การประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน

เอริน เงาภู่ทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ เอริน เงาภู่ทอง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. สมชาย ดารารัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.จูงใจ ปั้นประณต)

..... กรรมการ

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

..... กรรมการ

(ดร. สมชาย ดารารัตน์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทวัส แจ้งเอี่ยม)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 17 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้แก่

อาจารย์ ดร. อาณัติ ดีพัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยรวมทั้งได้ช่วยตรวจทาน และแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ดร.สมชาย ดารารัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ข้อมูลรวมถึงแนวทางในการศึกษาจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

รองศาสตราจารย์ ดร.จูงใจ ปั้นประณต ประธานกรรมการคุมสอบที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการ ตลอดจนคำแนะนำในการแก้ไขงานวิจัยให้สมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส แจ้งเอี่ยม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอดและ ขอขอบพระคุณที่ให้โอกาสผู้วิจัยได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท รวมถึงให้ทุนสนับสนุนการศึกษา

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา และ ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (ว.ว.) ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนเงินทุนในการวิจัยผ่านโครงการภาคีบัณฑิตและเอื้อเฟื้อข้อมูลในการดำเนินงานวิจัยแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนได้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำปรึกษาในด้านต่าง ๆ และประสิทธิประสาทวิชาความรู้ และขอขอบคุณ เพื่อน ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบิดา มารดา รวมทั้งญาติพี่น้องที่ให้ความรัก อบรมเลี้ยงดูและคอยเป็นกำลังใจ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิต

เอริน เงาภู่ทอง

55910261: สาขาวิชา: วิศวกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม; วศ.ม. (วิศวกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิต/ ก๊าซชีวภาพ/ น้ำเสีย/ ขนมจีน

เอริน เงาภู่ทอง: การประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน (LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR BIOGAS PRODUCTION FROM FERMENTED RICE NOODLE PLANT) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อาณัติ ดีพัฒนา, Ph.D., สมชาย ดารารัตน์, Ph.D. 67 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

อุตสาหกรรมการผลิตเส้นขนมจีนมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ต้องเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค แต่ขั้นตอนการผลิตนั้นก็มีน้ำเสียเกิดขึ้นตามมาซึ่งหากไม่บำบัดก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ อาจเกิดน้ำเน่าเสียและกลิ่นเหม็น เนื่องจากน้ำเสียนั้นมีองค์ประกอบหลักคือสารประกอบอินทรีย์ในปริมาณที่สูง ดังนั้นจึงมีการนำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยผ่านกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมควบคู่ไปด้วย จึงได้มีการนำเครื่องมือทางการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เรียกว่า “การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) มาใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีนและหาแนวทางในการลดการปล่อยสารที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อประเมินความคุ้มทุนของผลตอบแทนทางการเงิน

การประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีนได้พิจารณาถึงประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 5 ประเภท คือ ภาวะโลกร้อน การทำลายชั้นบรรยากาศของโลก การเกิดโอโซนที่เป็นพิษต่อมนุษย์ การเกิดโอโซนที่เป็นพิษต่อพืช และการเกิดฝนกรด จากการวิจัยพบว่าในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าได้ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าขั้นตอนอื่น ๆ

55910261: MAJOR: CHEMICAL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING; M.Eng (CHEMICAL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING)
KEYWORDS: LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)/ BIOGAS/ WASTEWATER/ FERMENTED RIDE NOODLE PLANT
ARIN NGAOPHUTHONG: LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR BIOGAS PRODUCTION FROM FERMENTED RIDE NOODLE PLANT. ADVISORY COMMITTEE: ANAT DEEPATANA, Ph.D., SOMCHAI DARARAT, Ph.D., 67 P. 2017.

Fermented rice noodle is one of business that still grow up steadily. Due to the needs of the consumers, it has to increase the production capacity. The wastewater generated from the process if not treated properly will affect the environmental due to the high contents of organic compounds. The use of wastewater from the process is an alternative to produce electricity using biogas generated by anaerobic treatment. In this study, we aim to use the Life cycle assessment (LCA) as a tool to analyze the impact of biogas production from fermented rice noodle plant for generating the electricity. The impacts including global warming, ozone depletion, ozone formation human, ozone formation vegetation and acidification were considered in the LCA for biogas production from fermented rice noodle plant. The results showed that the electricity produced by biogas has affected to the global warming in comparison to other impacts.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่	
1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
ขอบเขตการศึกษา	2
ประโยชน์ที่ได้รับ	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
ขนมจีน	5
การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ	13
ก๊าซชีวภาพ	15
การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA)	19
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	23
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
3 วิธีดำเนินการวิจัย	27
รูปแบการวิจัย	27
วิธีดำเนินการวิจัย	27
4 ผลการวิจัย	39
ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	39
การประเมินวัฏจักรชีวิต	39
ผลของการผลิตก๊าซชีวภาพ	45
การประเมินทางเศรษฐศาสตร์	57

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5	อภิปรายและสรุปผล	49
	การประเมินวัฏจักรชีวิต	49
	ผลของการผลิตก๊าซชีวภาพ	49
	การประเมินทางเศรษฐศาสตร์	50
	ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม		51
ภาคผนวก		54
	ภาคผนวก ก	55
	ภาคผนวก ข	59
	ภาคผนวก ค	62
ประวัติย่อของผู้วิจัย		67

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ค่า BOD ของแต่ละประเภทอุตสาหกรรม	5
2-2	คุณลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	5
2-3	แสดงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือก	6
2-4	ข้อดี-ข้อเสียของระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน	14
2-5	ข้อดี-ข้อเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	15
3-1	ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์ มีค่าความร้อนที่เทียบเท่า (ทดแทน)	37
4-1	ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานในส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพ	40
4-2	ข้อมูลวิเคราะห์ผลประโยชน์ในรูปเงิน	40
4-3	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	42
4-4	จำแนกมลสารต่างๆตามประเภทปัญหาสิ่งแวดล้อม	42
4-5	แสดงศักยภาพด้านพลังงานของก๊าซชีวภาพ	46
4-6	เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	46
4-7	เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการ ผลิตก๊าซชีวภาพและการ นำไปใช้ประโยชน์	47
4-8	ประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้ทดแทนพลังงาน	48
4-9	เปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนของพลังงานทดแทน	48

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	แผนที่ตั้งสาขาแฟรน์ไชด์	4
2-2	กระบวนการผลิตแป้งขนมจีน	8
2-3	กระบวนการผลิตเส้นขนมจีน	11
2-4	แผนผังกระบวนการผลิตและสารเข้า-ออก ในแต่ละกระบวนการ	12
2-5	ระบบ Anaerobic Baffled Reactor (ABR)	18
2-6	ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต จากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040	22
3-1	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	28
3-2	กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040	29
3-3	กระบวนการผลิตเส้นขนมจีน	30
3-4	กระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงงาน พ.ศ.ช. ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด	33
3-5	การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบที่มา	34
3-6	แสดงกระบวนการปล่อยก๊าซชีวภาพกับการเผาทำลายก๊าซชีวภาพ	38
4-1	กระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิต	41
4-2	การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตก๊าซชีวภาพ	43
4-3	การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้า	44
4-4	เปรียบเทียบผลกระทบระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้า	45

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ขนมจีนนับว่าเป็นอาหารหลักอย่างหนึ่งของคนไทยที่นิยมรับประทานกันเป็นอย่างมาก จึงทำให้เกิดโรงงานอุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ กรรมวิธีการผลิตขนมจีนนั้นเป็นวิธีที่ง่าย แต่ผลเสียที่ตามมา คือ น้ำเสียที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตขนมจีน ซึ่งก่อนหน้านี้การจัดการกับน้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้นยังไม่ดีพอ จึงก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศส่งกลิ่นรบกวนชาวบ้านใกล้เคียง ต่อมาจึงได้มีการคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ๆมาจัดการกับน้ำเสียที่เรียกว่า “ก๊าซชีวภาพ” ซึ่งเกิดจากกระบวนการหมักของเสียโดยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ของเสียเหล่านั้น ได้แก่ ของเสียจาก สุกร โค ไก่ หรือของเสียจากภาคอุตสาหกรรมเกษตร และขยะ เช่น โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานน้ำมันปาล์ม และโรงงานเอทานอล เป็นต้นสำหรับชาวเกษตรกรหรือโรงงานอุตสาหกรรมแล้วการนำของเสียมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพนั้นนับว่าเป็นการลดต้นทุนให้กับผู้ประกอบการ องค์ประกอบส่วนใหญ่ของก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) (35–65%) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (15–50%) นอกจากนี้ยังมีก๊าซอื่นๆอีกเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), ไนโตรเจน (N), ออกซิเจน (O_2), แอมโมเนีย (NH_3) และ Siloxanes ความเข้มข้นของสารแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของก๊าซและองค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงเมื่อผลิตก๊าซชีวภาพทำให้ก๊าซมีเทนสูงขึ้น (Starr, Gabarrell, Villalba, Talens, & Lombardi, 2012) แต่ถึงอย่างไรก๊าซชีวภาพเหล่านี้ก็มีส่วนในการก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน (Global warming) จึงได้มีการนำเครื่องมือทางการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เรียกว่า “การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment)” มาใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

การประเมินวัฏจักรชีวิต คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่/ แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังจากการใช้งาน โดยเป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงปริมาณของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหากระบวนการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ในขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต (Hu, Tan, Yan, & Lou, 2008)

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน โดยจะทำการศึกษาวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน ในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การกำจัดและการขนส่ง และผลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิตในครั้งนี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน
2. เพื่อหาแนวทางในการลดการปล่อยสารที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
3. เพื่อประเมินความคุ้มทุนของผลตอบแทนทางการเงิน

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน
2. ศึกษาความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน
3. ศึกษาการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทำให้เข้าใจถึงกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน
2. ทำให้ทราบถึงปริมาณของสารที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน
3. สามารถปรับปรุงระบบหรือกระบวนการของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีนเพื่อลดปริมาณการปล่อยของเสีย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์นี้ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีนในที่นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตแป้งขนมจีน การผลิตขนมจีน การเกิดก๊าซชีวภาพและวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งแสดงหลักการดังนี้

ข้อมูลบริษัท พ.ศ.ช.ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด

ที่อยู่: 129 ม.7 ต.ไพร อ.ขุนหาญ จ.ศรีษะเกษ

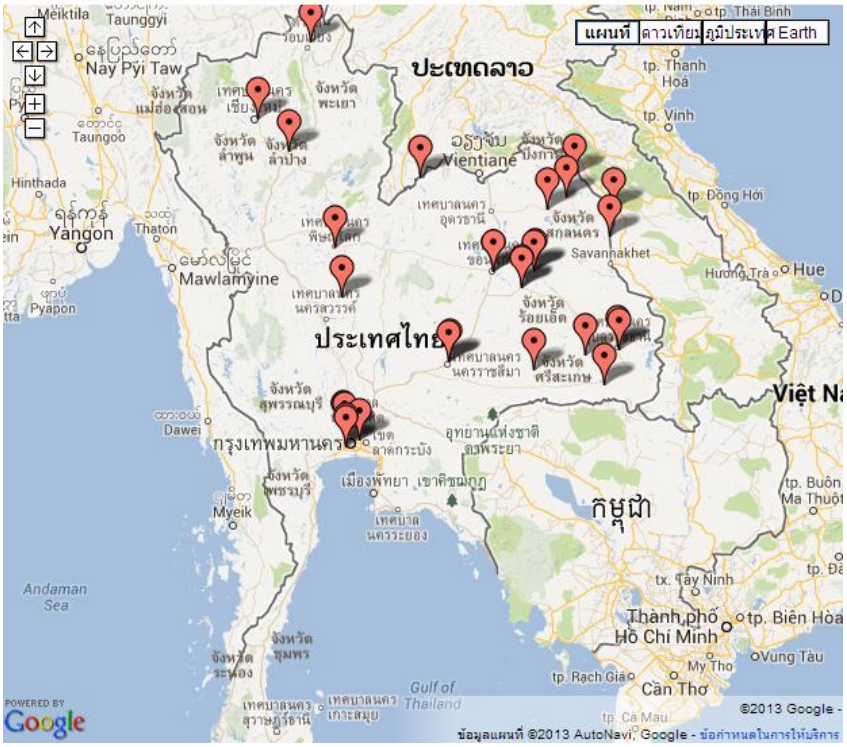
กำลังการผลิต: 100 ตันแป้ง/วัน

ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ: anaerobic baffled reactor (ABR)

การใช้ก๊าซชีวภาพ: การผลิตไฟฟ้า 1,904,049 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ ปี

บริษัท พ.ศ.ช. ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด เป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง ผลิตแป้งหมักขนมจีน โดยมีสาขาแฟรนไชด์ในการผลิตเส้นขนมจีนกว่า 30 สาขาทั่วประเทศ ซึ่งแต่ละสาขาต้องรับแป้งหมักขนมจีนจากบริษัท พ.ศ.ช. ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด จึงทำให้บริษัทมีกำลังการผลิตมากในแต่ละวัน

โดยการบวนการผลิตแป้งขนมจีนเป็นกระบวนการที่มีการใช้น้ำมากตั้งแต่กระบวนการล้างข้าว หมักข้าว โม่ข้าว และการอัดแป้ง โดยพบว่าโรงงานที่จังหวัดฉะเชิงเทราสามมารถผลิตขนมจีนได้วันละประมาณ 56,400 กิโลกรัม มีน้ำเสียเกิดจากกระบวนการผลิตประมาณวันละ 700-1,000 ลูกบาศก์เมตร มีค่าบีโอดีเฉลี่ย 2,850 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานผลิตขนมจีนในเขตเทศบาลนครขอนแก่น ซึ่งมีอัตราการผลิตขนมจีนวันละ 200-300 กิโลกรัม/ โรงงาน พบว่ามีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต 3-5 ลูกบาศก์เมตร/ วัน ซึ่งเกิดจากน้ำแช่ข้าวประมาณ 1.5-2 ลูกบาศก์เมตร น้ำล้างโม่ประมาณ 0.5-1 ลูกบาศก์เมตร ส่วนน้ำอีกประมาณ 1-2 ลูกบาศก์เมตร มาจากการล้างและการจับเส้น (วรรยา พุทธิรัตน์, 2551) น้ำจากการผลิตมีคาความสกปรกเนื่องจากมีสารอินทรีย์จำพวกแป้งค่อนข้างสูง



ภาพที่ 2-1 แผนที่ตั้งสาขาแฟรนไชด์

การเลือกใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในกลุ่มอุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร เพราะน้ำเสียจากโรงงานเหล่านี้มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้ ดังตารางที่ 2-1 ซึ่งคุณลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 2-2

จากการผลิตที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดน้ำเสีย ซึ่งก่อนหน้านี้โรงผลิตขนมจีน พ.ศ.ช. มีปัญหาเรื่องน้ำเสียไหลเข้าไปในไร่นาของชาวบ้าน ทำให้ไร่นาเสียหายกว่า 300 ไร่ อีกทั้งอาจจะมีปัญหาต่อระบบน้ำใต้ดินด้วย เพราะน้ำเสียอาจจะไปตกค้างอยู่ใต้ดิน เมื่อชาวบ้านนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค ทำให้มีผลต่อสุขภาพของชาวบ้าน จากนโยบายของทางบริษัทที่ว่าทำธุรกิจด้วยความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ทางบริษัทจึงได้ทำการแก้ไขโดยทำบ่อบำบัดน้ำเสียขึ้นมา และก่อสร้างโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าธรรมชาติ สำหรับกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ประมาณ 3 ล้านยูนิตต่อปี และจะขายกระแสไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อำเภอขุนหาญ พร้อมทั้งจะมีการจัดสรรเงินรายได้ 1 สตางค์ต่อยูนิต ให้กับชุมชน (หนังสือพิมพ์บ้านเมือง วันพุธที่ 23 กุมภาพันธ์ 2554)

ตารางที่ 2-1 ค่า BOD ของแต่ละประเภทอุตสาหกรรม (นิภาภัทร์ น้อยเทียม, 2550)

ประเภทอุตสาหกรรม	BOD (mg/l)
โรงงานสุรา	30,000-50,000
โรงงานน้ำมันปาล์ม	10,000-47,000
โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ	8,000-10,000
โรงงานผลิตวุ้นเส้น	20,000
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง	1,500-15,000
โรงงานผลิตซอสและซีอิ้ว	3,000-8,000
โรงงานผลิตแลคโตส	50,000
โรงงานผลิตกระทิกระป๋อง	4,000-8,000

ตารางที่ 2-2 คุณลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง (นิภาภัทร์ น้อยเทียม, 2550)

ตัวแปร	ปริมาณ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	4.00-6.50
ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (5 วัน), BOD_5 (,g/l)	4,110-27,220
ค่าความแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด TDS (mg/l)	945-20,886
ค่าของแข็งแขวนลอย, SS (mg/l)	126-4,486

ขนมจีน

ขนมจีนเป็นอาหารพื้นบ้านที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว สีขาวมีความเหนียวนุ่ม ใช้รับประทานร่วมกับน้ำยาชนิดต่าง ๆ ขนมจีนแปรรูปมาจากปลายข้าวที่เป็นข้าวเก่า และมีค่าอมิโลสค่อนข้างสูง (ร้อยละ 27-33) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ เพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมีหรือสารอาหารหลักที่มีในข้าว รวมถึงวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารและโภชนาการด้วย

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าว

ตารางที่ 2-3 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากขัดสีที่ความชื้น 14%

ส่วนของข้าว	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	เส้นใยอาหาร	พลังงาน	
	(ก.)	(ก.)	(ก.)	(ก.)	(ก.)	(ก.)	(กิโลจูล)	(กิโลแคลอรี)
ข้าวเปลือก	5.8-7.7	1.5-.23	7.2-10.4	2.9-5.2	64-73	16.4-19.2	1,580	378
ข้าวกล้อง	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	1.0-1.5	73-87	2.9-3.9	1,520-1,610	363-385
ข้าวสาร	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	77-89	0.7-2.3	1,460-1,560	349-373
รำข้าว	11.3-14.9	15.0-19.7	7.0-11.4	6.6-9.9	34-62	24-29	670-1,990	399-476
แกลบ	2.0-2.8	0.3-0.8	34.5-45.9	13.2-21.0	22-34	66-74	1,110-1,390	265-332

1. การผลิตแป้งขนมจีน

กระบวนการผลิตแป้งขนมจีนมีกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก โดยมีกรรมวิธีและแสดงกระบวนการดังภาพที่ 2-2 ดังนี้

1.1 การล้างทำความสะอาดปลายข้าว

ปลายข้าวที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นข้าวเก่าที่มีอายุการเก็บอย่างน้อย 4 เดือนและมีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง ในขั้นตอนนี้จะทำการล้างสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมากับปลายข้าวออก ทำการหมักแช่ข้าวให้เปื่อย โดยทั่วไปจะทำการแช่ข้าวทิ้งไว้ประมาณ 3-5 วัน และมีการล้างทำความสะอาดทุกวัน

1.2 การใช้เครื่องสูบน้ำสูบปลายข้าวเข้าสู่เครื่องโม่

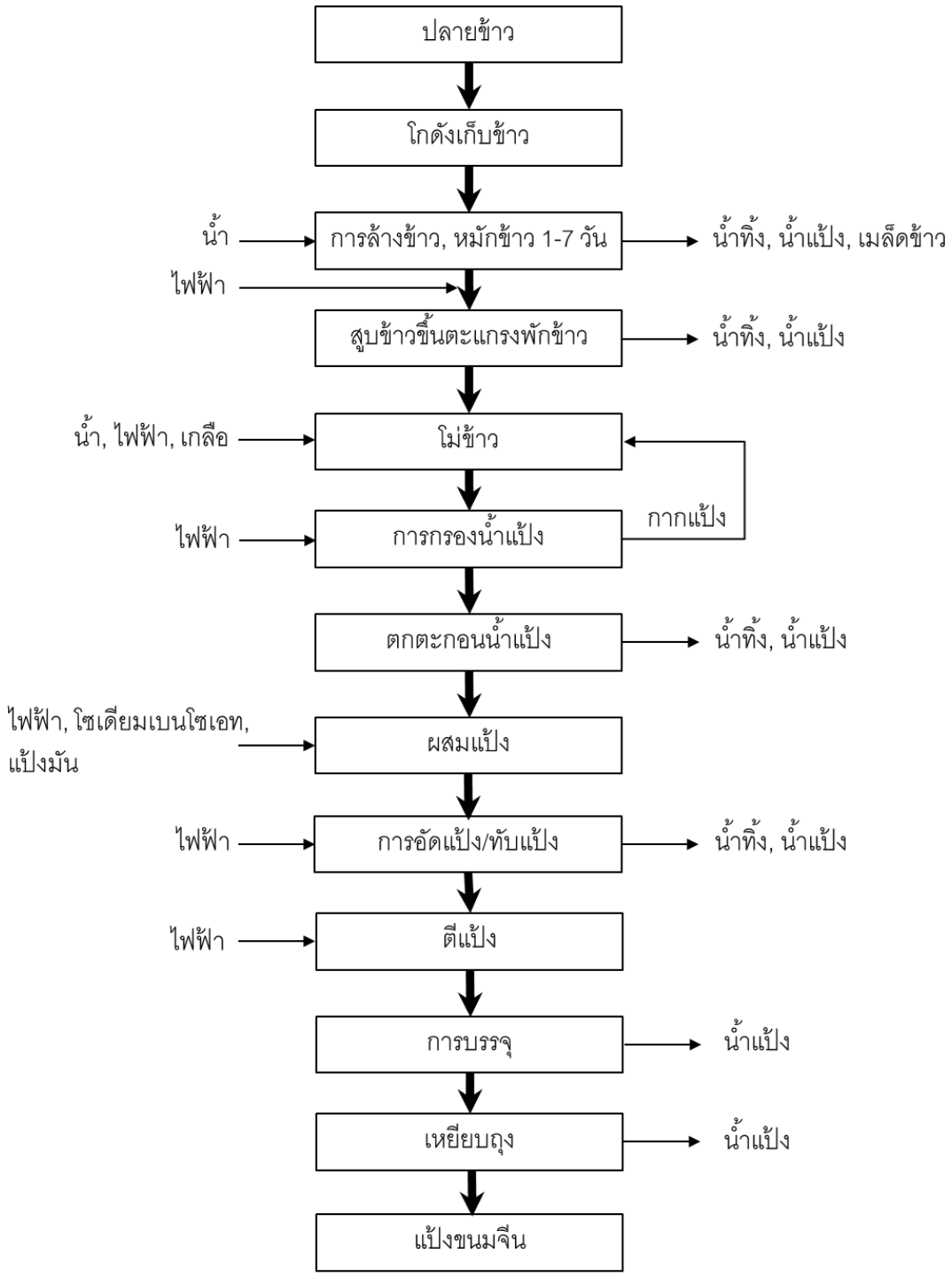
ในขั้นตอนนี้เครื่องสูบน้ำจะสูบข้าวที่ล้างแล้วไปพักไว้บนตะแกรงไม้เพื่อแยกระหว่างข้าวกับน้ำออกจากกันก่อนที่จะนำข้าวที่ได้เข้าสู่เครื่องโม่

1.3 การโม่ปลายข้าว

เครื่องโม่เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในกระบวนการผลิต โดยเครื่องโม่มี 2 แบบ คือ เครื่องโม่หินและเครื่องโม่ใบมีด ซึ่งเครื่องโม่หินจะสามารถโม่ปลายข้าวและกากแป้งได้ดีกว่าเครื่องโม่ใบมีด แต่จะมีการบำรุงรักษาที่ยุ่งยากกว่า

1.4 การร่อนน้ำแป้ง

เครื่องร่อนน้ำแป้งทำหน้าที่แยกกากแป้งและน้ำแป้งออกจากกัน โดยเก็บกากแป้งไว้เพื่อนำไปเข้าเครื่องโม่แป้งใหม่อีกครั้ง ส่วนน้ำแป้งจะไหลลงสู่ถังหรือบ่อพักน้ำแป้ง



ภาพที่ 2-2 กระบวนการผลิตแป้งขนมจีน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

2. การผลิตเส้นขนมจีน

เมื่อได้แป้งขนมจีนแล้วในขั้นตอนต่อไป คือ การผลิตเส้นขนมจีนซึ่งแสดงกระบวนการดังภาพที่ 2-3 ดังนี้

2.1 การต้ม/ นึ่งแป้ง

เตรียมน้ำให้เดือดแล้วใส่แป้งขนมจีน ลงไปในหม้อต้มหรือหม้อนึ่ง ปิดฝาให้สนิท (100 องศาเซลเซียส) จะใช้เวลาในการต้มเท่ากัน แต่ถ้าอุณหภูมิไม่คงที่ก็จะทำให้เวลาในการต้มแตกต่างกัน จะต้องต้มให้แป้งสุกจากผิวนอกลึกเข้าไปข้างในประมาณ ครึ่งนิ้ว (1-1.5 เซนติเมตร) เมื่อนึ่งสุกแล้วนำก้อนแป้งออกมาพักไว้ เตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการนวดแป้ง

2.2 การนวด

การนวดแป้ง เป็นการผสมแป้งดิบและแป้งสุกที่ผ่านขั้นตอนการทำให้สุกเป็นบางส่วนเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ยังทำให้เม็ดแป้งแตกมีความเหนียวเพิ่มขึ้นการนวดแป้งอาจนวดด้วยมือหรือนวดด้วยเครื่องนวดแป้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิต (การนวดแป้งจะต้องทำให้แป้งมีความชื้นประมาณ 70-75%) โดยสังเกตได้จากแป้งเป็นเนื้อเดียวกัน เม็ดแป้งแตกละเอียด (ไม่มีตาแป้ง) ปั้นเป็นก้อนและงอได้โดย ไม่หัก การนวดน้ำ ทำต่อจากการนวดแป้ง โดยค่อย ๆ เติมน้ำลงไป น้ำที่ใช้เติมต้องเป็นน้ำอุ่น (ไม่ควรใช้น้ำร้อนเติมเพราะจะทำให้แป้งอมน้ำมากเกินไปเวลาทำเส้นออกมาเมื่อเส้นขนมจีนเย็นตัวลงจะทำให้เส้นปล่อยน้ำออกมาเส้นจะแฉะ เป็นเมือกและขาดง่าย) ในขั้นตอนนี้ให้สังเกตความเหนียวของแป้ง (ใช้มือแตะจะติดมือเป็นเส้นขึ้นมา) ใช้น้ำอุ่นในการนวดแป้งโดยเติมน้ำครั้งละครึ่งลิตร นวดแป้งให้เข้ากัน แล้วเติมน้ำ ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบ เมื่อสังเกตเห็นน้ำและแป้งเข้ากันดีแล้ว ก็เอาแป้งออกจากเครื่องนวดเพื่อเตรียมกรองแป้งต่อไป

2.3 การกรองแป้ง

เนื่องจากการนวดแป้งไม่สามารถทำให้แป้งแตกออกจากกันได้หมด โดยบางส่วนยังเป็นเม็ดเล็ก ๆ ปะปนอยู่ หรือมีสิ่งเจือปนในแป้ง เช่น เชื้อจุลินทรีย์ที่จับกันเป็นแผ่น จึงต้องกรองแป้งด้วยผ้าขาวบางหรืออุปกรณ์ชนิดอื่นที่มีรูเล็ก ๆ สามารถกรองสิ่งเจือปนออกได้ ทำให้แป้งที่ผ่านการกรองมีความละเอียดสม่ำเสมอ ซึ่งทำให้การโรยเส้นทำได้สะดวก เส้นขนมจีนที่ได้มีความเรียบอย่างสม่ำเสมอ

2.4 การโรยเส้นขนมจีน

การโรยเส้นขนมจีนทำได้ทั้งการใช้มือโรย และใช้เครื่องโรยเส้น ในกรณีการใช้มือโรยเส้นต้องนวดแป้ง อย่าให้เหนียวมากนัก ถ้าเหนียวมากการบีบเส้นจะบีบยาก (แต่ถ้านวดไม่เหนียวเส้นจะขาดง่าย ซึ่งต้องระวังเป็นอย่างมาก) การเตรียมเครื่องโรยเส้น ควรทำความสะอาด

เครื่องโรยเส้นทุกครั้งหลังเลิกใช้งานและก่อนการใช้งาน โดยเฉพาะแว่นหรือเฟื่อน เพราะถ้ามีอะไรอุดตันรูแว่นหรือเฟื่อนจะทำให้การโรยเส้นไม่ออกหรือเส้นขาดได้ และเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตและเป็นที่อยู่อาศัยของเชื้อจุลินทรีย์ การเตรียมน้ำร้อนภาชนะที่ใช้ต้มน้ำร้อนต้องมีขนาดใหญ่มากพอ มิฉะนั้นน้ำร้อนที่ใช้จะลดอุณหภูมิเร็วเกินไปทำให้เส้นไม่สุกหรือไม่เหนียว น้ำที่ใช้ต้องสะอาด ในขณะต้มต้องรักษาอุณหภูมิให้คงที่ประมาณ 90-95^{0}C ระยะห่างระหว่างผิวน้ำเดือดกับเฟื่อนจะใช้ประมาณ 5-7 เซนติเมตร เมื่อโรยเส้นลงไปแล้ว เส้นจะจมน้ำรอจนกว่าเส้นจะลอยขึ้นมา ในช่วงนี้ปล่อยให้น้ำเดือดได้ เมื่อเส้นลอยขึ้นมาบนผิวน้ำ และสังเกตเห็นว่าเส้นสุกก็ตักเส้นออกได้

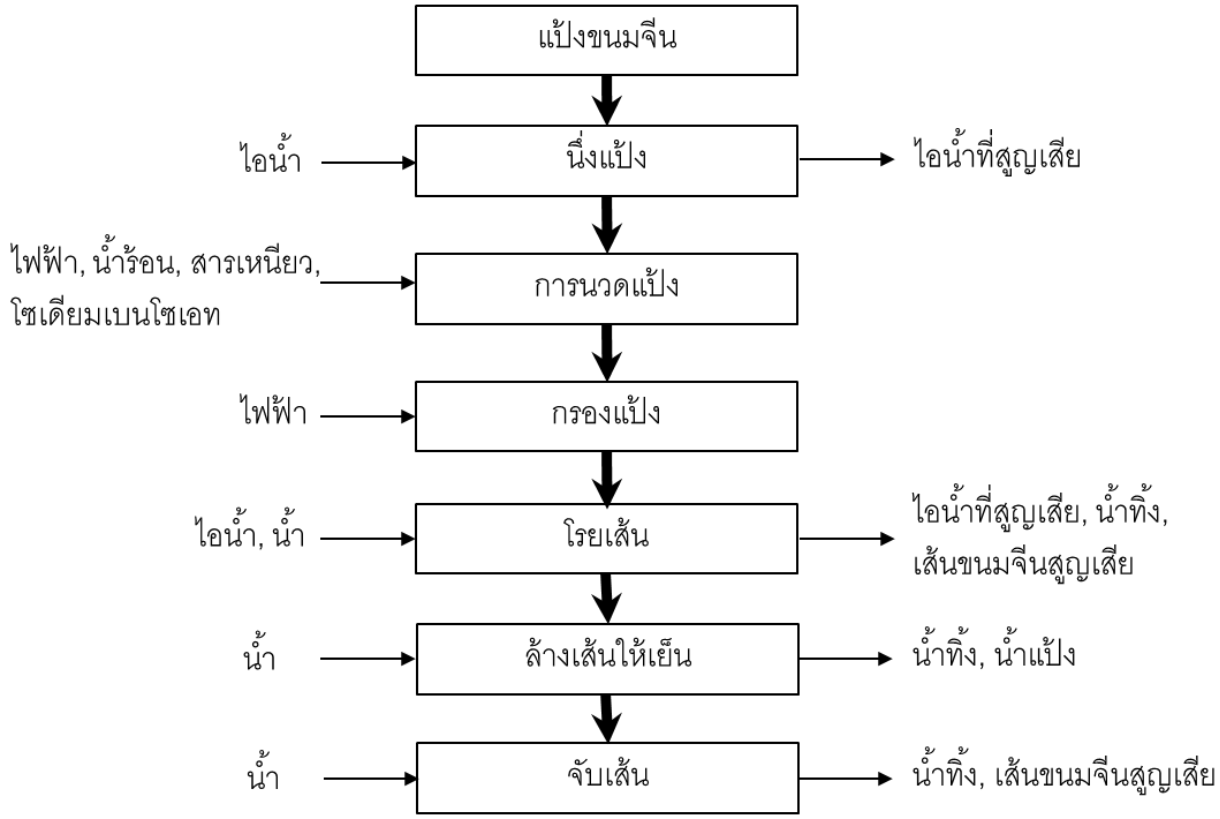
2.5 การล้างเส้นขนมจีน

เมื่อเส้นสุกให้ล้างน้ำเย็นทันทีเพื่อให้เส้นคงตัว ไม่อมน้ำมากเกินไป (ถ้าเส้นอมน้ำมากเกินไปจะทำให้เส้นเปื่อยและขาดง่าย) การล้างน้ำทำได้โดย เมื่อตักเส้นออกจากหม้อต้มให้เทน้ำเย็นล้างประมาณ 2 ลิตร หลังจากนั้นนำไปแช่ในน้ำเย็นใช้มือหรืออุปกรณ์อื่น ๆ พลิกกลับเส้นเพื่อให้เส้นเย็นเร็วขึ้น ล้างจนเส้นเย็นแล้ว นำไปแช่น้ำเพื่อจับเส้นต่อไป

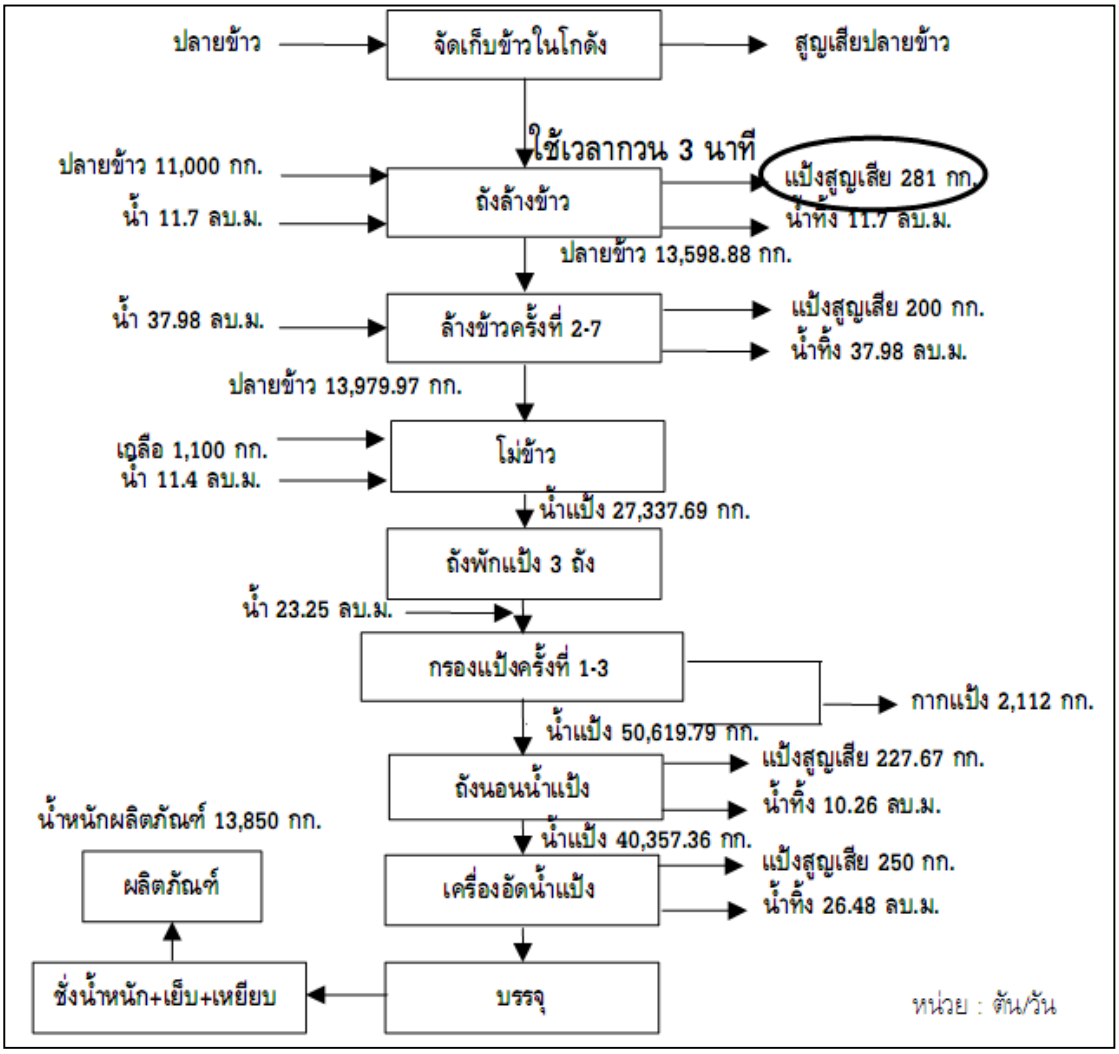
2.6 การจับเส้นขนมจีน

จับเส้นขนมจีนที่ยังแช่อยู่ในน้ำ วิธีจับเส้นขนมจีนทำโดยใช้มือข้างที่ถนัดหยิบเส้นขนมจีนขึ้นมาแล้วพันเส้นขนมจีนที่นิ้วชี้หรือนิ้วหัวแม่มือให้เส้นขนมจีนห้อยลงมาตามขนาดของจับที่ต้องการวางขนมจีนลักษณะคว่ำมือลงในกระจาดหรือเข่งที่บุด้วยใบตองหรือผ้าขาวบางหรือแผ่นพลาสติกทิ้งไว้สักครู่ก่อนบริโภคเพื่อให้เส้นขนมจีนสะเด็ดน้ำมีการเกาะตัวกัน

จากกระบวนการผลิตแป้งขนมจีนและกระบวนการผลิตขนมจีนนั้น จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 กระบวนการมีการปล่อยน้ำทิ้งและน้ำแป้งที่สูญเสียออกมาเป็นจำนวนมาก ดังภาพที่ 2-3 และภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-3 กระบวนการผลิตเส้นขนมจีน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552)



ภาพที่ 2-4 แผนผังกระบวนการผลิตและสารเข้า-ออก ในแต่ละกระบวนการ
(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552)

จากภาพที่ 2-4 แสดงสารเข้า-ออก ในแต่ละกระบวนการ จะเห็นว่ามีปริมาตรน้ำเข้าในกระบวนการทั้งหมด 84.33 ลูกบาศก์ และมีปริมาตรน้ำออก (น้ำทิ้ง) ทั้งหมด 86.24 ลูกบาศก์ น้ำส่วนใหญ่ที่ใช้จะเกิดขึ้นในกระบวนการล้างข้าว ซึ่งน้ำทิ้งนี้เองที่ก่อให้เกิดปัญหาทางสภาพแวดล้อม จึงได้มีการนำน้ำทิ้งเหล่านี้ไปทำการบำบัดทางชีวภาพเพื่อลดปัญหาทางสภาพแวดล้อม คือ การผลิตก๊าซชีวภาพนั่นเอง

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพเป็นการใช้สิ่งมีชีวิตมากำจัดสารหรือลดอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียลงให้ได้มากที่สุด โดยอาศัยหลักการใช้จุลินทรีย์มาย่อยสลายแปรเปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ต่าง ๆ ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ในระบบเติมอากาศ) หรือเป็นก๊าซมีเทน (ในระบบไม่เติมอากาศ)

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพที่ใช้กันอยู่ทั่วไป สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ตามลักษณะความเป็นอยู่ของจุลินทรีย์ คือ 1) ชนิดที่จุลินทรีย์อยู่ในลักษณะแขวนลอย (Suspended growth) จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำเสีย ระบบเลี้ยงตะกอน (Activated sludge) แบบต่าง ๆ บ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) บ่อปรับเสถียร (Stabilization pond) บ่อเกรอะ (Septic Tank) 2) ชนิดที่จุลินทรีย์เกาะติดกับตัวกลาง (Fixed film or Attacted growth) ซึ่งแบ่งเป็นประเภทย่อยได้ 2 ประเภท คือ ให้ตัวกลาง (Media) อยู่กับที่ โดยมีจุลินทรีย์ เกาะอยู่กับผิวตัวกลาง เมื่อน้ำเสียไหลผ่านผิวตัวกลางไป จุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลางจะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้น เช่น ระบบโปรยกรอง (Trickling filter) ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) และประเภทที่ให้ตัวกลางเคลื่อนที่ เช่น ระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contractor, RBC) 3) ชนิดที่จุลินทรีย์อยู่ในลักษณะแขวนลอยและเกาะติดกับที่ คือ ให้จุลินทรีย์อยู่ในทั้งสองลักษณะ เช่น ระบบถังเกรอะ-ถังกรองไร้อากาศ (Septic anaerabic filter)

การบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีชีวภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ ตามประเภทของจุลินทรีย์ คือ กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศและกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

1. กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic process)

วิธีการบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีทางชีวภาพซึ่งต้องมีการเติมออกซิเจน ลงไปในน้ำเสีย เพื่อให้จุลินทรีย์ได้ใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาชีวเคมี เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จนได้ผลผลิตสุดท้าย คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ เซลล์ของจุลินทรีย์ และแอมโมเนีย (ถ้าในสารอินทรีย์นั้นมีไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบด้วย) ดังสมการ

$$\text{Carbohydrate} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{New cell} \qquad (2\text{-}1)$$

$$\text{Protein} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + NH_3 + \text{New cell} \qquad (2\text{-}2)$$

การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้อากาศ

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{ออกซิเจน} \longrightarrow \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{น้ำ} \qquad (2\text{-}3)$$

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายแบบ ได้แก่ 1) ระบบเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge, AS) ซึ่งมีชื่อเรียกย่อยได้หลายแบบตามลักษณะของการเติมอากาศ เช่น Completely mixed, Conventional step aeration, Extended aeration, Oxidation Ditch เป็นต้น 2) บ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) 3) บ่อปรับเสถียร (Stabilization pond) 4) จานหมุนชีวภาพ (Rotating biological contractors)

ตารางที่ 2-4 ข้อดี-ข้อเสียของระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ (BOD) สูง 2. น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีสภาพไม่น่ารังเกียจ 3. สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ดีกว่าระบบไม่ใช้อากาศ 4. หน่วยบำบัดมีขนาดเล็กกว่าระบบไม่ใช้อากาศ	1. ราคาแพงเมื่อเทียบกับระบบไม่ใช้อากาศ 2. ต้องการการควบคุมดูแลรักษาระบบมากกว่าระบบไม่ใช้อากาศ 3. ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานไฟฟ้า 4. ต้องใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์มาก 5. อาจมีเสียงและกลิ่นรบกวน

2. กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic process)

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่ไม่ต้องเติมออกซิเจน ลงไปในน้ำเสียหรืออาจเรียกกระบวนการนี้ว่าระบบไร้อากาศ หรือถังหมัก สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน จนได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน

การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{น้ำ} \longrightarrow \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{มีเทน} \qquad (2\text{-}4)$$

ตารางที่ 2-5 ข้อดี-ข้อเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีตะกอนที่ต้องนำไปบำบัดและกำจัดน้อย	1. ต้องควบคุม pH ในระบบให้ดี
2. พวกตะกอนที่ต้องนำไปจัดการสามารถนำไปรีดน้ำออกได้ง่าย	2. ใช้เวลาเริ่มเดินระบบ (Start up) ค่อนข้างมาก
3. ไม่ต้องการธาตุอาหารมากนัก	3. คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดสวนมากจะไม่ได้มาตรฐาน (BOD $\leq$ 20 มก./ล)
4. ได้ผลพลอยได้เป็นก๊าซมีเทน ที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานได้	4. น้ำเสียที่ผ่านระบบไร้อากาศควรมีระบบบำบัดสุดท้ายด้วยระบบอื่น อาจเป็นระบบใช้อากาศ เช่น บ่อปรับเสถียร
5. สามารถรับสารอินทรีย์ได้มาก	
6. ไม่ต้องใช้พลังงาน	

ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (อังกฤษ: Biogas หรือ Digester gas) หรือไบโอก๊าซ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (Anaerobic digestion) โดยทั่วไป หมายถึง ก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของสารอินทรีย์ โดยกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในหลุมขยะ กองมูลสัตว์ และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่ง

องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-40% ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N) และไอน้ำ

ก๊าซชีวภาพมีชื่ออื่นอีก คือ ก๊าซหนองน้ำ และมาร์ชก๊าซ (Marsh gas) ขึ้นกับแหล่งที่เกิด กระบวนการนี้เป็นที่นิยมในการเปลี่ยนของเสียประเภทอินทรีย์ทั้งหลายไปเป็นกระแสไฟฟ้า นอกจากกำจัดขยะได้แล้วยังทำลายเชื้อโรคได้ด้วยการใช้ก๊าซชีวภาพ

1. ความเป็นมาของการผลิตก๊าซชีวภาพ

นักวิทยาศาสตร์ค้นพบก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายผุพังของสารอินทรีย์ครั้งแรกในศตวรรษที่ 17 โดย Robert Boyle และ Stephen Hale โดยทั้งสองได้พูดถึงการกวนตะกอนในลำธารและทะเลสาบ ซึ่งทำให้มีก๊าซที่สามารถติดไฟได้ลอยขึ้นมา ในปี 1859 Sir Humphrey Davy ได้กล่าวไว้ว่า ในก๊าซที่เกิดจากขี้วัวนั้นมีก๊าซมีเทนอยู่ด้วย ในอินเดียในปี 1859 ได้มีการสร้างถังหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic digester) ขึ้นเป็นครั้งแรก และต่อมาในปี 1985 ในอังกฤษได้มีการคิดค้นนวัตกรรมใหม่ขึ้นมา โดยใช้ถังสิ่งปฏิกูลผลิตแก๊สแล้วนำแก๊สไปจุดไฟส่องสว่างตาม

ถนน พอถึงปี 1907 ก็ได้มีการออกสิทธิบัตรสำหรับถังหมักแก๊สชีวภาพในเยอรมนี ในช่วงทศวรรษที่ 1930 การหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศก็เริ่มเป็นที่รู้จักในแวดวงนักวิชาการกันมากขึ้น ได้มีการวิจัยค้นคว้าและพบจุลินทรีย์ที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาและมีการศึกษาถึงสภาวะแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้

2. ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

2.1 ด้านพลังงาน

เมื่อพิจารณาถึงด้านเศรษฐกิจแล้ว การลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจะลงทุนต่ำกว่าการผลิตเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม และไฟฟ้า ก๊าซชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้ได้ ดังนี้

2.1.1 ให้ค่าความร้อน 3,000-5,000 กิโลแคลอรี่ ความร้อนนี้จะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เดือดได้

2.1.2 ใช้กับตะเกียงก๊าซขนาด 60-100 วัตต์ ลุกไหม้ได้ 5-6 ชั่วโมง

2.1.3 ผลิตกระแสไฟฟ้า 1.25 กิโลวัตต์

2.1.4 ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง

2.1.5 ถ้าใช้กับครอบครัวขนาด 4 คน สามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ

2.2 ด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม

โดยการนำมูลสัตว์ และน้ำล้างคอกมาหมักในบ่อก๊าซชีวภาพ จะเป็นการช่วยกำจัดมูลในบริเวณที่เลี้ยงทำให้กลิ่นเหม็นและแมลงวันในบริเวณนั้นลดลงและผลจากการหมักมูลสัตว์ ในบ่อก๊าซชีวภาพที่ปราศจากออกซิเจนเป็นเวลานาน ๆ ทำให้ไข่พยาธิและเชื้อโรคส่วนใหญ่ในมูลสัตว์ตายด้วย ซึ่งเป็นการทำลายแหล่งเพาะเชื้อโรคบางชนิด เช่น โรคบิด อหิวาต์ และพยาธิที่อาจแพร่กระจายจากมูลสัตว์ด้วยกัน นอกจากนี้แล้วยังเป็นการป้องกันไม่ให้มูลสัตว์ถูกชะล้างลงไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

2.3 ด้านการเกษตร

2.3.1 การทำเป็นปุ๋ย กากที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพเราสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสัตว์สด ๆ และปุ๋ยคอก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมัก จะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2.3.2 การทำเป็นอาหารสัตว์ โดยนำส่วนที่เหลือจากการหมัก นำไปตากแห้งแล้วนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ให้โคและสุกรกินได้ แต่ทั้งนี้มีข้อจำกัด คือ ควรใส่ อยู่ระหว่าง 5-10 กิโลกรัม ต่อส่วนผสมทั้งหมด 100 กิโลกรัม จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติและเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

3.1 อุณหภูมิ (Temperature) การย่อยสลายอินทรีย์และการผลิตก๊าซในสภาพปราศจากออกซิเจน สามารถเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมากตั้งแต่ 4-60 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของกลุ่มจุลินทรีย์

3.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเป็นกรด-ด่าง มีความสำคัญต่อการหมักมาก ช่วง pH ที่เหมาะสมอยู่ในระดับ 6.6-7.5 ถ้า pH ต่ำเกินไปจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน

3.3 อัลคาลินิตี้ (Alkalinity) ค่าอัลคาลินิตี้ หมายถึง ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง ค่าอัลคาลินิตี้ที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอร์เนต ($CaCO_3$)

3.4 สารอาหาร (Nutrients) สารอินทรีย์ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีรายงานการศึกษาพบว่า มีสารอาหารในสัดส่วน C : N และ C : P ในอัตรา 25 : 1 และ 20 : 1 ตามลำดับ

3.5 สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic materials) เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย สามารถทำให้ขบวนการ ย่อยสลาย ในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงักได้

3.6 สารอินทรีย์และลักษณะของสารอินทรีย์สำหรับขบวนการย่อยสลาย ซึ่งมีความแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.7 ชนิดและแบบของบ่อก๊าซชีวภาพ (Biogas plant) บ่อก๊าซชีวภาพ แบ่งตามลักษณะการทำงาน ลักษณะของของเสียที่เป็นวัตถุดิบ และประสิทธิภาพ การทำงานได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ดังนี้

3.7.1 บ่อหมักช้าหรือบ่อหมักของแข็ง บ่อหมักช้าที่มีการสร้างใช้ประโยชน์กันและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป มี 3 แบบหลัก คือ 1) แบบยอดโดม (Fixed dome digester) 2) แบบฝาครอบลอย (Floating drum digester) หรือแบบอินเดีย (Indian digester) 3) แบบพลาสติกคลุมราง (Plastic covered ditch) หรือแบบปลั๊กโฟลว์ (Plug flow digester)

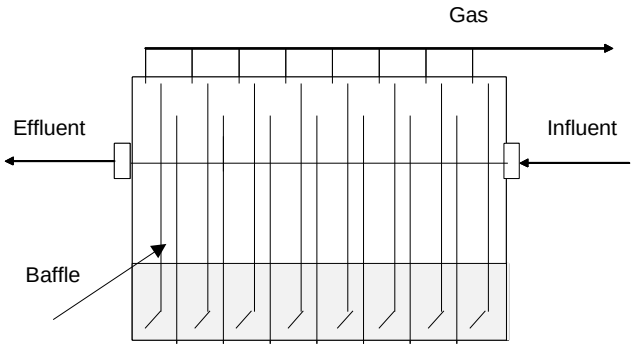
3.7.2 บ่อหมักเร็วหรือบ่อบำบัดน้ำเสีย แบ่งได้เป็น 2 แบบหลัก คือ

3.7.2.1 แบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic filter) หรืออาจเรียกตามชื่อย่อว่า แบบเอเอฟ (AF) ตัวกลางที่ทำได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น ก้อนหิน กรวด พลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ไม้ไผ่ตัดเป็นท่อน เป็นต้น ในลักษณะของบ่อหมักเร็วแบบนี้ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนบนตัวกลาง ที่ถูกตรึงอยู่กับที่ก๊าซถูกเก็บอยู่ภายในพลาสติกที่คลุมอยู่เหนือราง มักใช้ไม้แผ่นทับเพื่อป้องกันแสงแดดและเพิ่มความดันก๊าซ

3.7.2.2 แบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanket) บ่อหมักเร็วแบบนี้ ใช้ตะกอนของสารอินทรีย์ (Sludge) ที่เคลื่อนไหวภายในบ่อหมักเป็น ตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะ ลักษณะการทำงานของบ่อหมักเกิดขึ้น โดยการควบคุมความเร็วของน้ำเสียให้ไหลเข้าบ่อหมักจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ตะกอนส่วนที่เบาะจะลอยตัว ไปพร้อมกับน้ำเสียที่ไหลล้นออกนอกบ่อ ตะกอนส่วนที่หนักจะจมลงก้นบ่อ

4. ระบบ Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาล่าสุด ประกอบด้วยแผ่นกั้นในแนวตั้งที่จะบังคับให้น้ำเสียไหลขึ้นและลงไปตามทาง ตะกอนของแบคทีเรียจะลอยขึ้นและจมตัวลงเนื่องจากลักษณะการไหลและก๊าซที่เกิดขึ้น แต่จะเคลื่อนไปตามถังบำบัดจากทางเข้าไปทางออกของด้วยอัตราต่ำมาก ๆ จึงทำให้ถูกกักอยู่ในแต่ละห้องของถังบำบัดได้นาน ระบบจึงมีประสิทธิภาพสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)



ภาพที่ 2-5 ระบบ Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

ข้อดีของ ABR คือ

1. Simple design
2. คงทนต่อการเปลี่ยนแปลง Hydraulic และ Organic shock load
3. สามารถรับ Volumetric loading rate ได้สูง
4. ไม่จำเป็นต้องมี Sludge and Gas separation system
5. ลักษณะการไหลแบบ Over-Under flow ช่วยลด Sludge washoutสามารถลด HRT ได้น้อยเท่าที่ต้องการ โดยที่ SRT ยังสูงอยู่ Low sludge generation เนื่องจากมีลักษณะเป็นห้อง ๆ ทำให้ห้องต้น ๆ ประกอบด้วย Acidogens ในขณะที่ห้องหลัง ๆ จะมี Methanogens มาก จึงมีลักษณะเป็น

Two-Phase system ขีดจำกัดของ Anaerobic digestion ต้องมีการควบคุมดูแลอย่างต่อเนื่อง ทั้งช่วงเริ่มต้นระบบและช่วงระยะต่อเนื่อง ผู้ควบคุมต้องมีความเข้าใจในระบบบำบัดอย่างดีต้องมีการทำความสะอาดถังบำบัดเป็นครั้งคราวบางครั้งมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเจือจางน้ำเสีย (Dilution) ก่อนเข้าถังหมัก โดยเฉพาะกรณีที่น้ำเสียมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงมาก หรือในกรณีมูลสัตว์หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ดังนั้นอาจเป็นการเพิ่มปริมาตรของของเสีย และเพิ่ม Reactor volume สารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนสูง จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียม (แอมโมเนียหรือไนเตรต) ซึ่งอาจถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ สู่ดินหรือแหล่งน้ำเกี่ยวข้องกับก๊าซมีเทน ซึ่งมีคุณสมบัติติดไฟได้ ดังนั้นต้องมีการติดตั้ง Safety equipment

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) ของผลิตภัณฑ์กระบวนการผลิตหรือบริการ เป็นการศึกษาถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือของกระบวนการผลิต หรือของบริการนั้น ๆ องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization; ISO) ได้นิยามความหมาย ของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า “เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร” ข้อมูลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถนำมาใช้ศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือของกระบวนการผลิต หรือของการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (Eco design) เพื่อเตรียมความพร้อมในการรองรับมาตรการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมของกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรปและประเทศพัฒนาอื่น ๆ

1. ที่มาของการประเมินวัฏจักรชีวิต

สืบเนื่องจากวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970 ทำให้ประเทศต่าง ๆ เช่น สหราชอาณาจักร สวิตเซอร์แลนด์ สวีเดน และสหรัฐอเมริกา (Udo de Haes, & Heijungs, 2007) มีนโยบายการประหยัดพลังงาน ซึ่งส่งผลต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตจึงถูกพัฒนาขึ้นและขยาย รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบจากการแพร่มลพิษและของเสียที่เกิดขึ้น ต่อมาภาครัฐของประเทศต่าง ๆ ได้ให้ความสนใจในการศึกษานี้มากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบของผลิตภัณฑ์สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาที่ต่างประเภทกัน เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้นและการลดลงของทรัพยากร เป็นต้น

2. ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตตามมาตรฐาน ISO 14040 มีขั้นตอนหลัก ๆ 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope) ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function) หน่วยการทำงาน (Functional unit) ขอบเขตระบบ (System boundary) และระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) ขั้นตอนนี้มีอิทธิพลโดยตรงต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา จึงนับว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เพราะถ้าการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ครอบคลุมดีพอจะทำให้การประเมินสารที่เข้าและสารที่ออกจากระบบ หรือประโยชน์ที่จะได้รับจากการปรับปรุงระบบนั้นทำได้ยากและไม่ตรงประเด็น

2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory) เป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ขั้นตอนนี้รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้หรือการปล่อยของเสียออกสู่อากาศ น้ำ และดิน

2.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle impact assessment) เป็นการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสีย หรือสารขาเข้าและขาออกที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory, LCI) โดยการประเมินผลกระทบเกี่ยวข้องกับประเด็นหลัก ๆ คือ

2.3.1 การเลือกชนิดและประเภทของผลกระทบ (Selection of impact categories, category indicators and characterization models)

2.3.2 การจำแนกประเภท (Classification) ขั้นตอนนี้ทำโดยรวบรวมมลพิษที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่รวบรวมได้ จัดเป็นหมวดหมู่ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น มีเทน (CH_4) ถูกจัดอยู่ในผลกระทบประเภทการศักยภาพในการทำให้โลกร้อน ในบางสารสามารถเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบหรือถูกจัดว่าเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภท เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถเป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบทั้งสุขภาพมนุษย์และศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด

2.3.3 การกำหนดบทบาท (Characterization) เป็นขั้นตอนในการแสดงประเภทของผลกระทบให้อยู่ในเทอมของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ (Characterization factor)

ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและทำการรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบ ตามสมการ

$$EP_j = \sum(Q_i \times EF_{ij}) \quad (2\text{-}5)$$

EP_j (Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ (kg substance equivalent)

Q_i (Quantity of substance) คือ ปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} (Equivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent/kg substance j)

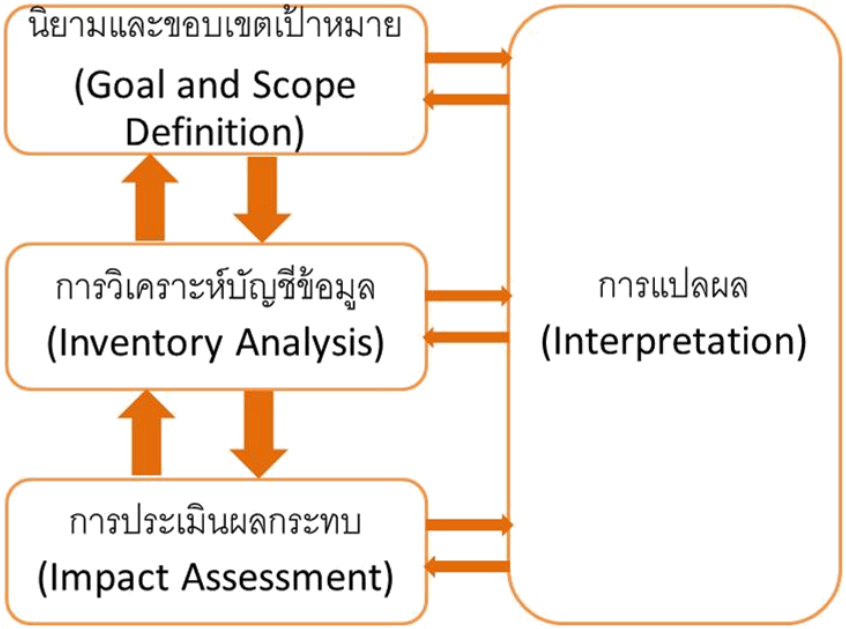
2.3.4 การให้น้ำหนักแต่ละประเภท (Weighting) เป็นขั้นตอนในการให้ความสำคัญของลักษณะของผลกระทบทั้ง 3 ประเภท คือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ การใช้ทรัพยากร และรวมค่าของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทให้ เป็นคะแนนเดี่ยว

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (2\text{-}6)$$

WP_j (Weighted environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (person for target year, Pt.)

WF_j (Weighting factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

2.4 การแปลผล (Interpretation) เป็นการนำผลการศึกษามาวิเคราะห์ เพื่อสรุปผล พิจารณาข้อจำกัด การให้ข้อเสนอแนะที่มาจากผลการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้มีความสอดคลองกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต



ภาพที่ 2-6 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต จากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

3. ประโยชน์และการประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นการช่วยลดต้นทุนในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนาผลิตภัณฑ์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปพร้อม ๆ กัน โดยส่งผลดีต่อธุรกิจ ชุมชน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแนวทางนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน ซึ่งประโยชน์ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีดังนี้

3.1 ภาคอุตสาหกรรม

3.1.1 ออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต และผลิตภัณฑ์

3.1.2 วางแผนกลยุทธ์ทำการตลาดเพื่อสิ่งแวดล้อม

3.1.3 ใช้ต่อรองกับผู้จัดหาวัตถุดิบ (Supplier) ให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

3.1.4 พัฒนากลยุทธ์ด้านนโยบายของผลิตภัณฑ์

3.1.5 พัฒนากลยุทธ์ด้านการตลาด กลยุทธ์ด้านธุรกิจ และแผนการลงทุน

3.2 ภาครัฐ

3.2.1 ใช้เป็นมาตรฐานในการจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3 (Eco labeling-Type III)

3.2.2 ใช้กำหนดมาตรฐานหรือการควบคุมด้วยกฎหมาย

3.2.3 พัฒนานโยบายทั่วไปของรัฐ

3.2.4 ใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดทำข้อกำหนดของฉลากสิ่งแวดล้อม

3.2.5 ใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อสนับสนุนเงินทุน หรือการจัดทำโครงสร้างภาษีอากร

3.3 หน่วยงาน NGOs/ เอกชน

3.3.1 จัดทำกระแสด้านสิ่งแวดล้อมและการค้า

3.3.2 เป็นแหล่งข้อมูลเพื่อเผยแพร่ต่อผู้บริโภค

3.3.3 เป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการประชุม/สัมมนาในเวทีสาธารณะ

3.3.4 ใช้ข้อมูลเพื่อกดดันภาคเอกชนและรัฐบาลในการพัฒนาสิ่งแวดล้อม

3.4 ผู้บริโภค

3.4.1 ใช้ข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้า

3.4.2 เกิดการสร้างจิตสำนึกต่อสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

กระบวนการความรู้ทางเศรษฐศาสตร์ไดถูกนำมาเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจซึ่งพิจารณาว่าระบบได้ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุดหรือมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดและมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด โดยการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์มีวิธีการต่าง ๆ ที่นิยมใช้ในการประเมิน ดังนี้ 1) วิธีประเมินโดยคิดระยะเวลาคืนทุน (Simple payback period) 2) วิธีประเมินโดยคิดอัตราผลตอบแทนการคืนทุน (Internal rate of return-IRR) 3) มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net present value-NPV)

1. วิธีประเมินโดยคิดระยะเวลาคืนทุน (Simple payback period)

การคิดระยะเวลาคืนทุนโดยหาว่าใช้ระยะเวลานานเท่าไร กำไรที่ได้รับจากโครงการจึงจะคุ้มกับรายจ่ายลงทุนเริ่มแรก (ค่าใช้จ่ายก่อนเปิดดำเนินการ) พอดี ซึ่งจะไม่มีการคิดภาษีและนำดอกเบี้ยมาร่วมวิเคราะห์ทำให้ง่ายแก่การคำนวณ โดยการคิดระยะเวลาคืนทุน (Simple payback period) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ระยะคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \qquad (2\text{-}7)$$

2. วิธีประเมินโดยคิดอัตราผลตอบแทนการคืนทุน (Internal rate of return)

ผลตอบแทนที่คิดเป็นร้อยละของโครงการหรือหมายถึง อัตราดอกเบี้ยในกระบวนการคิดลด ซึ่งอัตราดอกเบี้ยในการคิดลด ซึ่งอัตราดอกเบี้ยในการคิดลดจะเป็นอัตราดอกเบี้ยที่โครงการต้องการได้รับ ดังนั้นหากค่า IRR มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำ หรือค่าเสียโอกาสของทุนจากการไม่ลงทุนก็แสดงว่า โครงการมีความน่าลงทุน โดยการคำนวณ IRR สามารถคิดได้ดังนี้

$$IRR = \sum_{t=1}^{n} \frac{(Bt-Ct)}{(1+r)^t} = 0 \quad (2\text{-}8)$$

หรือ

$$IRR = \sum_{t=1}^{n} \frac{Bt}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^{n} \frac{Ct}{(1+r)^t} = 0 \quad (2\text{-}9)$$

กำหนดให้

Bt = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t

Ct = ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

r = อัตราดอกเบี้ยที่นำมาใช้คิดลด

t = ระยะเวลาของโครงการ คือ ปีที่ 1, 2, 3, ..., n

n = อายุของโครงการ

3. มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net present value-NPV)

เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงจำนวนผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับตลอดระยะเวลาของโครงการ คือ ผลต่างของมูลค่าปัจจุบันของเงินสดที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินสดที่จ่ายออกไปในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ

มูลค่าปัจจุบันคำนวณได้จากการใช้ค่าของทุนหรืออัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสมนำมาปรับลดค่าจากอนาคตให้เป็นปัจจุบัน ซึ่งค่าของทุนหรืออัตราดอกเบี้ยจะพบได้ในสูตรการคำนวณหา NPV ดังนี้

$$NPV = PVB - PVC \quad (2\text{-}10)$$

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{Bt}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^{n} \frac{Ct}{(1+r)^t} \quad (2\text{-}11)$$

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{(Bt-Ct)}{(1+r)^t} \quad (2\text{-}12)$$

กำหนดให้

Bt = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t

Ct = ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

r = อัตราดอกเบี้ยที่นำมาใช้คิดลด

t =ระยะเวลาของโครงการ คือ ปีที่ 1, 2, 3, ..., n

n = อายุของโครงการ

โดยหลักปฏิบัติในการวิเคราะห์โครงการทั่วไป การคำนวณมูลค่าปัจจุบันจะใช้การคำนวณจากข้อมูลในการประมาณการกระแสเงินสดคาดคะเน ซึ่งจะทำการหา NPV จากรายรับและรายจ่ายสุทธิของโครงการ โดยจะนำมาแทนค่าในสูตรตามที่กล่าวข้างต้น หากโครงการใด NPV มีค่ามากกว่าหรือมีค่าเป็นบวกแสดงว่าโครงการอยู่ในเกณฑ์ที่น่าลงทุน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Patterson, Esteves, Dinsdale and Guwy (2011) ได้ทำการวิจัยเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพทางเลือกพื้นฐานในระดับภูมิภาค เพื่อทำการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในการตัดสินใจ เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งของเสีย การดำเนินงานของโรงงานก๊าซมีเทนทางชีวภาพร่วมกับการใช้ความร้อนและพลังงาน การผลิตก๊าซชีวภาพจากแหล่งแยกขยะเศษอาหารของเทศบาลและการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ จากการศึกษาพบว่าการใช้ความร้อนและพลังงานมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเพียง 80% ต่อจากการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง

Jury, Benetto, Koster, Schmitt and Welfring (2010) มีจุดมุ่งหมายคือการประเมินเทคโนโลยีใหม่ของการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพโดย Monofermentation ของพืชที่ปลูก โดยใช้หลักการการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นพื้นฐานในการทำเพื่อเปรียบเทียบระหว่างก๊าซชีวภาพจากพืชกับก๊าซธรรมชาติ ผลการทดลองพบว่า ก๊าซชีวภาพจากพืชยากที่จะเปรียบเทียบกับก๊าซธรรมชาติในเรื่องของความเสียหายต่อสุขภาพของมนุษย์และคุณภาพของระบบนิเวศ ดังนั้นอาจมีการปรับปรุงระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ

Starr, Gabarrell, Billalba, and Talens (2012) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของก๊าซชีวภาพที่มีการปรับปรุงเทคโนโลยี โดยพบว่ากระบวนการ AWR มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สูงขึ้น 84% มากกว่ากระบวนการประเภทอื่น สำหรับขั้นตอนการ BABIU ได้ใช้พลังงานทดแทนในการปรับปรุงพบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีเพียง 55%

Alvarado-Morales (2012) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากสาหร่ายสายพันธุ์ *Laminaria digitata* เพื่อระบุปัญหาและปรับปรุงลักษณะปัญหาทางสิ่งแวดล้อมในวงจรชีวิตของก๊าซชีวภาพ พบว่ามีปริมาณคาร์บอนไดออกที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมถึง 450 kg CO_2-eq

จักรพงษ์ แย้มยิ้ม (2553) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินก๊าซเรือนกระจกในเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพด้วยกลไกการพัฒนาที่สะอาดและการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักเร็วน้ำข้น (H-UASB) ขนาด 2,000 ลูกบาศก์เมตร พบว่าการวิเคราะห์ด้วยการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตทำให้พบก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นทุกขั้นตอนในวงจรชีวิตของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีกลไกการพัฒนาที่สะอาดคิดเป็น 156.57 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือร้อยละ 42.47

ธนวัฒน์ อินทร์รุ่งเรือง (2553) ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงไบโอพิจารณาการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต 1,000 กิโลกรัม โดยใช้ข้อมูลจากโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิต Simapro 7.1 วิธีการประเมินผลกระทบใช้หลักการคำนวณของ EDIP พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอ 99.9808% และกลุ่มผลกระทบความเป็นกรดมาจาดกระบวนการผลิต 75.10% ส่วนกลุ่มผลกระทบที่เกิดขึ้นด้านความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบในผลิตไบโอ 99.9882%

ศศิรส คำเครือ (2547) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบบำบัดน้ำเสียของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ระบบ EPS (Environmental priority strategies) ได้รวบรวมข้อมูลและการคำนวณปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงานรวมถึงของเสียที่ปล่อยออกมาทางอากาศทางน้ำและทางดิน ผลการวิเคราะห์พบว่า กระบวนการที่ส่งผลทำให้ค่า ELU ของระบบบำบัดน้ำเสียโดยรวมสูง ได้แก่ กระบวนการนำโลหะทองกลับคืนมา กระบวนการบำบัดน้ำเสียรวม และปรับค่าความเป็นกรดด่าง

ธนิดา แซ่ตัน (2533) งานวิจัยนี้ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแบบผสมผสานมาใช้เป็นหลักการร่วมกันของการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) และการวิเคราะห์หลายเกณฑ์ โดยมีจุดเด่นคือ สามารถนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมหลายตัวมาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพบว่าระบบย่อยการผลิตเยื่อยูคาลิปตัสด้วยกระบวนการคราฟท์ก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเท่ากับ 1.10E-04 และเมื่อพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมพบว่า กิจกรรมที่มีส่วนก่อให้เกิดผลกระทบ คือ การเผาไหม้ชีวมวล

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์ เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวงจรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพบนพื้นฐานหลักการประเมินวงจรชีวิต (Life cycle assessment : LCA)

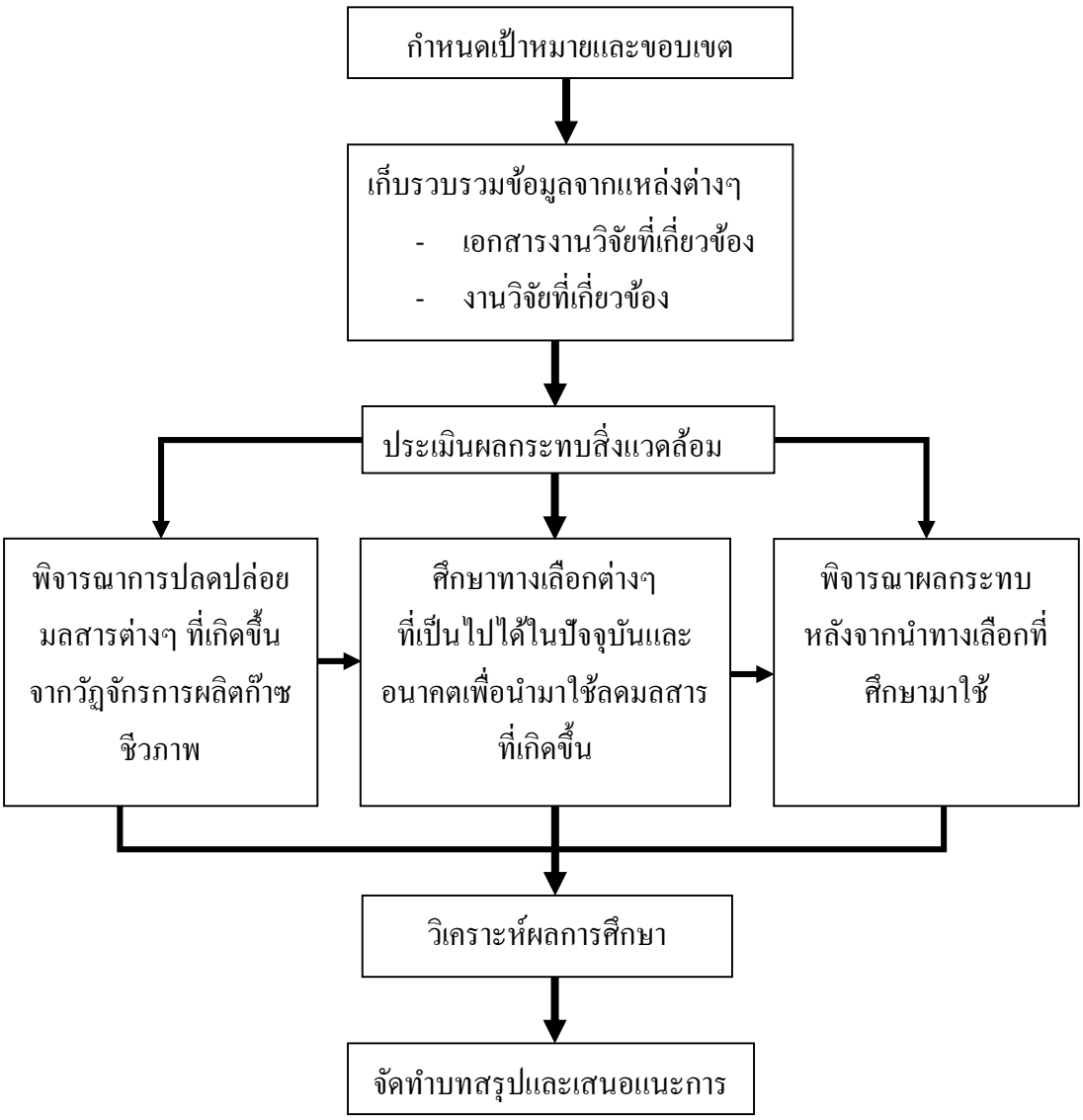
โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งปฐมภูมิและทุติยภูมิ จากหน่วยบำบัดน้ำเสียได้แก่ค่า COD, BOD, ปริมาณก๊าซชีวภาพ การผลิตไฟฟ้า รวมถึงศึกษาแหล่งความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่ โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานแป้งขนมจีนได้ยึดตามหลัก ISO 14040 ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope definition)
2. การทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory) โดยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ กำหนดในขอบเขตการศึกษาและนำมาจัดทำเป็นบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้า
3. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life cycle impact assessment) จากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่จัดทำ
4. การวิเคราะห์และประมวลผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Interpretation)

โดยแผนการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตและแนวทางการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ รวมถึงการประเมินการบำบัดน้ำเสียการเก็บรวบรวมข้อมูลและการจัดทำบัญชีรายการข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการที่ต้องศึกษาแล้วทำการวิเคราะห์และแปรผล

วิธีดำเนินการวิจัย

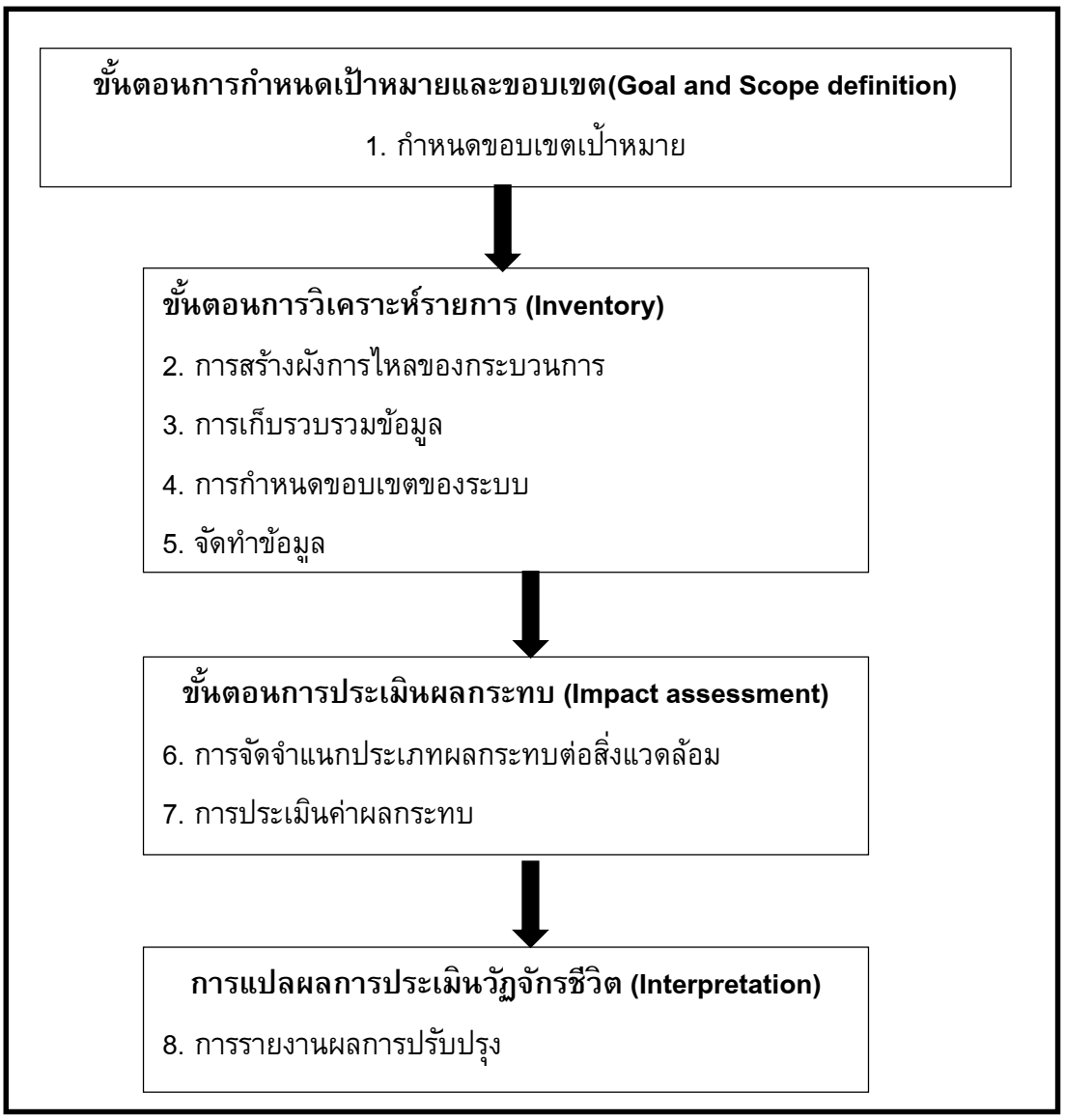
การศึกษานี้เป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ สามารถคำนวณได้โดยใช้เทคนิค การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตซึ่งการดำเนินการจะทำตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ISO 14040-14049 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาหาข้อมูลเบื้องต้น

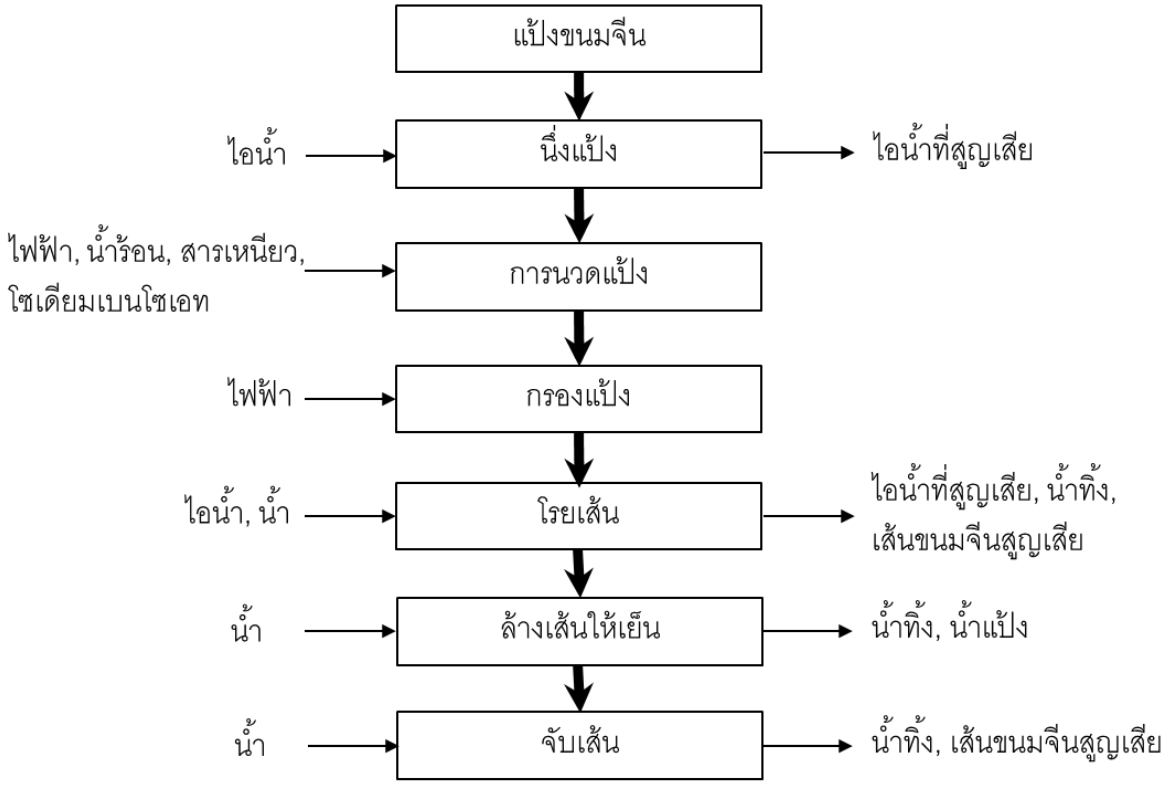
การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ต้องเริ่มจากการศึกษาข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่สนใจในเรื่องการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการการผลิตและการใช้งานรวมถึงการกำจัดซาก ในงานวิจัยนี้จะศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ ด้วยระบบ Anaerobic Baffled Reactor (ABR) ของบริษัท พ.ศ.ช. ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด และการนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะคลอบคลุมถึงระบบการกำจัดก๊าซและระบบผลิตไฟฟ้า โดยศึกษาจากเอกสาร การวิจัย บทความ และแหล่งข้อมูลต่าง ๆ



ภาพที่ 3-2 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040
(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

ข้อมูลเบื้องต้น บริษัท พ.ศ.ช. ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด
กำลังการผลิต: 100 ตันแป้ง/ ชั่วโมง
ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ: Anaerobic baffled reactor (ABR)
การใช้ก๊าซชีวภาพ: การผลิตไฟฟ้า 1,904,049 kWh/ปี

น้ำเสียที่นำมาผลิตก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตแป้งขนมจีน แสดงดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-3 กระบวนการผลิตเส้นขนมจีน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552)

2. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope definition)

2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตในการทำ LCA ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

เป้าหมายในการวิจัยนี้ คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม จากการประเมินวงจรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพและวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานแป้งขนมจีน

2.1.1 ขอบเขตการศึกษา

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาเป็นขั้นตอนแรกของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยในขั้นตอนนี้จะต้องระบุจุดประสงค์และเป้าหมายของการศึกษาในครั้งนี้อย่างชัดเจน เพื่อที่จะได้ขอบเขตของการเก็บข้อมูล โดยในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าของโรงงานผลิตแป้งขนมจีน กรณีนี้จะศึกษาและเก็บ

ข้อมูลเฉพาะในส่วนของการนำน้ำทิ้งมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพและการนำก๊าซชีวภาพนั้นไปใช้ในกระบวนการผลิต ไฟฟ้าซึ่งจะคลอบคลุมถึงกระบวนการปรับสภาพก๊าซให้เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าด้วย ขอบเขตการศึกษาแสดงดังภาพที่ 3-3 โดยกระบวนการเป็นดังนี้ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งขนมจีนได้ไหลผ่านท่อมายังบ่อพักน้ำจนเต็ม หลังจากนั้นจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพภายในบ่อหมักแบบไม่ใช้อากาศ 1 และ 2 แบบคู่ขนาน ทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะถูกดูดผ่านเครื่องดูดไปยังถังเก็บก๊าซ ส่วนน้ำจะถูกส่งต่อไปยังบ่อพักน้ำ เพื่อนำไปใช้รดน้ำต้นไม้ ก๊าซชีวภาพจะถูกส่งไปรวมกันที่ถังเก็บก๊าซ และในส่วนของก๊าซชีวภาพที่ได้จะถูกนำไปกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกก่อนด้วยวิธีการดักจับด้วยน้ำ (Water scrubbing) ซึ่งเป็นเทคนิคการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้น้ำในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพ โดยหลักการจะทำให้ความดันขาเข้าของก๊าซเพิ่มขึ้นในการอัดก๊าซ ดังนั้นการนำก๊าซเข้าด้านล่างของคอลัมน์แนวดิ่งก๊าซชีวภาพจะไหลเข้าในบริเวณด้านล่างของคอลัมน์และไหลขึ้นสู่ด้านบนคอลัมน์และมีการปล่อยน้ำเข้าบริเวณด้านบนคอลัมน์ไหลลงสู่ด้านล่างของคอลัมน์ในคอลัมน์น้ำกับก๊าซจะสัมผัสกันโดยตรงในการดักจับ บ่อยครั้งที่น้ำจะไหลไปรวมกันเป็นแอ่งอยู่บริเวณด้านล่างของคอลัมน์ทำให้ก๊าซที่ไหลเข้าสู่คอลัมน์ในตอนแรกเกิดเป็นฟองขึ้น คาร์บอนไดออกไซด์จะรวมตัวกับน้ำอย่างต่อเนื่องจนอิ่มตัวแล้วไหลลงสู่ด้านล่างของคอลัมน์และก๊าซที่เหลือจากการดักจับแล้วจะถูกปล่อยออกบริเวณด้านบนของคอลัมน์ก๊าซที่ปล่อยออกมาจากคอลัมน์จะมีมีเทนอยู่ประมาณร้อยละ 95 จากการวัดโดยการใช้คอลัมน์เดียว และน้ำที่ใช้ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เช่นการปล่อยให้สัมผัสกับอากาศโดยตรงที่ความดันบรรยากาศ หรือการนำกลับไปผ่านคอลัมน์อีกครั้งให้สัมผัสกับอากาศ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกปล่อยออกมาและปะปนไปกับอากาศทั่วไป ก๊าซชีวภาพที่ผ่านออกมาเรียกว่าก๊าซมีเทนได้เนื่องจากมีมีเทนเป็นองค์ประกอบมากในสัดส่วนที่มากกว่าร้อยละ 95 ก๊าซมีเทนที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการผลิตไฟฟ้าต่อไป

2.1.2 กำหนดหน่วยการทำงาน (Function unit)

กำหนดหน่วยการทำงาน (Function unit) ของงานวิจัยนี้คือการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยให้หน่วยของการหาค่าผลกระทบคำนวณเป็น NETs/ kWh ของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ เป็นการหาผลกระทบต่อหนึ่งหน่วยไฟฟ้าที่ผลิต ซึ่งจะทำให้ทราบว่า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ของไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตในปริมาณเท่าใด

2.1.3 กำหนดเกณฑ์ในการประเมินวงจรชีวิต

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่ใช้หลักการประเมินวงจรวัฏจักรชีวิตในประเทศไทย พบว่าประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญที่นำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ คือ

2.1.3.1 ภาวะโลกร้อน (Global warming potential (GWP))

2.1.3.2 การส่งผลต่อระบบนิเวศในน้ำ (Eutrophication potential (EP))

2.1.3.3 การทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโต้ออกซิเดชั่น (Photo-oxidant formation potential (POCP))

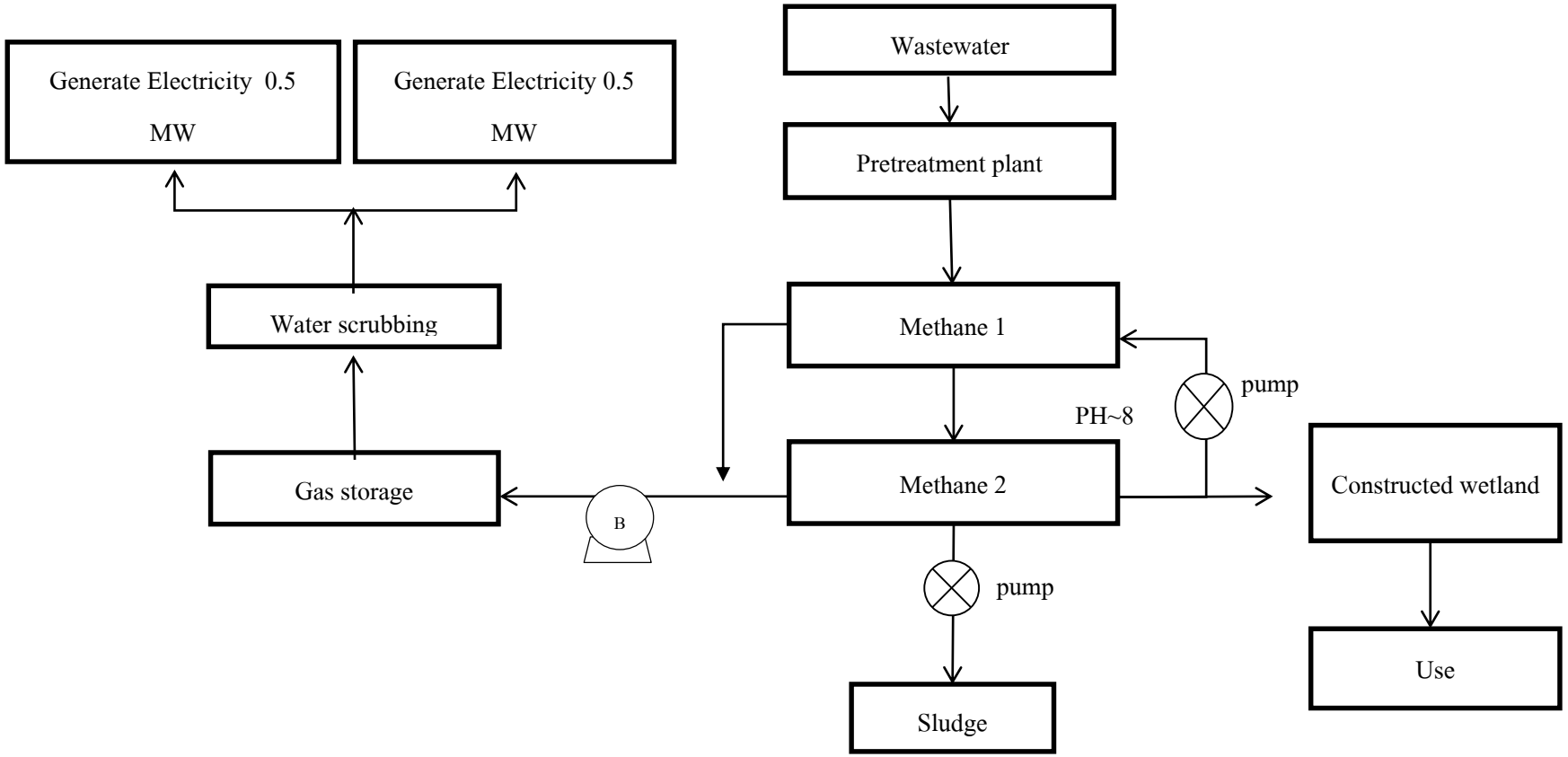
2.1.3.4 ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity potential (HTP))

2.1.3.5 การเกิดฝนกรด (Acidification potential (AP))

โดยการคัดเลือกประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมใช้หลักการและเหตุผลจากความถี่ในการเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งสาเหตุมาจากน้ำเสียและสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สามารถนำไปสู่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อมนุษย์ ต่อระดับภูมิภาคไปจนถึงระดับโลก เช่น ประเด็นภาวะโลกร้อน โดยสาเหตุสำคัญที่พบได้แก่การเกิดก๊าซชีวภาพและการเผาไหม้เครื่องยนต์สันดาปซึ่งเป็นมลสาระสำคัญในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน หรือการส่งผลต่อระบบนิเวศในน้ำ (Eutrophication) คือ การเพิ่มของธาตุอาหารในน้ำ ซึ่งเกิดจากการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ โดยมลสารที่ปล่อยออกมาล้วนแต่ก่อให้เกิดผลกระทบทั้งสิ้น

2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory)

ในการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม จะมุ่งไปที่การใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน ของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบตลอดจนผลิตภัณฑ์พลอยได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยพิจารณาถึงวัสดุและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการได้มาของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งขนมจีนและก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะมีการบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อมในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง การประเมินผลกระทบนี้ใช้วิธี EDIP (Environmental development of industrial products) โดยใช้ค่าแฟคเตอร์ อ้างอิงจาก IPCC ค่าผลกระทบใน 100 ปี และใช้โปรแกรม Microsoft excel ในการคำนวณ

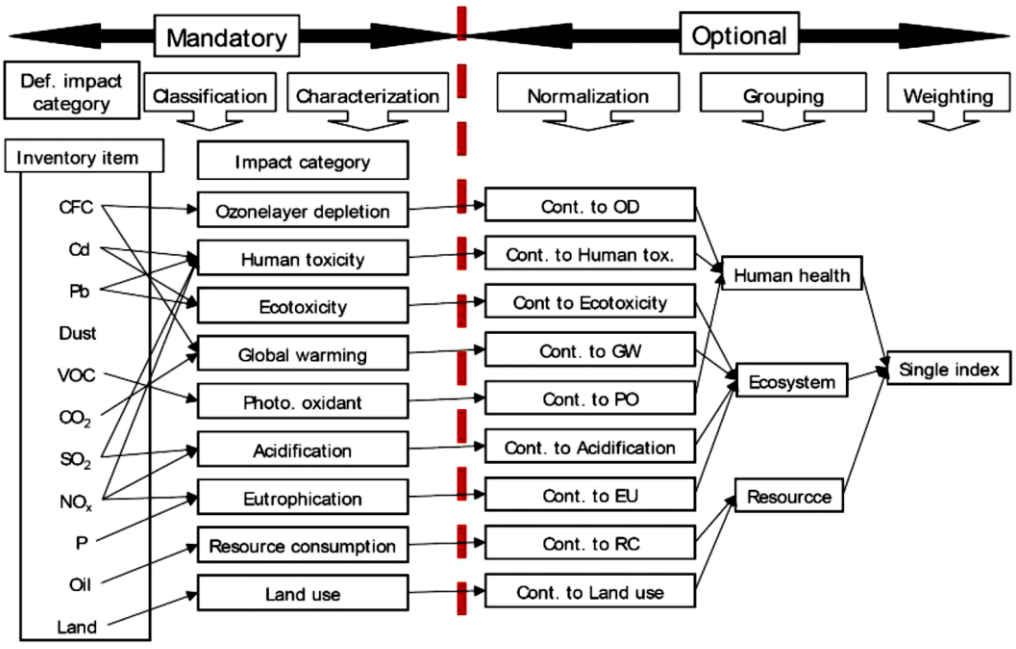


ภาพที่ 3-4 กระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงงาน พ.ศ.ช. ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด

2.3 ประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle impact assessment; LCIA)

ขั้นตอนนี้เป็นการจัดกลุ่มของประเภทมลพิษซึ่งเมื่อได้ข้อมูลจากการทำบัญชีรายการแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้มาทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยจำแนกประเภทของผลกระทบหลัก ๆ ได้ 9 ประเภท ดังภาพที่ 3-5 การศึกษาครั้งนี้จะประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเพียง 5 ประเภทเท่านั้น ซึ่งได้แก่

2.3.1 ภาวะโลกร้อน (Global warming potential (GWP)): เกิดจากก๊าซที่มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนไว้ภายในตัวได้สูงจะลอยตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศชั้นในสุด คือ ชั้นโทรโพสเฟียร์ ก๊าซเรือนกระจกที่มนุษย์ปล่อยขึ้นจากอุตสาหกรรมและการใช้ชีวิตประจำวันเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน นอกจากก๊าซเรือนกระจกที่ทราบกันดี เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนแล้ว ยังมีสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนทุกชนิด และโอโซนที่ลอยตัวอยู่ในระดับต่ำ รวมถึงไอน้ำก็จัดว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกด้วย ความสามารถในการทำให้โลกร้อน นิยามเป็นค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential, GWP) หมายถึง ค่าศักยภาพ ของก๊าซเรือนกระจกในการทำให้โลกร้อน ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนและอายุของก๊าซนั้น ๆ ในบรรยากาศ โดยคิดเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (กรมส่งเสริมคุณภาพทางสิ่งแวดล้อม, 2557)



ภาพที่ 3-5 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ (จันทิมา อุทะกะ, 2555)

2.3.2 การส่งผลต่อระบบนิเวศในน้ำ (Eutrophication potential (EP)) คือ มลภาวะทางน้ำซึ่งทำให้สภาวะของระบบนิเวศทางน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความเข้มข้นของแร่ธาตุและสารอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำมากเกินไป โดยเฉพาะฟอสเฟสและไนเตรท ผลกระทบของสภาวะยูโทรฟิเคชันต่อสภาพแวดล้อม ดังนี้

2.3.2.1 ทำให้ความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนที่ละลายน้ำในเวลากลางวันมีค่าเพิ่มขึ้นจากระดับปกติ

2.3.2.2 เพิ่มการผันแปรของความเป็นกรด-ด่างและออกซิเจนที่ละลายน้ำในรอบวัน

2.3.2.3 ลดความสามารถในการส่องผ่านของแสงลงไปในน้ำ

2.3.2.4 เป็นสาเหตุการตายของปลา

2.3.2.5 การเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของพืชน้ำ

2.3.3 การทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโต้ออกซิเดชั่น (Photo-oxidant formation potential (POCP)) โดยก๊าซโอโซน ส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาทางธรรมชาติระหว่างแสงแดดกับออกซิเจนและแสงแดดกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยปกติแล้วโอโซนในบรรยากาศชั้นสูงจะช่วยป้องกันโลกจากภัยของรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ แต่ก๊าซนี้เมื่อยู่บนผิวโลกจะเป็นก๊าซพิษชนิดหนึ่งที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซนี้กับแสงอาทิตย์ โดยจะเป็นตัวช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโต้ออกซิเดชั่น ระหว่างแสงกับกลุ่มก๊าซไนโตรเจน ก๊าซโอโซนแม้จะมีอยู่ในบรรยากาศเพียงเล็กน้อย แต่มีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดจากดวงอาทิตย์ และมีอิทธิพลทำให้อุณหภูมิของโลกอบอุ่น ถ้าในบรรยากาศมีก๊าซเหล่านี้สูงขึ้น ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นไปด้วย

2.3.4 ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity (HTP)) เกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) หรือก๊าซไข่เน่า เป็นสารที่อยู่ในสถานะก๊าซ ไม่มีสี มีกลิ่นเหม็นคล้ายไข่เน่าหนักกว่าอากาศ กลิ่นเหม็นของก๊าซนี้เกิดจากการย่อยสลายของซากของเสียและสิ่งมีชีวิต ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่มีพิษรุนแรง ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเข้าไปจับและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไซโตโครม ออกซิเดส ภายในไมโทคอนเดรีย ทำให้เซลล์หายใจไม่ได้ กลไกนี้เป็นกลไกเดียวกับพิษของไซยาไนด์ (Cyanide) นอกจากนี้ ยังมีฤทธิ์ระคายเคืองต่อเยื่อบุโดยตรง เช่น ตา จมูก หลอดลม ปอด มีผลทำให้เกิดอาการปอดบวมน้ำร่วมด้วย สารนี้จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองบริเวณที่มีการสัมผัสโดยเฉพาะดวงตา จมูก คอ หลอดลม อาจเกิดอาการแน่นหน้าอก หายใจเร็ว หายใจสั้นทำให้จมูกไม่ได้กลิ่น เกิดได้ที่ความเข้มข้น 100-150 ppm ซึ่งทำให้สูญเสียความสามารถในการระมัดระวังตัว อาจพบมีหนังตากระตุกหรือผิวหนังแสบร้อนเกิดขึ้นได้ อาการระคายเคืองปอดจะทำให้ปอดบวมน้ำ เกิดการอักเสบของเนื้อปอด อาการเกิดขึ้นได้ภายใน 2-3 ชั่วโมง หลังการ

รับสัมผัสและเนื่องจากก๊าซนี้เมื่อสูดดมเข้าไปสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็ว โดยที่ความเข้มข้น 600-800 ppm มักจะทำให้ผู้ที่สูดดมก๊าซหมดสติและเสียชีวิตไปในทันทีทันใด อาการนี้เป็นอาการที่พบได้บ่อยสำหรับการประสบเหตุจากก๊าซชนิดนี้ กรณีไม่รุนแรงจะพบว่ามีอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน วิงเวียน ชักและโคม่าได้ (กระทรวงศึกษาธิการ, ม.ป.ป.)

2.3.5 การเกิดฝนกรด (Acidification potential (AP)) มีสาเหตุมาจากก๊าซ 2 ชนิดหลัก ๆ คือ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อก๊าซถูกปล่อยสู่บรรยากาศจะทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจนเกิดเป็น กรดซัลฟุริกและกรดไนตริกโดยปฏิกิริยามีแสงเป็นตัวเร่ง ซึ่งฝนกรดนี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อทั้งคน พืช

ผลกระทบต่อพืช ฝนกรดสามารถทำปฏิกิริยากับธาตุอาหารที่สำคัญของพืช เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ทำให้พืชไม่สามารถนำธาตุอาหารไปใช้ได้ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศยังไปปิดปากใบพืช ทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์แสงลดลง

ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะสัตว์น้ำจะได้รับผลกระทบโดยตรง จากการศึกษาพบว่า ความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นของน้ำทำให้สัตว์น้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ จากการศึกษาพบว่า จำนวนปลา Trout และ Salmon ในประเทศนอร์เวย์ได้ลดจำนวนลงเป็นจำนวนมาก และในระยะยาวยังพบว่าปลาหยุดการผสมพันธุ์อีกด้วย นอกจากนี้สัตว์ที่อยู่ในลำดับขั้นที่สูงกว่าก็จะได้รับผลกระทบเช่นเดียวกัน

ผลกระทบต่อสิ่งก่อสร้าง ฝนกรดสามารถละลายแคลเซียมคาร์บอเนตในหินเกิดการผุพัง เช่น ปิรามิดในประเทศอียิปต์ และทัชมาฮาลในประเทศอินเดีย (ธนิดา แซ่ตัน, 2553)

2.4 การแปรผลการศึกษา (Life cycle interpretation)

การแปรผลการศึกษาเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินวัฏจักรสิ่งแวดล้อม โดยการนำผลจากการทำบัญชีรายการ และการประเมินผลกระทบมาจัดทำข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของขอบเขตการศึกษา

3. ผลของการผลิตก๊าซชีวภาพ

3.1 ประเมินศักยภาพของการนำก๊าซชีวภาพมาใช้งาน

ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถผลิตขึ้นใช้เองได้อย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จึงสามารถใช้แทนเชื้อเพลิงต่าง ๆ กับอุปกรณ์ที่ต้องการความร้อนได้ เช่น ทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) ในครัวเรือน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการประเมินก๊าซชีวภาพโดยทำการเปรียบเทียบก๊าซชีวภาพที่ผลิตเปลี่ยนเป็นพลังงาน ได้แก่ ก๊าซแอลพีจี น้ำมันดีเซลและน้ำมันเตา รวมถึงมูลค่าของการนำก๊าซชีวภาพมาเป็นพลังงานด้วย โดยก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์ มีค่าความร้อนที่เทียบเท่า (ทดแทน)

ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์ มีค่าความร้อนที่เทียบเท่า (ทดแทน) (กระทรวงพลังงาน, 2550)

ชนิด	ค่าความร้อนที่เทียบเท่า (ทดแทน)
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46 กิโลกรัม
น้ำมันดีเซล	0.60 ลิตร
น้ำมันเตา	0.55 ลิตร
ไฟฟ้า	1.2 กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
ไม้ฟืน	1.5 กิโลกรัม

3.2 เปรียบเทียบการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพแล้วปล่อยออกสู่อากาศ กับการผลิตก๊าซชีวภาพแล้วทำการเผาทำลายก๊าซชีวภาพนั้นจะช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากน้อยเพียงใด เพื่อใช้เป็นข้อมูลให้กับกลุ่มที่สนใจการลดปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Reduction) จากการดำเนินโครงการสามารถประเมินได้ดังนี้

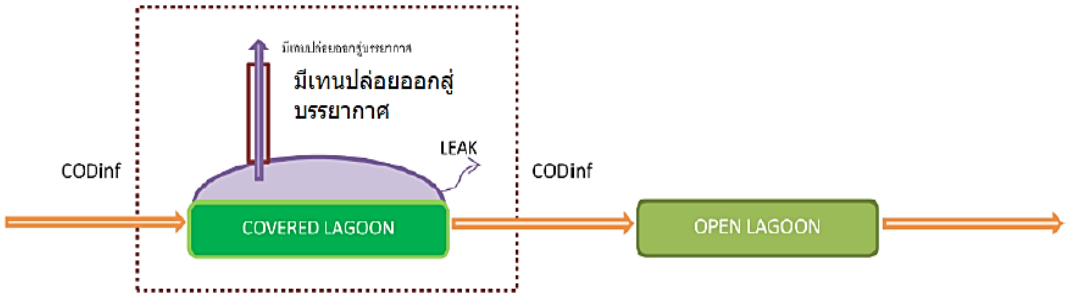
$$ER_y = BE_y - PE_y \quad (3\text{-}13)$$

$$BE_{ww,treatment,y} = Q_{ww,PJ,y} \times (COD_{inf,\ PJ,\ WWTP} - COD_{eff,\ PJ,\ WWTP}) \times MCF_{BL} \times UF_{BL} \times B_O \times GWP_{CH4,Y} \times 10^{-6} \quad (3\text{-}14)$$

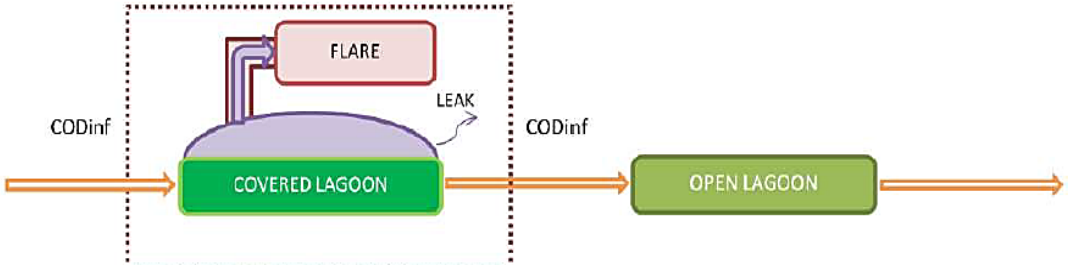
$$PE_{leak,y} = Q_{ww,treatment,y} \times (COD_{inf,\ PJ,\ WWTP} - COD_{eff,\ PJ,\ WWTP}) \times MCF_{PJ} \times (1 - CFE) \times UF_{PJ} \times B_O \times GWP_{CH4,Y} \times 10^{-6} \quad (3\text{-}15)$$

$$PE_{flare,y} = V_{CH4,biogas,y} \times (1 - FE) \times GWP_{CH4,y} \quad (3\text{-}16)$$

Baseline :



Project :



ภาพที่ 3-6 กระบวนการปล่อยก๊าซชีวภาพกับการเผาทำลายก๊าซชีวภาพ

4. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการเป็นการวิเคราะห์ผลตอบแทนและผลประโยชน์จากการสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อทดแทนพลังงาน และสร้างรายได้ให้กับผู้ผลิต โดยแบ่งการประเมิน ดังนี้

4.1 วิธีประเมินโดยคิดระยะเวลาคืนทุน (Simple payback period)

4.2 วิธีประเมินโดยคิดอัตราผลตอบแทนการคืนทุน (Internal rate of return-IRR)

4.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net present value-NPV)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวงจรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงการศึกษาศักยภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพและประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม โดยการศึกษาจะแบ่งออกเป็น การคำนวณการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพและการประเมินวัฏจักรชีวิตของการนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นไฟฟ้า ประเมินมลพิษที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนของการนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทน ร่วมกับหาค่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน พร้อมทั้งแสดงรายละเอียดของผลการวิจัยดังนี้

ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโรงงาน พ.ศ.ช ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด โดยศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลการผลิต ปริมาณการปล่อยน้ำเสีย ค่า COD รวมถึงการผลิตไฟฟ้า และค่าที่ใช้ในการคำนวณในการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-1 และตารางที่ 4-2

การประเมินวัฏจักรชีวิต

จากข้อมูลเบื้องต้นและการศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้าได้แบ่งกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการได้มาของวัตถุดิบหรือกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4-1

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้าได้ทำตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ISO 14040-14049 ซึ่งการประเมินแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope definition)

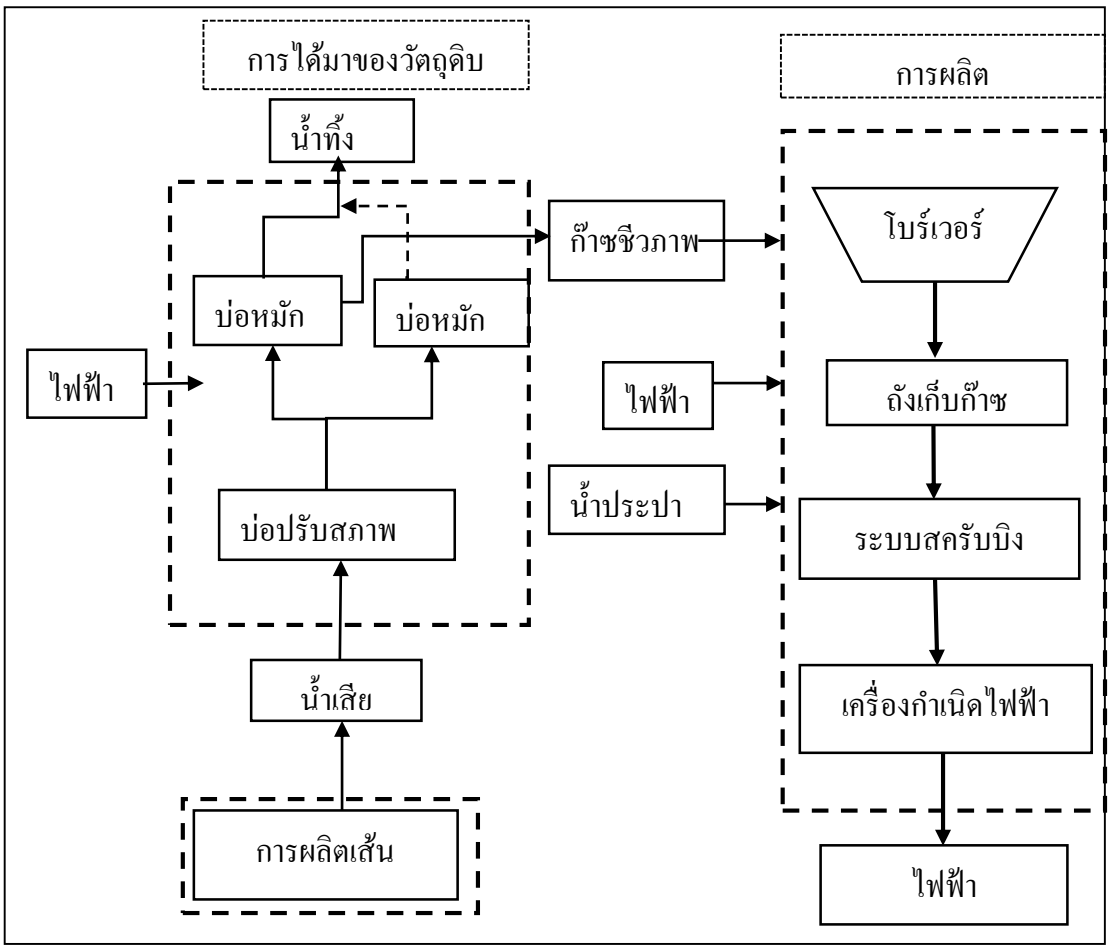
โดยเป้าหมายของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมครั้งนี้จัดทำเพื่อประเมินวงจรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานในส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์		ข้อมูล	หน่วย
กำลังการผลิต		100	ตัน/ ชั่วโมง
ปริมาณน้ำเสีย		358	ลบ.ม./ วัน
น้ำเข้า (ค่าเฉลี่ย)	COD	16,317	มก./ ล.
	BOD	11653	มก./ ล.
น้ำเข้า (ค่าเฉลี่ย)	COD	749	มก./ ล.
	BOD	210	มก./ ล.
เทคโนโลยีที่ใช้		ระบบ ABR	
ปริมาตรระบบก๊าซชีวภาพ		4,800	ลบ.ม.
ประสิทธิภาพการกำจัด COD		95.4	%
ระยะเวลากักเก็บน้ำ: HRT		12	วัน
ปริมาณการผลิตก๊าซ		5,543	ลบ.ม./ วัน
สัดส่วนก๊าซมีเทน		57	%

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลวิเคราะห์ผลประโยชน์ในรูปเงิน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
เงินลงทุนรวม	12,054,345	บาท
การนำก๊าซชีวภาพไปผลิตเป็นไฟฟ้า	1,057,680	ลูกบาศก์เมตร/ ปี
พลังงานจากก๊าซชีวภาพ	25,892,006.4	เมกะจูล/ ปี
ปริมาณไฟฟ้าสุทธิ	1,903,824	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ ปี
มูลค่าการผลิตไฟฟ้า	6,663,384	บาท/ ปี
ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและซ่อมบำรุงเครื่องจักร	860,000	บาท/ ปี



ภาพที่ 4-1 กระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิต

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory)

บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตแก๊สชีวภาพได้แก่ ค่า COD และก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพได้จำแนกองค์ประกอบและสัดส่วนดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	สัดส่วน (%)
ก๊าซมีเทน	57
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	40
ไฮโดรเจนซัลไฟล์	1
ไนโตรเจน	2

จากสามการการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพทำให้ได้มลสารที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต ดังนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

3. ประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต

เมื่อทำการจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมแล้วจะทำให้ทราบได้ว่ามลสารแต่ละชนิดมีสารใดบ้างที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาประเภทไหน ซึ่งได้ทำการจำแนกดังตารางที่ 4-4

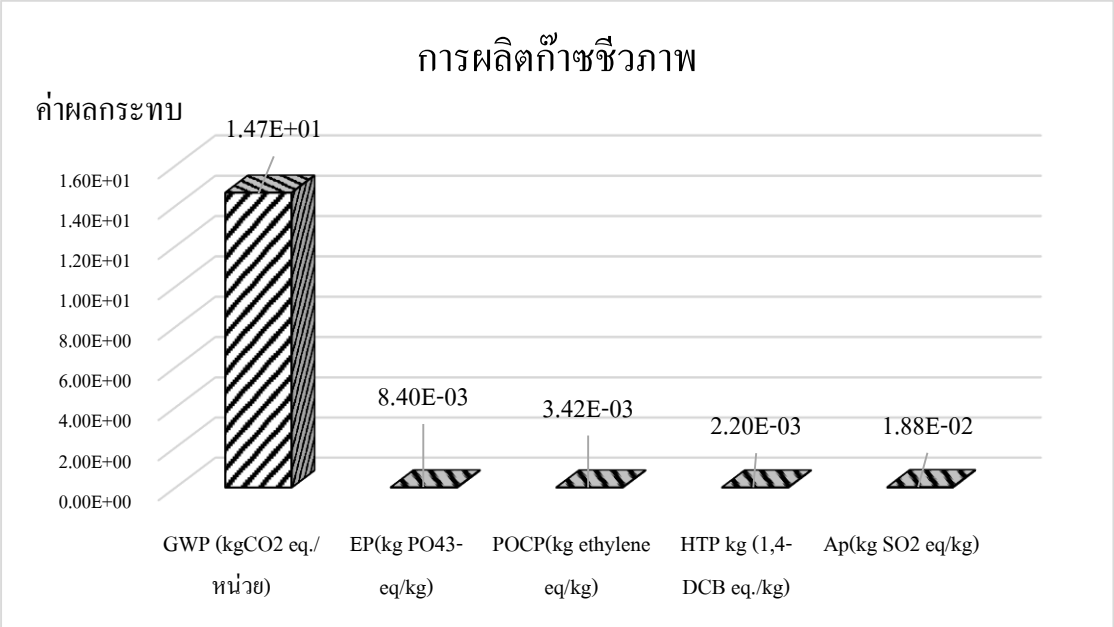
ตารางที่ 4-4 จำแนกมลสารต่าง ๆ ตามประเภทปัญหาสิ่งแวดล้อม

แหล่ง	กิจกรรม	มลสาร	ปัญหาสิ่งแวดล้อม
กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ	ย่อยสลายและเติมสารอาหารแก่จุลินทรีย์	CO_2 CH_4 N_2O H_2S	Global Warming Eutrophication Human Toxicity
การผลิตไฟฟ้า	เปลี่ยนก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้า	CO_2 N_2	Acidification Photo-Oxidant formation

4. แปรผลการศึกษา

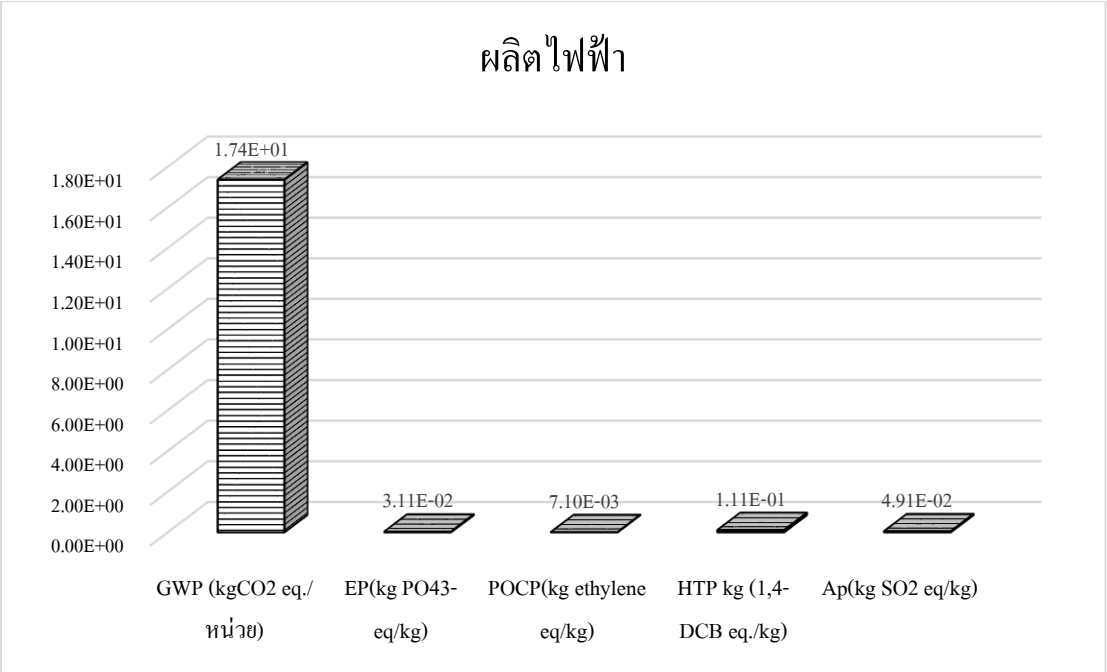
โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพได้ทำการประเมินโดยใช้โปรแกรม Microsoft excel ในการคำนวณ ซึ่งแสดงผลการวิจัยดังนี้ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตก๊าซชีวภาพ 1 กิโลกรัม/ ปี พบว่าผลกระทบที่เกิดมากที่สุดคือการเกิดภาวะโลกร้อน โดยมีผลกระทบ 1.47E+01 kg CO_2eq/ หน่วย รองลงมาคือ การเกิดผลกระทบ การเกิดฝนกรด

การส่งผลต่อระบบนิเวศในน้ำการทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโต้ออกซิเดชั่น และความเป็นพิษต่อมนุษย์ โดยเกิดผลกระทบดังนี้ การเกิดฝนกรดมีผลกระทบเท่ากับ 1.88E-02 kg SO_2 eq/ kg การส่งผลต่อระบบนิเวศในน้ำ มีค่าผลกระทบเท่ากับ 8.40E-03 kg PO_4^{3-}eq/ kg การทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโต้ออกซิเดชั่น มีค่าผลกระทบเท่ากับ 3.42E-03 kg ethylene eq/ kg และความเป็นพิษต่อมนุษย์ มีค่าผลกระทบเท่ากับ 2.20E-03 kg1,4- DCB eq./ kg ซึ่งผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพแสดงดังภาพที่ 4-2



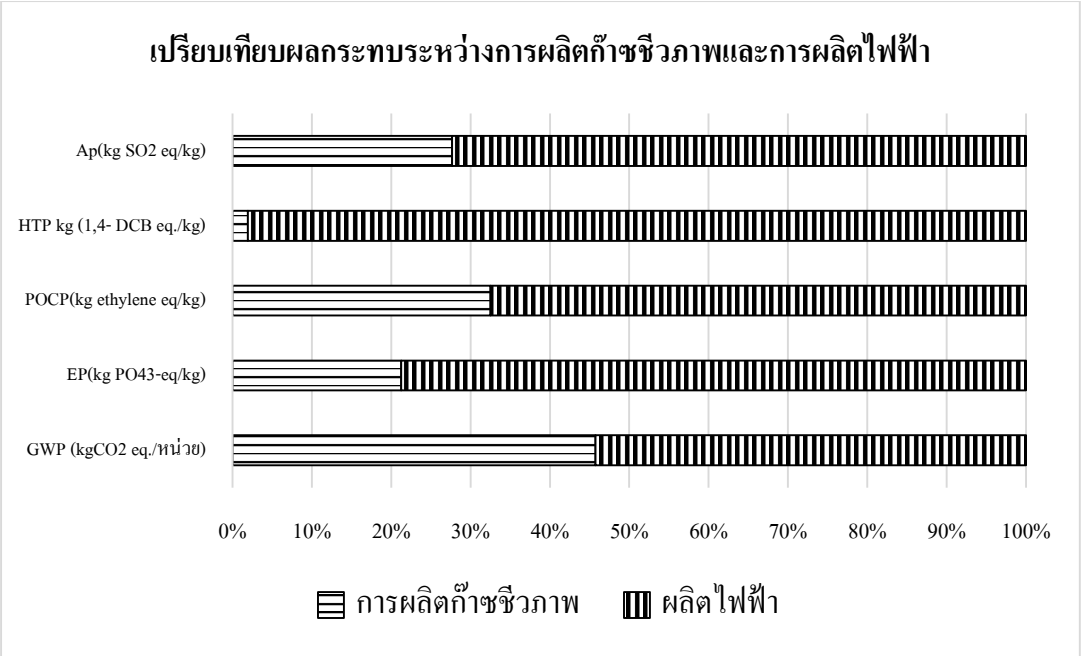
ภาพที่ 4-2 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตก๊าซชีวภาพ

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ ปี พบว่าการผลิตไฟฟ้าก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านการเกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุดโดยมีค่าผลกระทบเท่ากับ 1.74E+01 kg CO_2eq/ หน่วย รองลงมาคือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ การเกิดฝนกรด การส่งผลต่อระบบนิเวศในน้ำการทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโต้ออกซิเดชั่น และโดยเกิดผลกระทบดังนี้ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ เกิดผลกระทบ 1.11E-01 kg1,4- DCB eq./ kg การเกิดฝนกรด เกิดผลกระทบ 4.91E-02 kg SO_2 eq/ kg การส่งผลต่อระบบนิเวศในน้ำ เกิดผลกระทบ 3.11E-02 kg PO_4^{3-}eq/ kg และการทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโต้ออกซิเดชั่น เกิดผลกระทบ 7.10E-03 kg ethylene eq/ kg ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้า

เมื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพและการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพแล้วพบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่คือการเกิดภาวะโลกร้อน และเมื่อนำกระบวนการการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพและการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมาทำการเปรียบเทียบแล้วพบว่ากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพส่งผลกระทบทางด้านต่างๆมากกว่ากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ แสดงดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 เปรียบเทียบผลกระทบระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้า

ผลของการผลิตก๊าซชีวภาพ

1. ประเมินศักยภาพการนำพลังงานจากก๊าซชีวภาพมาใช้

การผลิตก๊าซชีวภาพของ บริษัท พ.ศ.ช. ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด โดยมีปริมาณน้ำเสียเข้าระบบ 358 ลูกบาศก์เมตร/วัน (130,670 ลูกบาศก์เมตร/ ปี) ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 5,543 ลูกบาศก์เมตร/ วัน (2,023,195 ลูกบาศก์เมตร/ ปี) เมื่อนำก๊าซชีวภาพมาผลิตพลังงานสามารผลิตพลังงานได้แตกต่างกัน โดยสามารถทดแทนก๊าซแอลพีจีเท่ากับ 930,669.7 กิโลกรัม/ ปี ทดแทนน้ำมันดีเซลได้เท่ากับ 1,213,917 ลิตร/ ปี และสามารถทดแทนน้ำมันเตาได้เท่ากับ 1,112,757.25 ลิตร/ ปี โดยหากเปรียบเทียบเป็นได้รายแล้วก๊าซแอลพีจีสามารถสร้างรายได้ถึง 19,506,836.91 บาท/ ปี และน้ำมันดีเซลสร้างรายได้ถึง 30,093,002.43 บาท/ ปี ส่วนน้ำมันเตาสร้างรายได้ถึง 11,436,696.46 บาท/ ปี แสดงดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ศักยภาพด้านพลังงานของก๊าซชีวภาพ

ทดแทนพลังงาน	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
แอลพีจี	คิดเป็นปริมาณเทียบเท่า	930,669.7	กก./ ปี
	คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	19,506,836.912	บาท/ ปี
น้ำมันดีเซล	คิดเป็นปริมาณเทียบเท่า	1,213,917	ลิตร/ ปี
	คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	30,093,002.43	บาท/ ปี
น้ำมันเตา	คิดเป็นปริมาณเทียบเท่า	1,112,757.25	ลิตร/ ปี
	คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	11,436,696.46	บาท/ ปี

2. เปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การเปรียบเทียบการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาทำลาย โดยทำการคำนวณตามสมการที่ได้จากองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก โดยพบว่าที่น้ำเสียปริมาณ 130,670 ลูกบาศก์เมตร/ ปี ค่า COD ขาเข้าเท่ากับ 16,317 มิลลิกรัม/ ลิตร และค่า COD ขาออก เท่ากับ 749 มิลลิกรัม/ ลิตร จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเท่ากับ 9,052.50 tCO_2/ ปี แต่หากนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาทำการเผาทำลายแล้วก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาทำลายก๊าซชีวภาพเพียง 5,006.81 tCO_2/ ปี ซึ่งการเผาทำลายก๊าซชีวภาพก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 4,045.69 tCO_2/ ปี แสดงตังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การปล่อยก๊าซเรือยกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	9,052.50	tCO_2/ year
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาทำลายก๊าซชีวภาพ	5,006.81	tCO_2/ year
การลดปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	4,045.69	tCO_2/ year

หากเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและการนำไปใช้ประโยชน์ทดแทนพลังงานด้านต่าง ๆ พบว่าเมื่อใช้ทดแทนน้ำมันเตาจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียง 340.17 tCO_2 eq/ ปี ถ้าใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1,213.92 tCO_2 eq/ ปี และใช้ทดแทนก๊าซแอลพีจี จะมีปริมาณก๊าซเรือนกระจก 383.62 tCO_2 eq/ ปี โดยคิดจากก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ 2,714,140 กิโลกรัม/ ปี หากนำก๊าซชีวภาพที่ได้มาใช้ทดแทนพลังงานด้านต่าง ๆ สามารถลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกได้ โดยใช้ทดแทนน้ำมันเตาลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ 39,557.69 tCO_2 eq/ ปี ใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ 38,683.94 tCO_2 eq/ ปี และทดแทนก๊าซแอลพีจีลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ 39,514.24 tCO_2 eq/ ปี โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและการนำไปใช้ประโยชน์

กระบวนการ		ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (tCO_2 eq/ ปี)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดไป (tCO_2 eq/ ปี)
กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ*		39,897.86	-
กระบวนการใช้งานก๊าซชีวภาพ	ทดแทนน้ำมันเตา	340.17	39,557.69
	ทดแทนน้ำมันดีเซล	1,213.92	38,683.94
	ทดแทนก๊าซแอลพีจี	383.62	39,514.24

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำไปใช้ได้ทำการประเมิน 3 เงื่อนไข คือ

1. วิธีประเมินโดยคิดระยะเวลาคืนทุน (Simple payback period)
2. วิธีประเมินโดยคิดอัตราผลตอบแทนการคืนทุน (Internal rate of return-IRR)
3. มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net present value-NPV)

โดยระยะเวลาคืนทุนของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพซึ่งก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้นั้นได้ขายให้กับการไฟฟ้าในราคาหน่วยละ 3.5 บาทจะมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2.22 ปี คือ 2 ปี 2 เดือน 19 วัน บริษัทจะคืนทุน

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) คือผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าเวลาแล้วของโครงการ โดยค่า NPV มีค่าเท่ากับ 21,020,189.07 บาท

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) คือ ผลตอบแทนที่จะได้รับ โดยโครงการนี้มีค่า IRR เท่ากับ 45%

การประเมินอัตราผลตอบแทบของการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ทดแทนพลังงานด้านต่าง ๆ โดยมีเงินลงทุนเท่ากับ 12,054,345 บาท ที่อายุโครงการ 15 ปี อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ 15% โดยคิดค่าดำเนินการและการบำรุงรักษาเป็น 5% ของเงินลงทุน แสดงดังตารางที่ 4-8 หากเมื่อคิดระยะเวลาคืนทุนแล้วถ้านำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นพลังงานทดแทนพบว่า ถ้าทดแทนน้ำมันเตาจะได้ระยะเวลาคืนทุน 0.64 ปี ใช้แทนน้ำมันดีเซลระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.41 ปี และใช้แทนก๊าซแอลพีจีระยะคืนทุนเท่ากับ 1.11 ปี แสดงดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-8 ประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้ทดแทนพลังงาน

	ทดแทนก๊าซแอลพีจี	ทดแทนน้ำมันดีเซล	ทดแทนน้ำมันเตา
เงินลงทุน (บาท)	12,054,345	12,054,345	12,054,345
อายุโครงการทั้งหมด	15 ปี	15 ปี	15 ปี
อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ	15%	15%	15%
ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา	5% ของเงินลงทุน	5% ของเงินลงทุน	5% ของเงินลงทุน

ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนของพลังงานทดแทน

กระบวนการ		ระยะเวลาคืนทุน	% IRR
กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ*		-	-
กระบวนการใช้งานก๊าซชีวภาพ	ทดแทนน้ำมันเตา	0.64	157
	ทดแทนน้ำมันดีเซล	0.41	245
	ทดแทนก๊าซแอลพีจี	1.11	90

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

ในบทนี้เป็นการสรุปและวิจารณ์ผลการศึกษาวิจัย ประกอบด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพและการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า ศักยภาพของการนำพลังงานจากก๊าซชีวภาพมาใช้ทดแทนและการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินวัฏจักรชีวิต

จากผลการวิจัยการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์จากก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งขนมจีนนั้น พบว่ากระบวนการที่ก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ กระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยพบว่าค่าผลกระทบที่ก่อให้เกิดทางมลพิษ จากกระบวนการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า

ผลการวิจัยเบื้องต้นทำให้สามารถสรุปได้ว่าการนำน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมทางการเกษตรที่มีคุณสมบัติเพียงพอจะสามารถผลิตเป็นก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพนั้น ถือว่ามีข้อดีในแง่ของการได้พลังงานมาใช้และสามารถจัดการน้ำเสียได้ในตัว แต่ก็ยังไม่อาจสรุปแน่ชัดได้ว่านี่จะเป็นแนวทางที่ดีที่สุดในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม อาจเป็นเพียงตัวเลือกหนึ่งในหลาย ๆ ตัวเลือกที่อาจตอบโจทย์สำหรับยุคที่มนุษย์เริ่มตระหนักถึงภัยหรือผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปริโภคพลังงานของตัวเองและยุคที่พลังงานมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง

ผลของการผลิตก๊าซชีวภาพ

1. ประเมินศักยภาพการนำพลังงานจากก๊าซชีวภาพมาใช้

จากผลการประเมินศักยภาพการนำพลังงานจากก๊าซชีวภาพมาใช้ทำให้ทราบได้ว่าก๊าซชีวภาพสามารถทำมาทำเป็นพลังทดแทนเลือกได้หลายรูปแบบ อีกทั้งยังให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่ากว่าการที่จะปล่อยก๊าซชีวภาพทิ้งไป

2. เปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาทำลาย พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาทำลายสามารถช่วยลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกได้ดีกว่าการปล่อยก๊าซชีวภาพออกสู่บรรยากาศ

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

จากผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าระยะเวลาคืนทุนของโครงการนั้นทีค่าเท่ากับ 2.22 ปี จึงเห็นได้ว่าโครงการนี้เหมาะแก่การลงทุนเพราะระยะเวลาเพียงปีกว่าก็สามารถคืนทุนให้กับบริษัทได้เร็ว ส่วนผล IRR เท่ากับ 45% สามารถบ่งบอกได้ว่า โครงการนี้เป็นโครงการที่น่าลงทุนเนื่องจากให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า

ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้งขนมจีนนั้นมีหลายที่มากกมายไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก อุตสาหกรรมขนาดกลาง และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่แต่ทุกขนาดย่อมมีน้ำเสียออกจากระบบดังนั้นหากมองในเรื่องความคุ้มค่าและรักษาสิ่งแวดล้อมแล้วควรนำน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและนำกลับไปใช้แทนเชื้อเพลิงในโรงงานเพื่อลดต้นทุนการผลิต

2. สำหรับการทำการวิจัยต่อ ผู้วิจัยควรเก็บข้อมูลของสารเข้า-ออกทุกกระบวนการเพื่อที่จะได้จำแนกได้ว่ากระบวนการย่อยใดก่อให้เกดผลกระทบมากที่สุดเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขกระบวนการนั้น

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2546). *คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่ม 1*. กรุงเทพฯ

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2551). โครงการ *"จัดทำคู่มือข้อมูลวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCI-LCA)"*. กรุงเทพมหานคร.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2549). *หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด: การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ อุตสาหกรรมรายสาขาแป้งขนมจีน*. กรุงเทพฯ.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2552). *หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด: การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ อุตสาหกรรมรายสาขาแป้งขนมจีน*. กรุงเทพฯ.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2557). *คู่มือการประเมินสำนักงานสีเขียว*. คณะสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยมหิดล.

กระทรวงพลังงาน. (2550). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียฟาร์มปศุสัตว์และโรงงานอุตสาหกรรม*. สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน (สวค.) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กระทรวงศึกษาธิการ. (ม.ป.ป.). *ซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม*. สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาลำปาง เขต 1.

จักรพงษ์ แย้มยิ้ม. (2553). *การเปรียบเทียบวิธีการประเมินก๊าซเรือนกระจกในเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพด้วยกลไกการพัฒนาที่สะอาดและการประเมินวัฏจักรชีวิต*. สาขาวิศวกรรมพลังงาน, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จันทิมา อุทะกะ. (2555). *การประเมินวัฏจักรชีวิต*. ศูนย์เฉพาะทางด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ. ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

ชูลีรัตน์ คงเรือง, สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล. (2553). *การประเมินทางเศรษฐศาสตร์และวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย*. งบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ณัฐพงศ์ เสาท้าว, โอฬาร พรเจริญจิตร, (2552). *การประเมินการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกและปริมาณพลังงานจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ผงซักฟอก*. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ธนวัฒน์ อินทร์รุ่งเรือง. (2553). *การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงไบโอโดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต*, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการพัฒนางาอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ธนิดา แซ่ตัน. (2553). *การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบบผสมผสานของวัฏจักรชีวิตกระดาษพิมพ์เขียนที่ผลิตในประเทศไทย*, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นันทวรรณ แสงโรจน์. (2554). *การประเมินศักยภาพด้านพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

นิภาภัทร์ น้อยเทียม. (2550). *การวิเคราะห์ผลตอบแทนโครงการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง*. คณะเศรษฐศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

วรรยา พุธิรัตน์ (2551). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในโรงงานแป้งขนมจีน. สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ, คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

วันดี ลือสายวงศ์. (ม.ป.ป.). *กลุ่มทดสอบโลหะและธาตุปริมาณน้อย*. โครงการเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ. เข้าถึงได้จาก http://www.dss.go.th/dssweb/starticles/files/cp_7_2550_LCA.pdf

ศศิรส คำเครือ. (2547). *การประเมินโรงบำบัดน้ำเสียขิงผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต*. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศักรพัทธ์ ฤทธิ์จรูญโรจน์. (2553). *การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสุกร*. สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์. มหาวิทยาลัยรามคำแหง

เส้นขนมจีน พศช. (2556). เข้าถึงได้จาก http://www.pschfranchise.com/

Alvarado-Morales, M.,(2012). *Life Cycle Assessment of biogas production process from Laminaria digitata*, Department of Environmental Engineering Technical University of Denmark

Green Siam. (2013). Retrieved from http://www.greensiam.com/TH/knowledge/native.php#process.

Hu, Z., Tan, P., Yan, X., Lou, D., (2008). *Life cycle energy, environment and economic assessment of soybean-basedbiodiesel as an alternative automotive fuel in China, Energy, 33*, 1654–1658

Jury, C., Benetto, E., Koster, D., Schmitt, B., & Welfring, J. (2010). *Life Cycle Assessment of biogas production by monofermentation of energy crops and injection into the natural gas grid, biomass and bioenergy*, *34*, 54-66.

Patterson, T., Esteves, S., Dinsdale, R., Guwy, A., (2011). *Life cycle assessment of biogas infrastructure options on a regional scale, Bioresource Technology, 102*, 7313–7323.

Sasiros, K.. (2004). *An evalution of wastewater treatment plant pf electronic products using life cycle assessment. Environmental engineerimg*. Chiang Mai University

Starr, K., Gabarrell, X., Villalba, G., *Talens*, L.*,* (2012). *L. Lombardi., Life cycle assessment of biogas upgrading technologies, Waste Management, 32*, 991–999.

Udo de Haes, H. A., Heijungs, R., (2007). *Life-cycle assessment for energy analysis and management, Applied Energy 84*, 817–827.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

ตารางภาคผนวก ก-1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานในส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์		**ข้อมูล**	**หน่วย**
กำลังการผลิต		100	ตัน/ชั่วโมง
ปริมาณน้ำเสีย		358	ลูกบาศก์เมตร/วัน
น้ำเข้า	COD	16,317	มิลลิกรัม/ลิตร
(ค่าเฉลี่ย)	BOD	11,653	มิลลิกรัม/ลิตร
น้ำเข้า	COD	749	มิลลิกรัม/ลิตร
(ค่าเฉลี่ย)	BOD	210	มิลลิกรัม/ลิตร
เทคโนโลยีที่ใช้			ระบบ ABR
ปริมาตรระบบก๊าซชีวภาพ		4,800	ลูกบาศก์เมตร
ประสิทธิภาพการกำจัด COD		95.4	%
ระยะเวลากักเก็บน้ำ : HRT		12	วัน
ปริมาณการผลิตก๊าซ		5,543	ลูกบาศก์เมตร/วัน
สัดส่วนก๊าซมีเทน		57	%

ตารางภาคผนวก ก-2 ข้อมูลวิเคราะห์ผลประโยชน์ในรูปเงิน

รายการ	**ปริมาณ**	**หน่วย**
เงินลงทุนรวม	12,054,345	บาท
การนำก๊าซชีวภาพไปผลิตเป็นไฟฟ้า	1,057,680	ลูกบาศก์เมตร/ปี
พลังงานจากก๊าซชีวภาพ	25,892,006.4	เมกะจูล/ปี
ปริมาณไฟฟ้าสุทธิ	1,903,824	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
มูลค่าการผลิตไฟฟ้า	6,663,384	บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและซ่อมบำรุงเครื่องจักร	860,000	บาท/ปี

ตารางภาคผนวก ก-3 ปริมาณก๊าซที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม

ชนิดของก๊าซ	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	มีเทน (CH_4)	ไนโตรเจน (N_2)	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	COD	ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)
ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน Global Warming Potential (GWP)	1	25	-	-	-	-	-
การส่งผลต่อระบบนิเวศในน้ำ (Eutrophication Potential (EP)	-	-	0.42	-	0.13	0.022	-
การทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโต้ออกซิเดชั่น (Photo-oxidant formation (POCP)	-	0.06	-	0.048	0.028	-	-
ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity (HTP)	-	-	-	0.096	1.2	-	0.22
การเกิดฝนกรด (Acidification (AP)	-	-	-	1.2	-	-	1.88

ตารางภาคผนวก ก-4 ค่าผลกระทบของพลังงานทดแทน

ชื่อ	**ค่าแฟคเตอร์ (Kg CO_2 eq/หน่วย)**
Diesel (น้ำมันดีเซล / น้ำมันโซล่าร์)	0.3282
Fuel oil (น้ำมันเตา)	0.3075
Liquefied Petroleum Gas, LPG Mixed (ก๊าซหุงต้ม mixed)	0.4122

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการคำนวณการประเมินวัฏจักรชีวิต

ตารางภาคผนวก ข-1 การคำนวณการประเมินวัฏจักรชีวิตของสิ่งแวดล้อมของการผลิตก๊าซชีวภาพ

รายการ	หน่วย	ค่า LCI ปริมาณ	ปริมาณ/ FU	ค่า EF GWP (kgCO2 eq./ หน่วย)	EP(kg PO43- eq/kg)	POCP(in kg ethylene	HTP	Ap(kg SO_2 eq/kg)	ผลคูณ GWP	ผลคูณ EP	ผลคูณ POCP	ผลคูณ HTP	ผลคูน Ap
Input													
น้ำเสีย	m^3/y	1.31E+05	4.81E-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOD	kg/l	1.65E-02	6.09E-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COD	kg/l	1.63E-02	6.01E-09	0	2.20E-02	0	0	0	0	1.32E-10	0	0	0
Output				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ก๊าซชีวภาพ	kg/y	2.71E+06	1.00E+00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH_4	kg/y	1.55E+06	5.70E-01	2.50E+01	0	6.00E-03	0	0	1.43E+01	0	3.42E-03	0	0
CO_2	kg/y	1.09E+06	4.00E-01	1.00E+00	0	0	0	0	4.00E-01	0	0	0	0
H_2S	kg/y	2.71E+04	1.00E-02	0	0	0	2.20E-01	1.88E+00	0	0	0	2.20E-03	1.88E-02
N_2	kg/y	5.43E+04	2.00E-02	0	4.20E-01	0	0	0	0	8.40E-03	0	0	0
ของเสีย			0.00E+00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
น้ำทิ้ง	m^3/y	1.31E+05	4.81E-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOD	kg/l	2.10E-04	7.74E-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COD	kg/l	7.49E-04	2.76E-10	0	2.00E-03	0	0	0	0	5.52E-13	0	0	0
									1.47E+01	**8.40E-03**	**3.42E-03**	**2.20E-03**	**1.88E-02**

ตารางภาคผนวก ข-2 การคำนวณการประเมินวัฏจักรชีวิตของสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้า

รายการ	หน่วย	ค่า LCI ปริมาณ	ปริมาณ/FU	ค่า EF GWP (kgCO2 eq./หน่วย)	EP(kg PO43- eq/kg)	POCP(in kg ethylene	HTP	Ap(kg SO_2 eq/kg)	ผลคูณ GWP	ผลคูณ EP	ผลคูณ POCP	ผลคูณ HTP	ผลคูน Ap
Input													
ก๊าซชีวภาพ	kg/y	2.71E+06	1.43E+00	0	0	0	0	0	1.47E+01	8.40E-03	3.42E-03	2.20E-03	1.88E-02
Output				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ไฟฟ้า	kwh/y	1.90E+06	1.00E+00	6.09E-01	0	0	0	0	6.09E-01	0	0	0	0
ของเสีย				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO_2	kg/y	4.25E+06	2.23E+00	1.00E+00	0	0	0	0	2.23E+00	0	0	0	0
N_2	kg/y	5.43E+04	2.85E-02	0	4.20E-01	0	0	0	0	1.20E-02	0	0	0
NO_2	kg/y	1.78E+05	9.37E-02	0	0.1300	0.0280	1.2000		0	1.22E-02	2.62E-03	1.12E-01	0
SO2	kg/y	5.11E+04	2.68E-02	0	0	0.0480	0.0960	1.2000	0	0	1.29E-03	2.58E-03	3.22E-02
									1.75E+01	**3.26E-02**	**7.33E-03**	**1.17E-01**	**5.10E-02**

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณศักยภาพด้านพลังงาน

ก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. เทียบเท่าก๊าซแอลพีจี 0.46 กก.

ก๊าซชีวภาพ 5,543 ลบ.ม./วัน เทียบเท่าก๊าซแอลพีจี 0.46 X 5543 = 2,549.78 กก.

คิดเป็นเงินที่ประหยัด= 2,549.78 X 20.69 = 53,443.38 บาท/วัน

หมายเหตุ ราคาก๊าซแอลพีจี ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2560 ราคา 20.69 บาท/กก.

ก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. เทียบเท่าน้ำมันดีเซล 0.6 ลิตร

ก๊าซชีวภาพ 5,543 ลบ.ม./วัน เทียบเท่าน้ำมันดีเซล 0.6 X 5543 = 3,325.8 ลิตร

คิดเป็นเงินที่ประหยัด= 3,325.8 X 24.79 = 82,446.58 บาท/วัน

หมายเหตุ ราคาน้ำมันดีเซล ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2560 ราคา 24.79 บาท/ลิตร

ก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. เทียบเท่าน้ำมันเตา 0.55 ลิตร

ก๊าซชีวภาพ 5,543 ลบ.ม./วัน เทียบเท่าน้ำมันเตา 0.55 X 5543 = 3,048.65 ลิตร

คิดเป็นเงินที่ประหยัด= 3,048.65 X 10.2778 = 31,333.41 . บาท/วัน

หมายเหตุ ราคาน้ำมันเตา ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2560 ราคา 10.2778 บาท/ลิตร

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

$BE_{ww,treatment,y} = Q_{ww,PJ,y} X (COD_{inf, PJ, WWTP} - COD_{eff, PJ, WWTP}) X MCF_{BL} X UF_{BL} X B_O X GWP_{CH4,Y} X 10^{-6}$

พารามิเตอร์	ความหมาย	หน่วย	ค่า
$Q_{ww,PJ,y}$	ปริมาณน้ำเสียของโครงการที่เข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ในปี y	m^3/year	130,670
$COD_{inf, PJ, WWTP}$	ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียที่เข้าสู่กระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ ในปี y	mg/l	16,317
$COD_{inf, PJ, WWTP}$	ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ในปี y	mg/l	749
MCF_{BL}	ค่า Methane Correction Factor ของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในกรณีฐาน		0.89
UF_{BL}	ค่า Model Correction Factor สำหรับความไม่แน่นอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในกรณีฐาน		0.80 Default
B_O	อัตราการสร้างก๊าซมีเทนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	$kgCH_4$/ $KgCOD_{removel}$	0.25
$GWP_{CH4,Y}$	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซมีเทน	tCo_2e/tCH_4	25
$BE_{WW,treatment,y}$	การปล่อยก๊าซเรือยกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในปี y	tCo_2/year	9,052.50

ดังนั้น $BE_y = BE_{WW,treatment,y}$

$= 9,052.50\ tCo_2/year$

2. คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาทำลายก๊าซชีวภาพ

$PE_y = PE_{leak,y} + PE_{flare,y}$

โดยที่ PE_y = การปล่อยก๊าซเรือยกระจกจากการดำเนินโครงงานในปี y (tCO_2e/year)

$PE_{leak,y}$ = การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากก๊าซชีวภาพที่รั่วไหลจากระบบเก็บรวบรวม/กักเก็บในปี y (tCO_2e/year)

$PE_{flare,y}$ = การปล่อยก๊าซเรือยกระจกจากการเผาทำลายก๊าซชีวภาพ (tCO_2e/year)

2.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากก๊าซชีวภาพที่รั่วไหลจากระบบเก็บรวบรวม/กักเก็บ

$PE_{leak,y} = Q_{ww,treatment,y} \times (COD_{inf,PJ,WWTP} - COD_{eff,PJ,WWTP}) \times MCF_{PJ} \times (1 - CFE) \times UF_{PJ} \times B_O \times GWP_{CH4,Y} \times 10^{-6}$

พารามิเตอร์	ความหมาย	หน่วย	ค่า
$Q_{ww,treatment,y}$	ปริมาณน้ำเสียของโครงการที่เข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ในปี y	m^3/year	130,670
$COD_{inf,PJ,WWTP}$	ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียที่เข้าสู่กระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ ในปี y	mg/l	16,317
$COD_{inf,PJ,WWTP}$	ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ในปี y	mg/l	749
MCF_{PJ}	ค่า Methane Correction Factor ของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศของโครงการ		0.80 Default
CFE	ประสิทธิภาพของระบบกักเก็บมีเทนสำหรับกระบวนการ		0.90 Default
UF_{PJ}	ค่า Model Correction Factor สำหรับความไม่แน่นอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศของโครงการ		1.12
B_O	อัตราการสร้างก๊าซมีเทนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	$kgCH_4$/ $KgCOD_{removel}$	0.25
$GWP_{CH4,Y}$	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซมีเทน	tCo_2e/tCH_4	25
$PE_{leak,y}$	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากก๊าซชีวภาพที่รั่วไหลจากระบบเก็บรวบรวม/กักเก็บในปี y	tCo_2/year	1,139.19

2.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาทำลายก๊าซชีวภาพ

$PE_{flare,y} = V_{CH4,biogas,y} X (1 – FE) X GWP_{CH4,y}$

พารามิเตอร์	ความหมาย	หน่วย	ค่า
$V_{CH4,biogas,y}$	ปริมาณก๊าซมีเทนที่เข้าสู่ระบบเผาทำลายในปี y	tCH_4/year	1547.05
FE	ค่าประสิทธิภาพในการเผาทำลายก๊าซมีเทนของระบบเผาทำลาย ในปี y	Open flare eff = 0.5 Emclosed flare eff = 0.9	0.9
$GWP_{CH4,y}$	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซมีเทน	tCo_2e/tCH_4	25
$PE_{flare,y}$	การปล่อยก๊าซเรือยกระจกจากการเผาทำลายก๊าซชีวภาพ	tCo_2/year	3,867.62

$PE_y = PE_{leak,y} + PE_{flare,y}$

$= 1,139.19 + 3.867.62$

$= 5,006.81\ tCo_2/year$

การลดปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Reduction)จากการดำเนินโครงการสามารถประเมินได้ดังนี้

$ER_y = BE_y - PE_y$

$= 9,052.50 - 5,006.81$

$= 4,045.69\ tCo_2/year$