามของแต่ละกลุ่มคำถามให้แล้วเสร็จเรียบร้อยก่อนที่จะเริ่มคำถามข้อต่อไป ซึ่งกลุ่มจะต้องยอมรับคำตอบและข้อพิจารณาต่าง ๆ นั้นเพื่อนำไปประเมินความเสี่ยงต่อไป

4.2.7 สรุปข้อมูลที่ได้จากการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานเพื่อชี้บ่งอันตรายของกลุ่มลงในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 2 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.2.8 นำผลการชี้บ่งอันตรายมาประเมินความเสี่ยง เพื่อจัดลำดับความเสี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นลงในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 2 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.2.9 จัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงตามระดับความเสี่ยงที่ประเมินได้ลงในแบบแผนงาน 1 หรือแบบแผนงาน 2 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.3 Hazard and Operability Study (HAZOP) เป็นเทคนิคการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายและค้นหาปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินงานโรงงาน โดยการวิเคราะห์หาอันตรายและปัญหาของระบบต่าง ๆ ซึ่งอาจจะเกิดจากความไม่สมบูรณ์ในการออกแบบที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจด้วยการตั้งคำถามที่สมมติสถานการณ์ของการผลิตในภาวะต่าง ๆ โดยการใช้ HAZOP Guide Words ในตารางที่ 1 มาประกอบกับปัจจัยการผลิตที่ได้ออกแบบไว้ หรือความบกพร่องและความผิดปกติในการทำงาน เช่น อัตราการไหล อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น เพื่อนำมาชี้บ่งอันตรายหรือค้นหาปัญหาในกระบวนการผลิตซึ่งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงขึ้นได้

ขั้นตอนการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี HAZOP ให้ปฏิบัติดังนี้

4.3.1 แนะนำสมาชิกของกลุ่มบุคคล พร้อมประวัติอย่างคร่าว ๆ ของแต่ละคน

4.3.2 ผู้ประสานงานของกลุ่มเสนอวิธีการในการทำ HAZOP เพื่อให้สมาชิกในกลุ่มพร้อมที่จะทำการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงาน

4.3.3 นำเสนอให้กลุ่มทราบถึงคุณสมบัติของสารเคมีหรือวัตถุอันตรายชนิดเนียบพลัน เพื่อให้ตระหนักถึงความเป็นพิษและอันตรายของสารเหล่านั้น

/ ตารางที่ 1 HAZOP Guide Words...

ตารางที่ 1 HAZOP Guide Words

HAZOP Guide Words	ความบกพร่องหรือผิดปกติในการทำงาน (Operating Deviation)
ไม่ (None)	• ไม่มีการไหล (No Flow) • ไหลย้อนกลับ (Reverse Flow) • ไม่เกิดปฏิกิริยา (No Reaction)
มากกว่า (More)	• อัตราการไหลเพิ่มขึ้น (Increased Flow) • ความดันเพิ่มขึ้น (Increased Pressure) • อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Increased Temperature) • อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น (Increased Reaction Rate)
น้อยกว่า (Less)	• อัตราการไหลลดลง (Reduced Flow) • ความดันลดลง (Reduced Pressure) • อุณหภูมิลดลง (Reduced Temperature) • อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง (Reduced Reaction Time)
ปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (Part of, as well as Other)	• การเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของวัตถุดิบ (Change of Ratio of Material Present) • การเปลี่ยนวัตถุดิบ (Different Material Present) • สภาวะโรงงานที่แตกต่างจากการปฏิบัติอย่างปกติ (Different Plant Conditions from Normal Operation) • การเดินเครื่องจักร (Start up) • การหยุดเครื่องจักร Shutdown) • การปล่อยสารเคมี ความดัน ฯลฯ (Relief) • การใช้เครื่องมือ (Instrumentation) • การเก็บตัวอย่าง (Sampling) • ความบกพร่องของระบบน้ำ ระบบไฟ เป็นต้น (Utility Failure) • การกัดกร่อน (Corrosion) • การซ่อมบำรุง (Maintenance) • การกัดเซาะ (Erosion) • ไฟฟ้าสถิตย์ (Grounding/Static)

/ 4.3.4 สมาชิกในกลุ่ม...

4.3.4 สมาชิกในกลุ่มต้องชี้บ่งอันตรายเบื้องต้นในกระบวนการผลิตก่อนเพื่อจะได้ทราบจุดประสงค์ของการทำ HAZOP และนำไปสู่การปฏิบัติในแนวทางเดียวกัน

4.3.5 กำหนดขอบเขตของการทำ HAZOP

4.3.6 การเดินสำรวจโรงงาน กลุ่มควรเดินสำรวจโรงงานตามจุดต่าง ๆ เพื่อศึกษาให้เข้าใจกระบวนการทำงาน

4.3.7 จัดประชุมกลุ่มย่อยภายใต้ขอบข่ายงานที่กำหนดในการทำ HAZOP

4.3.8 สรุปข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานของกลุ่มลงในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 3 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.3.9 นำผลการชี้บ่งอันตรายมาประเมินความเสี่ยง เพื่อจัดลำดับความเสี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นลงในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 3 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.3.10 จัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงตามระดับความเสี่ยงที่ประเมินได้ลงในแบบแผนงาน 1 หรือแบบแผนงาน 2 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.4 Fault Tree Analysis เป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่เน้นถึงอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุ ซึ่งเป็นเทคนิคในการคิดย้อนกลับที่อาศัยหลักการทางตรรกวิทยาในการใช้หลักการเหตุและผล เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรง โดยเริ่มวิเคราะห์จากอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อพิจารณาหาเหตุการณ์แรกที่เกิดขึ้นก่อนแล้วนำมาแจกแจงขั้นตอนการเกิดเหตุการณ์แรกว่ามาจากเหตุการณ์ย่อยอะไรได้บ้าง และเหตุการณ์ย่อยเหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร การสิ้นสุดการวิเคราะห์เมื่อพบว่าสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ย่อยเป็นผลเนื่องจากความบกพร่องของเครื่องจักรอุปกรณ์ หรือความผิดพลาดจากการปฏิบัติงาน

ขั้นตอนการศึกษา วิเคราะห์ ทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี Fault Tree Analysis ให้ปฏิบัติดังนี้

4.4.1 ให้พิจารณาเลือกจำลองเหตุการณ์แรก (Top Event) ที่เกิดขึ้นหรืออาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบทำให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรงตามมา

/ 4.4.2 วิเคราะห์หาสาเหตุ...

4.4.2 วิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์แรกว่าเกิดได้จากเหตุการณ์ย่อย (Fault Tree Event or Intermediate Event) อะไรได้บ้าง

4.4.3 วิเคราะห์หาสาเหตุของเหตุการณ์ย่อยเหล่านั้นอีกจนการวิเคราะห์หาสาเหตุจะสิ้นสุดเมื่อพบว่าสาเหตุต่าง ๆ เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความบกพร่องของเครื่องจักรอุปกรณ์ เครื่องมือ ระบบความปลอดภัย ความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงาน และหรือระบบการบริหารจัดการ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จัดเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยปกติ (Basic Event)

4.4.4 แสดงผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายในรูปแผนภูมิโดยใช้เครื่องหมายในตารางที่ 2

4.4.5 สรุปผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตราย และประเมินความเสี่ยงลงในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 4 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.4.6 จัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงตามระดับความเสี่ยงที่ประเมินได้ลงในแบบแผนงาน 1 หรือแบบแผนงาน 2 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

ตารางที่ 2 : สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การชี้บ่งอันตรายด้วย

สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
	AND Gate สาเหตุหลายสาเหตุ	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุหลายสาเหตุของเหตุการณ์ย่อย
	Or Gate สาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องมาจากสาเหตุใดสาเหตุของเหตุการณ์ย่อย
	Basic Event เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยปกติ	เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นได้ตามปกติ ซึ่งหมายถึงสาเหตุที่เห็นได้ชัดเจนโดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไปถือเป็นสาเหตุแรกของการเกิดอุบัติภัย
	Fault Tree Event เหตุการณ์ย่อย	เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ต่อเนื่องจนเป็นเหตุในเกิดอุบัติภัย
	Undeveloped Event เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไม่ได้	เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไปเนื่องจากไม่มีข้อมูลสนับสนุน
	External Event เหตุการณ์ภายนอก	เหตุการณ์ภายนอกหรือปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ

/ 4.5 Failure Modes and Effects Analysis...

4.5 Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) เป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่ใช้การวิเคราะห์ในรูปแบบความล้มเหลวและผลที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการตรวจสอบชิ้นส่วนเครื่องจักรอุปกรณ์ในแต่ละส่วนของระบบแล้วนำมาวิเคราะห์หาผลที่จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความล้มเหลวของเครื่องจักรอุปกรณ์

ขั้นตอนการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วย FMEA ให้ปฏิบัติดังนี้

4.5.1 จัดเตรียมข้อมูล เอกสารและแผนผังเพื่อศึกษาวิเคราะห์ FMEA ข้อมูลหรือเอกสารที่ใช้ในการศึกษา วิเคราะห์เพื่อชี้บ่งอันตรายด้วย FMEA ประกอบด้วย

- แผนผังระบบท่อและอุปกรณ์
- แผนผังวงจรกระแสไฟฟ้าและคำอธิบายถึงลักษณะของระบบ
- แผนผังของระบบเชื่อมโยงระหว่างเครื่องมือหรืออุปกรณ์
- แผนผังการเดินสายไฟ
- แผนผังเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งาน
- เอกสารอื่นๆ เช่น คู่มือการฝึกอบรม คู่มืออุปกรณ์ และขั้นตอนการปฏิบัติการในระบบ

เอกสารเหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่มีต่อระบบรวมและระบบย่อยเนื่องจากการขาดชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่งอันเกิดจากความล้มเหลว ทำให้ทราบถึงผลกระทบดังกล่าวได้เป็นอย่างดีซึ่งต้องมีความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันในเชิงสนับสนุนของระบบแต่ละระบบ เช่น ระบบจ่ายกำลังต่างๆ มีความสัมพันธ์ระหว่างกันกับอุปกรณ์ควบคุมเรื่องอากาศ น้ำหล่อเย็น หรือกำลังไฟฟ้า ซึ่งความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าเป็นสาเหตุให้เครื่องอัดอากาศทำงานล้มเหลวได้ เป็นต้น ถึงแม้กรณีนี้จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกันที่เห็นได้อย่างชัดเจน แต่ยังมีปัญหาอื่นๆ แอบแฝงอยู่อีกมาก เช่น ปัญหาเรื่องความล้มเหลวของกำลังเครื่องมือที่ส่งไปยังเครื่องควบคุมความดันอากาศ ประเด็นสำคัญจึงอยู่ที่ผู้วิเคราะห์จะต้องมีความรู้พื้นฐานด้านโครงสร้างและการปฏิบัติงานของชิ้นส่วนนั้น ๆ อย่างเพียงพอ เพื่อที่จะสามารถชี้ได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างกันแบบไหนที่เป็นอันตราย และแบบไหนที่ผิดไปจากระบบที่ได้ออกแบบไว้

4.5.2 คัดเลือกกลุ่มทำการศึกษา FMEA ซึ่งต้องประกอบด้วยบุคลากรที่มีประสบการณ์ดังนี้

/ วิศวกรหรือผู้เชี่ยวชาญ...

- วิศวกรหรือผู้เชี่ยวชาญด้านการปฏิบัติงานที่มีความชำนาญในเรื่องการออกแบบและการปฏิบัติงานของโรงงาน
- ผู้เชี่ยวชาญด้านการควบคุมระบบไฟฟ้า เครื่องจักร อุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวก (Utilities) โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องมีความชำนาญในเรื่องการออกแบบ

สำหรับหัวหน้ากลุ่มต้องมีคุณสมบัติต่อไปนี้เพื่อให้ได้ผลการศึกษาวิเคราะห์ที่ถูกต้องและมีคุณภาพ

- ต้องมีประสบการณ์ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์ โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องการทำงาน สาเหตุและผลกระทบจากความล้มเหลวของเครื่องจักรอุปกรณ์
- มีความรู้เกี่ยวกับโรงงานในเชิงวิศวกรรม ทั้งทางด้านการออกแบบและการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์หรือไฟฟ้า

หัวหน้ากลุ่มที่ทำ FMEA จำเป็นต้องมีความรู้และประสบการณ์อย่างกว้างขวาง เพราะเทคนิค FMEA ไม่ได้วิเคราะห์ถึงรายละเอียดของหน้าที่และการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ ในโรงงานเท่านั้น แต่เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องจักรอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ ที่ทำงานร่วมและสนับสนุนกัน ในกรณีที่มีรายละเอียดของเทคนิคการวิเคราะห์ส่วนใดส่วนหนึ่งขาดไปนั้น เป็นหน้าที่ของหัวหน้าทีมและทีมงานศึกษาวิเคราะห์ที่จะต้องใช้ประสบการณ์ของแต่ละฝ่ายร่วมกันแก้ไข ผู้ที่ได้รับคัดเลือกให้อยู่ในทีมงานศึกษาต้องมีหลักการและพื้นฐานความรู้ที่เอื้อประโยชน์ต่อกันได้ดีจึงจะทำให้ผลการศึกษาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

กลุ่มผู้ทำ FMEA ต้องทำความเข้าใจไม่เพียงแต่เรื่องผลกระทบที่เกิดจากความล้มเหลวจากชิ้นส่วนของเครื่องจักรอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ ในโรงงานโดยตรงเท่านั้น แต่จะต้องเข้าใจถึงปัจจัยหรือตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ อีกด้วย เนื่องจากเมื่อเครื่องจักรอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ ทำงานล้มเหลวจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำงานปกติ ทำให้ปัจจัยหรือตัวแปรในการผลิตคลาดเคลื่อนไปและจะส่งผลต่อไปทำให้ระบบล้มเหลวมากขึ้น

4.5.3 การทำ FMEA มีแนวทางดังนี้

- ให้คำนิยามเพื่อกำหนดขอบเขตการทำ FMEA โดยจัดทำรายการของสิ่งต่างๆ ในโรงงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งคำว่า ระบบ หมายถึงส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องจักรอุปกรณ์ ท่อ และส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เป็นส่วนสนับสนุน เช่น แหล่งกำเนิดไฟฟ้า น้ำหล่อเย็น เป็นต้น ทั้งนี้ต้องครอบคลุมหน้าที่การทำงานอย่างสมบูรณ์

/ อธิบายรายละเอียดของชิ้นส่วน...

- อธิบายรายละเอียดของชิ้นส่วนหลักของระบบต่าง ๆ ในโรงงาน เพราะการวิเคราะห์ต้องเกี่ยวข้องกับหลายระบบ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์หลักของแต่ละระบบมักจะทำงานล้มเหลวเนื่องมาจากชิ้นส่วนย่อย ๆ กลุ่มผู้ศึกษาวิเคราะห์เทคนิค FMEA สามารถนำความล้มเหลวของชิ้นส่วนย่อยไปรวมไว้ในการวิเคราะห์ได้ถ้ามีผู้เชี่ยวชาญอยู่ในกลุ่มด้วย
- เก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วย
  - รายละเอียดของชิ้นส่วนเครื่องจักรอุปกรณ์ และระบบสนับสนุน
  - รูปแบบความล้มเหลวที่เลือกไว้รวมทั้งสาเหตุของความล้มเหลว
  - ผลกระทบที่เกิดจากความล้มเหลวของระบบรวม และระบบย่อย
  - วิธีการตรวจวัด และการวิเคราะห์หาสาเหตุของความล้มเหลว
  - ระบบการทำงานทดแทนและผู้ปฏิบัติงาน พร้อมคำอธิบาย

ในการทำ FMEA นั้น ไม่เพียงแต่มุ่งประเด็นหลักไปที่ความล้มเหลวของเครื่องจักรอุปกรณ์เพียงประการเดียว เนื่องจากความล้มเหลวของเครื่องจักรอุปกรณ์นั้นจะช่วยทำให้เห็นกลไกในการประมวลผลหรือภาพรวมทั้งหมดได้ โดยจะต้องพิจารณาถึงชิ้นส่วนอื่นๆ และรูปแบบความล้มเหลวด้วย เช่น การพิจารณาถึงชิ้นส่วนที่เป็นเครื่องจักรอุปกรณ์ เช่น เครื่องสูบ ต้องพิจารณาเลยไปถึงชิ้นส่วนอื่นๆที่ทำหน้าที่จ่ายกำลัง ได้แก่ เครื่องตัดวงจรกระแสไฟ ระบบเชื่อมโยงระหว่างการเริ่มทำงานและการสิ้นสุดการทำงาน ระบบควบคุมร่วม เป็นต้น ความล้มเหลวของระบบเป็นส่วนมากที่มักพบว่ามีสาเหตุเกี่ยวข้องกับเรื่องระบบไฟฟ้าและการควบคุมระบบ

4.5.4 การรวบรวมบันทึกข้อมูล ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลความล้มเหลวของชิ้นส่วนที่มีต่อระบบ ความล้มเหลวทั้งหมดซึ่งเป็นสาเหตุให้ระบบไม่สามารถทำงานได้นั้นจะได้รับการพิจารณาทั้งหมดโดยไม่มีการจำเพาะเจาะจงถึงความรุนแรงของผลกระทบและแนวโน้มของเหตุการณ์นั้น ๆ เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ได้รับความเสียหายอาจจะเป็นผลจากความล้มเหลวบางอย่างของระบบสนับสนุนก็ได้ เช่น สภาวะที่กระแสไฟฟ้าดกเป็นเวลานานนั้น ดังนั้นจึงถือเป็นหน้าที่ของผู้วิเคราะห์ในการที่จะเพิ่มหัวเรื่องลงไปในการบันทึกข้อมูล เพื่อระบุถึงความล้มเหลวที่มีผลต่อการทำงานในแต่ละระบบ หรือไม่ก็อธิบายลักษณะของผลกระทบจากความล้มเหลวในแง่ของแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดความสูญเสียต่อผลผลิตหรือรายได้ไว้ด้วย

4.5.5 รายงานที่ต้องจัดทำเพื่อแสดงผลการศึกษาจะบันทึกข้อมูลลงในแบบการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง 5 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลในเรื่อง

/ รายละเอียดของชิ้นส่วน...

- รายละเอียดของชิ้นส่วนเครื่องจักรอุปกรณ์และระบบสนับสนุน
- ความล้มเหลวหรือความเสียหายหรือความบกพร่อง
- สาเหตุของความล้มเหลวหรือความเสียหายหรือความบกพร่อง
- ผลที่เกิดจากความล้มเหลวหรือความเสียหายหรือความบกพร่อง

ของชิ้นส่วนเครื่องจักรอุปกรณ์ และระบบสนับสนุน

- มาตรการป้องกัน ควบคุม และแก้ไข

4.5.6 นำผลการชี้บ่งอันตรายมาประเมินความเสี่ยง เพื่อจัดลำดับความเสี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ลงในแบบการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง 5 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.5.7 จัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงตามระดับความเสี่ยงที่ประเมินได้ลงในแบบแผนงาน 1 หรือแบบแผนงาน 2 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.6 Event Tree Analysis เป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายเพื่อวิเคราะห์และประเมินหาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อเนื่องเมื่อเกิดเหตุการณ์แรกขึ้น (Initiating Event) ซึ่งเป็นการคิดเพื่อคาดการณ์ล่วงหน้าเพื่อวิเคราะห์หาผลสืบเนื่องที่จะเกิดขึ้น เมื่อเครื่องจักรอุปกรณ์เสียหายหรือคนทำงานผิดพลาดเพื่อให้ทราบสาเหตุว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร และมีโอกาสที่จะเกิดมากน้อยเพียงใด รวมทั้งเป็นการตรวจสอบว่าระบบความปลอดภัยที่มีอยู่มีปัญหาหรือไม่อย่างไร

ขั้นตอนการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วย Event Tree Analysis ให้ปฏิบัติดังนี้

4.6.1 พิจารณาสถานการณ์จำลอง (Initiating Event) ที่อาจเกิดขึ้นหรือที่เกิดขึ้นแล้ว

4.6.2 แจกแจงรายละเอียดของระบบความปลอดภัยทั้งหมดที่มีอยู่และวิธีการปฏิบัติงานของคนงานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเหตุการณ์ที่อาจเกิดที่เกิดขึ้น

4.6.3 สร้างแผนภูมิ Event Tree Analysis โดยวิเคราะห์ระบบความปลอดภัยและหรือผู้ปฏิบัติงาน โดยพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ เมื่อระบบความปลอดภัยทำงานปกติหรือผู้ปฏิบัติงานถูกต้อง และระบบความปลอดภัยหรือคนปฏิบัติงานไม่ถูกต้อง

4.6.4 อธิบายขั้นตอนและผลที่เกิดขึ้นจากการเกิดเหตุตามลำดับ

4.6.5 สรุปผลการศึกษา วิเคราะห์ ทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วย Event Tree Analysis และประเมินความเสี่ยงลงในแบบการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง 6 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

/ 4.6.6 จัดทำแผนงานบริหารจัดการ...

4.6.6 จัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงตามระดับความเสี่ยงที่ประเมินได้ลงในแบบแผนงาน 1 หรือแบบแผนงาน 2 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

4.7 ผู้ประกอบกิจการโรงงานหรือผู้ขอรับใบอนุญาตขยายโรงงานหรือผู้ขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานอาจเลือกใช้วิธีการชี้บ่งอันตรายอื่น ๆ หรือวิธีการอื่นใดที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นชอบ เช่น การชี้บ่งอันตรายตามแนวทางในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย เป็นต้น ทั้งนี้ต้องส่งวิธีการให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นชอบก่อน

หมวด 3
การประเมินความเสี่ยง

ข้อ 5 การประเมินความเสี่ยงให้ใช้หลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้ หรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นชอบ

5.1 พิจารณาถึงโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยจัดระดับโอกาสเป็น 4 ระดับ ดังตัวอย่างในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 : การจัดระดับโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ

ระดับ	รายละเอียด
1	มีโอกาสในการเกิดยาก เช่น ไม่เคยเกิดเลยในช่วงเวลาตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป
2	มีโอกาสในการเกิดน้อย เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น1 ครั้ง ในช่วง 5-10 ปี
3	มีโอกาสในการเกิดปานกลาง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 1-5 ปี
4	มีโอกาสในการเกิดสูง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดมากกว่า 1 ครั้ง ใน 1ปี

5.2 พิจารณาถึงความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ว่าจะก่อให้เกิดถึงผลกระทบที่อาจเกิดต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อมมากน้อยเพียงใด โดยจัดระดับความรุนแรงเป็น 4 ระดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4 5 6 และ 7

/ ตารางที่ 4 : การจัดระดับความรุนแรง...

ตารางที่ 4 : การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อบุคคล

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	มีการบาดเจ็บเล็กน้อยในระดับปฐมพยาบาล
2	ปานกลาง	มีการบาดเจ็บที่ต้องได้รับการรักษาทางการแพทย์
3	สูง	มีการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่รุนแรง
4	สูงมาก	ทุพลภาพหรือเสียชีวิต

ตารางที่ 5 : การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อชุมชน

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	ไม่มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน หรือมีผลกระทบเล็กน้อย
2	ปานกลาง	มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน และแก้ไขได้ในระยะเวลาสั้น
3	สูง	มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน และต้องใช้เวลาในการแก้ไข
4	สูงมาก	มีผลกระทบรุนแรงต่อชุมชนเป็นบริเวณกว้าง หรือหน่วยงานของรัฐต้องเข้าดำเนินการแก้ไข

หมายเหตุ ผลกระทบต่อชุมชน หมายถึงเหตุร้ายต่อชุมชน การบาดเจ็บ เจ็บป่วยของประชาชน ความเสียหายต่อทรัพย์สินของชุมชนและประชาชน

ตารางที่ 6 : การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย สามารถควบคุมหรือแก้ไขได้
2	ปานกลาง	มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมปานกลาง สามารถแก้ไขได้ในระยะเวลาสั้น
3	สูง	มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรุนแรง ต้องใช้เวลาในการแก้ไข
4	สูงมาก	มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรุนแรงมาก ต้องใช้ทรัพยากรและเวลานานในการแก้ไข

หมายเหตุ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หมายถึง การเสื่อมโทรมและเสียหายของ สิ่งแวดล้อม เช่น อากาศ ดิน แหล่งน้ำ เป็นต้น

/ ตารางที่ 7 : การจัดระดับความรุนแรง...

ตารางที่ 7 : การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อทรัพย์สิน

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	ทรัพย์สินเสียหายน้อยมากหรือไม่เสียหายเลย
2	ปานกลาง	ทรัพย์สินเสียหายปานกลางและสามารถดำเนินการผลิตต่อไปได้
3	สูง	ทรัพย์สินเสียหายมากและต้องหยุดการผลิตในบางส่วน
4	สูงมาก	ทรัพย์สินเสียหายมากและต้องหยุดการผลิตทั้งหมด

หมายเหตุ ความเสียหายของทรัพย์สินในแต่ละระดับโรงงานสามารถกำหนดขึ้นเองตามความเหมาะสม โดยพิจารณาถึงขีดความสามารถของโรงงาน

5.3 จัดระดับความเสี่ยง โดยพิจารณาถึงผลลัพธ์ของระดับโอกาสคูณกับระดับความรุนแรงที่มีผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม หากระดับความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม มีค่าแตกต่างกันให้เลือกระดับความเสี่ยงที่มีค่าสูงกว่าเป็นผลของการประเมินความเสี่ยงในเรื่องนั้น ๆ ระดับความเสี่ยงจัดเป็น 4 ระดับดังรายละเอียดในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 : การจัดระดับความเสี่ยงอันตราย

ระดับความเสี่ยง	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	1-2	ความเสี่ยงเล็กน้อย
2	3-6	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม
3	8-9	ความเสี่ยงสูง ต้องมีการดำเนินงานเพื่อลดความเสี่ยง
4	12-16	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดดำเนินการและปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงลงทันที

หมวด 4
แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง

ข้อ 6 แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง หมายถึงแผนงานลดความเสี่ยง และแผนงานควบคุมความเสี่ยง ซึ่งผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องดำเนินการจัดทำแผนงานเพื่อกำหนดมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการลดและควบคุมความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการ ดังต่อไปนี้

/ 6.1 หากผลการประเมินความเสี่ยง...

6.1 หากผลการประเมินความเสี่ยงของสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายเป็นระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องหยุดการดำเนินงานนั้นทันที และปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงก่อนดำเนินงานต่อไปโดยจัดทำแผนงานลดความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 1 และแผนงานควบคุมความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 2

6.2 หากผลการประเมินความเสี่ยงของสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายเป็นระดับความเสี่ยงสูงผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดทำแผนงานลดความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 1 และแผนงานควบคุมความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 2

6.3 หากผลการประเมินความเสี่ยงของสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายเป็นระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดทำแผนงานควบคุมความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 2

6.4 แผนงานลดความเสี่ยง เป็นแผนงานปรับปรุงแก้ไขการดำเนินงานในเรื่องต่าง ๆ ในการลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ซึ่งต้องประกอบด้วยมาตรการ หรือกิจกรรมหรือการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยง โดยระบุรายละเอียดของขั้นตอนการปฏิบัติ ผู้รับผิดชอบระยะเวลาในการดำเนินการ รวมทั้งการตรวจติดตามการดำเนินการดังกล่าว ตามแบบแผนงาน 1

6.5 มาตรการหรือกิจกรรมหรือการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงอาจประกอบด้วย

6.5.1 มาตรการป้องกันและควบคุมสาเหตุของการเกิดอันตราย ได้แก่ การดำเนินงานในเรื่องต่าง ๆ เรื่องใดเรื่องหนึ่งหรือหลายเรื่องรวมกัน รวมทั้งมีการควบคุม และตรวจสอบการดำเนินงานในเรื่องเหล่านั้น โดยจัดทำเป็นขั้นตอนการปฏิบัติดังต่อไปนี้

6.5.1.1 ลดหรือกำจัดอันตรายด้วยวิธีการทางวิศวกรรม เช่น การออกแบบ การสร้าง การติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ และการติดตั้งระบบความปลอดภัย การเลือกใช้วัสดุที่ได้มาตรฐาน โดยนำผลจากการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงมาดำเนินการ

6.5.1.2 กำหนดวิธีการทำงานหรือการปฏิบัติงานตามขั้นตอนที่ถูกต้อง

6.5.1.3 กำหนดวิธีการทดสอบ ตรวจสอบ และการซ่อมบำรุงเครื่องจักรอุปกรณ์ และระบบความปลอดภัย

6.5.1.4 กำหนดกระบวนการ วิธีการ หรือขั้นตอนสำหรับการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต วัตถุดิบ เครื่องจักรอุปกรณ์ โดยให้มีการพิจารณาทบทวนการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงก่อนเริ่มดำเนินการ

/ 6.5.1.5 จัดให้มีการฝึกอบรม...

6.5.1.5 จัดให้มีการฝึกอบรมแก่ผู้ปฏิบัติงาน

6.5.1.6 จัดให้มีการตรวจประเมินความปลอดภัย

6.5.1.7 กำหนดวิธีการควบคุมให้มีการปฏิบัติตามข้อกำหนดของโรงงาน

6.5.1.8 จัดให้มีการทบทวนการชี้บ่งอันตราย และการประเมินความเสี่ยงเมื่อมีอุบัติภัยร้ายแรงเกิดขึ้น

6.5.1.9 ดำเนินการอื่น ๆ เพื่อป้องกันและควบคุมการเกิดอันตราย

6.5.2. มาตรการระงับและฟื้นฟูเหตุการณ์ ได้แก่

6.5.2.1 จัดทำและจัดให้มีการซ้อมแผนฉุกเฉิน

6.5.2.2 จัดให้มีการสอบสวนอุบัติเหตุ และอุบัติการณ์

6.5.2.3 จัดให้มีแผนฟื้นฟูโรงงาน ชุมชน และสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นผลจากการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

6.6 แผนงานควบคุมความเสี่ยง เป็นแผนงานในการควบคุม และตรวจสอบมาตรการป้องกันและควบคุมสาเหตุของการเกิดอันตราย และมาตรการระงับและฟื้นฟูเหตุการณ์ ให้คงประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการป้องกัน ลด และควบคุมความเสี่ยง ซึ่งเป็นการควบคุมและตรวจสอบการดำเนินงานเพื่อรักษาให้ความเสี่ยงอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ตลอดเวลา ซึ่งต้องประกอบด้วยมาตรการหรือกิจกรรมหรือการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง ผู้รับผิดชอบ หัวข้อเรื่องที่ควบคุม เกณฑ์หรือค่ามาตรฐานที่ใช้ควบคุม และผู้ตรวจติดตาม ในแบบแผนงาน 2 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

ประกาศ ณ วันที่ 17 พฤศจิกายน 2543

(นางสาวกัญญา สินสกุล)
อธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม

แบบบัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย
แผ่นที่ /

บัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย
โรงงาน.....
วันที่ทำการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงาน.....

การดำเนินงาน ในโรงงาน	สิ่งที่เป็นความเสี่ยง และอันตราย	ผลกระทบ ที่อาจเกิดขึ้น	หมายเหตุ

แบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 1

แผ่นที่ /

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี Checklist

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม.....โรงงาน.....

ตามแบบเอกสารหมายเลข.....วันที่ทำการศึกษา.....

					การประเมินความเสี่ยง			
					โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
ผลจากการทำ Checklist	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ					

เอกสารชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 2

แผ่นที่ /

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม.....โรงงาน.....

ตามแบบเอกสารหมายเลข.....วันที่ทำการศึกษา.....

คำถาม What If	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง

เอกสารชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 3
แผ่นที่ /

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี HAZOP

หน่วย..... รายละเอียด.....

ปัจจัยการผลิต..... ด้านควบคุม.....เอกสารอ้างอิง.....

ข้อบกพร่อง	สถานการณ์จำลอง	เหตุการณ์ที่เกิดตามมา	มาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
					โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง

ตารางการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 4

แผ่นที่ /

ผลการศึกษาวิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี Fault Tree Analysis

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิตขั้นตอนการปฏิบัติงาน/กิจกรรม.....โรงงาน.....

สถานการณ์จำลองเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง.....วันที่ทำการศึกษา.....

สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง

แบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 6

แห่งที่ /

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี Even Tree Analysis

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม.....โรงงาน.....

ตามแบบเอกสารหมายเลข.....วันที่ทำการศึกษา.....

สถานการณ์จำลอง.....

ระบบความปลอดภัย/ขั้นตอนการปฏิบัติมีข้อบกพร่อง	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง

แบบแผนงาน 1
แผ่นที่ /

แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง (แผนงานลดความเสี่ยง)

หน่วยงาน.....รายละเอียด .....

วัตถุประสงค์.....

เป้าหมาย.....

ลำดับที่	มาตรการ/กิจกรรม/การดำเนินงานลดความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลาดำเนินการ	ผู้ตรวจติดตาม	หมายเหตุ

แบบแผนงาน 2
แผ่นที่ /

แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง (แผนงานควบคุมความเสี่ยง)

หน่วยงาน.....รายละเอียด .....

วัตถุประสงค์.....

เป้าหมาย.....

ลำดับที่	มาตรการหรือกิจกรรมหรือการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม

ภาคผนวก ค
รายชื่อหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับก๊าซชีวภาพ ที่ปรึกษาออกแบบระบบก๊าซชีวภาพ และตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์

ภาคผนวก ค

ราคากลางวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องด้านความปลอดภัย

รายชื่อหน่วยงานภาครัฐ รายชื่อที่ปรึกษาออกแบบระบบก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 1 ราคากลางของวัสดุต่อหน่วยของอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัยกรณีศึกษา

ลำดับ	อุปกรณ์	รายละเอียด	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)
1	ปั๊มส่งก๊าซ(Gas Blower)	Positive Displacement Blower package -ขนาด 600 ลบ.ม./ชม. -แรงดัน 300 มิลิบาร์ -มอเตอร์กันระเบิด11กิโลวัตต์/2,900 รอบ/นาที -มาตรฐาน IEC EX ed II C T4	ตัว	300,000
2	ท่อส่งก๊าซ(Pipe)	-ชนิด HDPE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว pn6.3 และ6 นิ้ว pn6.3 -ท่อส่งก๊าซขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว ทำด้วยสเตนเลส 316	เมตร เมตร	270 380
3	วาล์วป้องกันแรงดันเกินกำหนด (Safety Relief Valve)	-อัตราการไหล 800 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงปรับตั้งแรงดันได้ 100-350 มิลิบาร์	ตัว	250,000
4	สวิตช์ป้องกันแรงกันเกินกำหนด (Pressure Switch)	-Differential pressure switch -Out put :4-20 mA -Indicator : Digital LCD Span 1-100 mbar	ตัว	55,000
5	ตัวส่งสัญญาณแรงดันก๊าซ (Pressure Transmitter)	-out put : 4-20 mA -indicator : Digital LCD -Input put : 4-20 mA	ตัว	45,000
6	ตัวควบคุมแรงดันก๊าซ (Pressure Controller)	-Out put : 2 Alarm (max.min.) -Indicator : Digital LCD	ตัว	18,000
7	ปล่องเผาก๊าซชีวภาพ (Stack Flare)ระบบเปิด ปล่องเผาก๊าซชีวภาพ (Stack Flare)ระบบปิด	-ทำด้วยสเตนเลส ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. มีอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับ (Flame Arester) มีชุดควบคุมการจุดนำอัตโนมัติ -มีอัตราการเผาไหม้ประมาณ 200 ลบ.ม./ชม. -ทำด้วยสเตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 ซม. มีอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับ (Flame Arester) มีชุดควบคุมการจุดนำอัตโนมัติ พร้อมด้วยระบบตรวจจับแสง มีอัตราการเผาไหม้ประมาณ 200ลบ.ม./ชม.	ชุด ชุด	450,000 700,000
8	ถังป้องกันยุบตัวของบ่อก๊าซ (Water Seal Tank)	-วัสดุทำด้วยสเตนเลส -รองรับปริมาณก๊าซได้ 800 ลบ.ม./ชม. ได้รับรองมาตรฐานสากล เช่นTUEV, UL	ตัว	350,000
9	เครื่องวัดการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ (Biogas leakage detector)	-สามารถตรวจหาการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ ณ จุดต่างๆ เป็น Indicator : Digital LCD	ชุด	30,000

ตารางที่ 1 ราคากลางของวัสดุต่อหน่วยของอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัย (ต่อ)

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

ตารางที่ 2 รายชื่อบริษัทที่ปรึกษาที่สามารถให้คำแนะนำหรือดำเนินการออกแบบก่อสร้าง

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
1	สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	053-942-007-9	053-892-375
2	ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย	108 อาคารบางกอกไทยทาวเวอร์ชั้น 9 ถ.รางน้ำ พญาไท กรุงเทพฯ	02-642-7090	02-642-7099
3	มูลนิธิสถาบันประสิทธิภาพพลังงาน (ประเทศไทย)	ถ.รางน้ำ อาคารบางกอกไทยทาวเวอร์ ชั้น10 พญาไท ราชเทวีกรุงเทพฯ	02-642-7115-7	02-642-7115
4	สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	อาคารสถาบัน 3 ชั้น 12 ถ.พญาไท เขต ปทุมวัน กรุงเทพฯ	02-218-8096-7	02-254-7579
5	คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	126 ถ.ประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ	02-4708-613	02-4708-635
6	สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ขอนแก่น	123 ถ.มิตรภาพ-ขอนแก่น จ.ขอนแก่น	043-362-299	043-362-299
7	บริษัท ดอร์ช คอนซัลท์ เอเชีย จำกัด	1016 อาคารศรีเฟื่องฟุ้ง ชั้น 10 ถ.พระราม 4 แขวงสีลม เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500	02-633-8104-7	02-633-8104-7
8	คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต	52/347 เมืองเอก ถ.พหลโยธิน ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี	02-997-2222 ต่อ1580	02-997-2222 ต่อ1580
9	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	50 ถ.งามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ	02-579-0545	02-579-2775
10	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี	02-564-7000	02-564-7001-5
11	บริษัท ปภพ จำกัด	10/35 ซ.ลาดพร้าว 44 แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ	02-938-2923-4	02-513-5814
12	บริษัท อินเตอร์ เอ็นจิเนียริ่งมาเนจเมนต์ จำกัด	2013 อาคารอิตัลไทย ชั้นที่6 ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ ห้วยขวาง กทม.	02-718-0424	02-718-0425
13	บริษัท ไบโอฟูเอ็ล จำกัด	49/533 หมู่ที่ 5 ซ.บุญส่งโสพิศ ถ.นวมินทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงทพฯ	02-734-5450	02-734-5450 ต่อ 103
14	บริษัท แซน.อี. 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด	642/3-7 ถ.วงศ์สว่างแขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ	02-912-2715-8	02-587-8487
15	บริษัท ไออีเอ็มซี จำกัด	1363 ซ.ลาดพร้าว 94(ปัญจมิตร) ถ.ลาดพร้าว เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ	02-559-2711	02-530-7207
16	บริษัท เฟื่องสิริ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	16 111/379-380 หมู่ 6 ถ.เลียบคลองภาษีเจริญฝั่งใต้ เขตหนองแขม กรุงเทพฯ	02-807-2778-9	02-807-3356
17	บริษัท เอส ที เอฟ อี จำกัด	17 อาคาร เอส พี ชั้น 17 388 ถ.พหลโยธิน พญาไท กรุงเทพ	02-273-0037	02-273-0735
18	บจก.แมเนจเมนท์ โซลูชั่นส์ อินเตอร์เนชั่นแนล	151 อาคารทีม ถ.นวลจันทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ	02-509-9094-5	02-509-9060
19	บริษัท ทีม เอ็นเนอร์ยี่ แมเนจเมนท์ จำกัด	152 หมู่ 12 ถ.นวลจันทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ	02-509-9084-5	02-509-9066
20	บริษัท คิว อี เอส เอ็นเนอจี คอนซ์ จำกัด	20 44/482 ซ.นวมินทร์ 125 ถ.นวมินทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ	02-948-8365	02-948-8365

ตารางที่ 2 รายชื่อบริษัทที่ปรึกษาที่สามารถให้คำแนะนำหรือดำเนินการออกแบบก่อสร้าง (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
21	บริษัท เอ็นเนอร์ยี่ คอนเซอร์เวชั่น เทคโนโลยี จำกัด	11/6 ซ.อินทามระ 40 ถ.สุทธิสาร วินิจฉัย ดินแดง กรุงเทพฯ	02-691-9533-4	02-691-9535
22	บริษัท เคเวอร์ เวย์ จำกัด	22 98/54หมู่ 8 ซ.คุณาลัย 9/5 ท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ	02-849-3176 081-913-4300	02-849-1665
23	บจก.เอ็กซ์เซลเล้นท์ เอ็นเนอร์ยี่ อินเตอร์เนชั่นแนล	ชั้น 12 อาคารสิริถิภิญโญ 475 ถ.ศรีอยุธยา ราชเทวี กรุงเทพฯ	02-201-3466	02-201-3465
24	บริษัท เดคทอป เมนูเฟคทอริ่ง จำกัด	24 80 ซ.จันทนชาติ ถ.ประชาชื่น แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ	02-913-6099	02-913-6098
25	บริษัท ฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมไทย จำกัด	25 667/5 ซ.วชิรธรรมสาธิต 45 ถ.สุขุมวิท 101/1 เขตพระโขนง กรุงเทพฯ	02-398-5607	02-746-4465
26	มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน	12/9 อาคารเอวี 3A ถ.เทศบาลสงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ	02-580-6242-3	02-580-5103
27	บริษัท เอิรธ์ เอ็นเนอร์ยี จำกัด	27 อาคาร เอสพี ชั้น 17 เลขที่ 388 ถนนพหลโยธิน เขตพญาไท กรุงเทพฯ	02-273-0037	02-273-0735
28	สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม	99 อาคารสถาบันพัฒนา SMEs (ยินเนเชี่ยน 1) ม.ธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต จ.ปทุมธานี	02-564-4000	02-564-2737
29	บริษัท ศาลาเทค รีเสิร์ช แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด	9/431 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ต. กระทุ่มล้ม อ.สามพราน จ.นครปฐม	034-230-903-4	034-230-903
30	บริษัท เกษมดีชายด์ แอนด์ คอนซัลแทนท์ จำกัด	180/61-62, 95 อาคารสุขสวัสดิ์โมเดิร์นคอนโดวิว ถ.สุขสวัสดิ์ ราษฎร์บูรณะ กรุงเทพฯ	02-818-0881-2	02-818-1369
31	ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต	31 ชั้น 3, อาคาร 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพฯ	02-218-6803-4	02-218-6805
32	บริษัท เอ็นคิว กรุ๊ป 2005 จำกัด	28/34 หมู่ 4 แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ	02-978-6300	02-978-6301
33	บริษัท พี แอนด์ เอส ดีไซน์ จำกัด	33 3/3 หมู่ 13 ถ.บางนา-ตราด กม.6.5 อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ	02-312-0165	02-312-0166
34	บริษัท พัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานไทย จำกัด	639/16 ซ.วชิรธรรมสาธิต 43 ถ.สุขุมวิท 101/1 บางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ	02-746-1722	02-746-1723
35	ห้างหุ้นส่วนจำกัด สะอาดลำปาง	111-115 ถ.บุญวาทย์ ต.สวนดอก อ.เมือง จ.ลำปาง	054-222-107-8	054-222-109
36	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	3 หมู่ 2 ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520	02-737-3000	02-737-2583
37	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที-แฟม	37 206/127 หมู่ 3 (หมู่บ้านทิพย์ภมรฮิลล์ ซอย 3 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	053-839-271	053-839-272
38	บริษัท พรีเมียร์ ไลนิ่ง อินเตอร์ พลาสจำกัด	48/1124-1126 หมู่ 7 ซ.หมู่บ้านดีเค 18 ถ.กาญจนาภิเษก เขตบางบอน กรุงเทพฯ	0-2417-8007-8	0-2417-8009
39	บริษัท อินโนเวชั่น เทคโนโลยี จำกัด	39 51/29 ถ.งามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ	02-941-4080-1	02-941-4080-1
40	บริษัท อันดามันเอนไวรอนเมนทอลคอนซัลแตนท์ จำกัด	86 ถ.เยาวราช ซอย 1 ต.ตลาดใหญ่ อ.เมือง จ.ภูเก็ต	076-254-075	076-254-075
41	บริษัท กรีนไลฟ์ เทคโนโลยี จำกัด	41 3 หมู่ 6 ต.ยุหว่า อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่	053-822-071	053-822-071
42	หน่วยปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มทส.	111 ถ.มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา	044-224-834	044-224-834

ตารางที่ 2 รายชื่อบริษัทที่ปรึกษาที่สามารถให้คำแนะนำหรือดำเนินการออกแบบก่อสร้าง (ต่อ)

ลำดับ	รายชื่อผู้จำหน่าย	ที่อยู่	โทรศัพท์	แฟกซ์
43	บริษัท การจัดการสิ่งแวดล้อม หาดใหญ่จำกัด	572/25-26 ถ.กาญจนวนิช ต.บ้านพรุ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	074-739-575	074-439-585
44	บริษัท ไบโอฟิวล จำกัด & ไบโอแก๊ซ ฟอร์รันเนอร์ จำกัด	49/533 หมู่5 ซ.นวมินทร์ 26 ถ.นวมินทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10240	0-2734-5450	0-2734-5450 ต่อ103
45	บริษัท ซาราฟ ไบโอแก๊ส เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	77/32 ชั้น 11 อาคารสินสาธร ถนนกรุงธนบุรี แขวงคลองต้นไทร เขตคลองสาน กทม.10600	0-2862-2061-2, 0-2440-0369-70	0-2862-2060
46	บริษัท ไทย ไบโอแก๊ซ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	888/173 อาคารมหาทุนพลาซ่า ชั้น 17 ถนน เพลินจิต แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ	0-2650-9150	0-2650-9149
47	บริษัท ฟูจิคาซุย (ไทยแลนด์) จำกัด	47 719 อาคาร เคพีเอ็น ทาวเวอร์ ชั้น 19 ถนน พระราม 9 เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ	02-7170810-4	02-7170809
48	บริษัท รีเทค เอ็นเนอร์ยี จำกัด	2/22 อาคารไอยรา ชั้น6 ถนนจันทร์ แขวงทุ่งวัดดอน เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120	0-2678-8921-2	0-2678-8920
49	บริษัท สมาร์ท เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	49 80/127 แขวงวังทองหลาง เขตวัง-ทองหลาง กรุงเทพฯ 10310	02-933-7644	02-933-8174
50	บริษัท อาควานิชิฮาร่าคอร์ปอเรชั่น จำกัด	99/167 ถ.เทศบาลสงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900	0-2589-9717 02-580-2356	02-580-2357
51	มูลนิธิสถาบันก๊าซชีวภาพ	191/15-16 ถนนเชียงใหม่-หางดง เชียงใหม่ 50000	053-838925	053-838887
52	บริษัท พลังธรรมชาติ จำกัด	52 ตู้ ปณ. 131 ปณฝ.พระสิงห์ อ.เมือง เชียงใหม่ 50000	053-838925	053-838925
53	บริษัท ยูทิลิตี้ บิสิเนส อัลลายแอนซ์ จำกัด (UBA)	53 ชั้น16 ทีเอสทีพาวเวอร์ 21 ถ.วิภาวดีรังสิต แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพ 10900	02-7893232	02-6178130
54	บริษัท คลีน เอเนอจี้ ดีเวลลอปเม้น จำกัด	54 ห้อง 2504 ชั้น25 อาคารมิลเลเนียทาว เวอร์ 60 ถ.หลังสวน ลุมพินี ปทุมวัน กทม.	081-2511383	02-6519904
55	บริษัท วัลวิท อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	ชั้น 4 อาคารพีเอ็ม เลขที่ 731 ถ. อโศก-ดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพฯ	02-6402223	02-6402224
56	บริษัท เค พี เอส อาร์คอนสตรัคชั่น 2006 จำกัด	115 ซ. ช่วงเจริญ โชคชัย ถ.พระราม 3 เขตยานนาวา กรุงเทพ 10120	085-0233650	043-328-430
57	บริษัท โกลบอล วอร์เทอร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด	57 ชั้น1006 อาคาร สำนักงานเซ็นทรัล เวิร์ด 999/9 ถ.พระราม 1 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330	02-6131733	02-6131736
58	บริษัท แอนแอโรบิคเทค จำกัด	58 197/178 หมู่ที่ 6 ถนนวงแหวนรอบนอก แขวงบางแคเหนือ เขตบางแค กรุงเทพฯ		