

การประยุกต์ใช้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) เพื่อควบคุม
กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษา โรงงานผลิตแอมโมเนีย

อดิสรณ์ มะซอ

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย สาขาการจัดการอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น
ปีการศึกษา 2553

IMPLEMENTATION OF OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE)
TO CONTROL THE BIOGAS PROCESS
A CASE STUDY OF STRACH FACTORY

Adisorn Masaw

A Term Paper Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Business Administration Program in Industrial Management
Graduate School
Thai – Nichi Institute of Technology
Academic Year 2010

หัวข้อสารนิพนธ์	การประยุกต์ใช้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษา โรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับปุ๋ย
โดย	อดิสรณ์ มะซอ
สาขาวิชา	การจัดการอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์	ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์
(ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน)

..... ประธานคณะกรรมการหลักสูตร
(ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน)

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

อดิสรณ์ มะซอ : การประยุกต์ใช้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษา โรงงานผลิตแอมโมเนียปัสเปหลัง.
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน, 73 หน้า.

งานศึกษานี้ศึกษาการนำค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานผลิตแอมโมเนียปัสเปหลัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ และเพิ่มสมรรถนะของกระบวนการโดยนำค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรมาเป็นดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลัก (KPI) ของกระบวนการผลิต ทั้งนี้ วิธีการประยุกต์ใช้จะต้องศึกษาและค้นหาความสูญเสียหลัก 7 ประการในกระบวนการผลิต และแยกประเภทของความสูญเสียเข้าสู่องค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการเพื่อนำไปคำนวณค่า OEE สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งหลังจากคำนวณค่า OEE แล้ว คือ การหากลยุทธ์ในการเพิ่มค่า OEE ซึ่งจะนำไปสู่การเพิ่มสมรรถนะของกระบวนการผลิตในท้ายที่สุด

ผลการศึกษาและการประเมินความคิดเห็นของหน่วยงานที่เข้าไปดำเนินการศึกษา ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การศึกษานี้ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ โดยค่า OEE ของเครื่องกำเนิดความร้อนและเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยที่ ร้อยละ 86 และ ร้อยละ 77 ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของค่า OEE ทำให้สามารถเพิ่มสมรรถภาพรวมของทั้งกระบวนการและสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตได้ทั้งของทั้งเครื่องกำเนิดความร้อนและเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า อีกทั้งการปฏิบัติงานของพนักงานมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นโดยสามารถควบคุมดูแลระบบได้อย่างดีและแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็ว

บัณฑิตวิทยาลัย
 สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม
 ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ADISORN MASAW : IMPLEMENTATION OF OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) TO CONTROL THE BIOGAS PROCESS : A CASE STUDY OF STRACH FACTORY. ADVISOR : DR. DUMRONGKIAT RATANA-AMORNPIN, 73 PP.

This paper studies the Overall Equipment Effectiveness (OEE) applied for the manufacturing case. The major objective is to reduce the loss in biogas production process from wastewater of cassava factory and to increase the performance of process. The OEE value will be applied for the KPI and monitored the production process. The 7 big loss categories were investigated and separated into 3 OEE loss categories. After the calculation of OEE completed, the strategy of increasing OEE would be studied and implemented to improve the OEE. The performance of process will be increased eventually.

The study's result and recommendation were passed to concerned personnel. The result of this paper was achieved to the objective by observation on the OEE parameter. The average OEE of Heater and Generator were 86% and 77%, respectively. The increase of OEE made the high efficiency of overall process and the high production of both Heater and Generator. The performances of staffs were highly efficient.

Graduate School

Field of Study Industrial Management

Academic Year 2010

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจาก ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดต่างๆอันเป็นประโยชน์ในการศึกษามา โดยตลอดจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณพนักงานบริษัท โคราซ เวสท พูเอ็นเนอร์ยี จำกัด ทุกคนที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือให้ข้อคิดเพื่อการพัฒนาปรับปรุงระบบการเก็บข้อมูลค่า OEE และบริษัท สงวนวงษ์ อุตสาหกรรม จำกัด ที่อำนวยความสะดวกและให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูล

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ภรรยา และลูกๆที่คอยให้กำลังใจและเข้าใจ ด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

อดิสรณ์ มะซอ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
 บทที่	
1 บทนำ.....	1
สภาวะความเป็นมา แนวทางเหตุผล และปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ในการทำสารนิพนธ์.....	3
ขอบเขตของการทำสารนิพนธ์.....	4
ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน.....	5
2 หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
หลักการพื้นฐานในเรื่อง OEE.....	7
ความหมายของค่า OEE.....	7
สาเหตุการลดลงขององค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE.....	8
ขั้นตอนการหาค่า OEE.....	10
หลักการพื้นฐานในเรื่องก๊าซชีวภาพ.....	14
ความหมายของก๊าซชีวภาพ.....	14
กลไกของการเกิดก๊าซชีวภาพ.....	14
ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	17
การควบคุมและติดตามการทำงานของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	17
การสำรวจงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	18

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

3	วิธีการดำเนินงานสารนิพนธ์.....	24
	การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัจจุบัน.....	25
	การศึกษาและรวบรวมข้อมูลของกระบวนการ.....	25
	การศึกษาที่มาของปัญหา สาเหตุ ที่ทำให้เกิดปัญหา.....	26
	การออกแบบวิธีการที่จะแก้ปัญหา กำหนดแนวทางที่เหมาะสม.....	29
	การวิเคราะห์กระบวนการผลิต.....	30
	การออกแบบแบบฟอร์มเพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อคำนวณค่า OEE.....	37
	การสรุปผล วิเคราะห์และการนำเสนอ.....	40
	การตั้งมาตรฐานชี้วัดสมรรถนะหลักจากค่า OEE.....	42
	การพัฒนากลยุทธ์เพื่อปรับปรุงและเพิ่มค่า OEE.....	43
4	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	49
	สรุปผลการวิเคราะห์.....	49
	ข้อเสนอแนะ.....	51
	ประโยชน์ที่ได้จากการทำสารนิพนธ์.....	51
	บรรณานุกรม	53
	ภาคผนวก	58
	ภาคผนวก ก. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	59
	ภาคผนวก ข. การควบคุมและติดตามการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	66
	ประวัติผู้เขียนสารนิพนธ์.....	73

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน.....	5
2	ความสูญเสียหลัก 7 ประการในกระบวนการผลิต.....	7
3	ลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากคน.....	21
4	ลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากวิธีการทำงาน.....	21
5	ลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องจักร.....	21
6	กลุ่มความสูญเสียตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE.....	32
7	แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหาความพร้อมใช้งาน.....	37
8	ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหาความพร้อมใช้งาน.....	38
9	แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหาสมรรถนะ.....	38
10	ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหาสมรรถนะ.....	39
11	แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหาคุณภาพ.....	39
12	ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหาคุณภาพ.....	40
13	แบบฟอร์มการหาค่า OEE.....	40
14	แบบฟอร์มบันทึกค่า OEE ของเดือนพฤศจิกายน 2553.....	41
15	แผนกลยุทธ์ในการเพิ่มค่า OEE.....	44
16	ค่า OEE เฉลี่ยแยกตามภาระการใช้งาน.....	49
17	ปริมาณผลผลิตที่ได้เมื่อใช้ค่า OEE ในการควบคุมกระบวนการ.....	50
18	สารอาหารที่ขาดที่เรียกร้องการในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ.....	63
19	สารพิษที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบ.....	64

สารบัญรูป

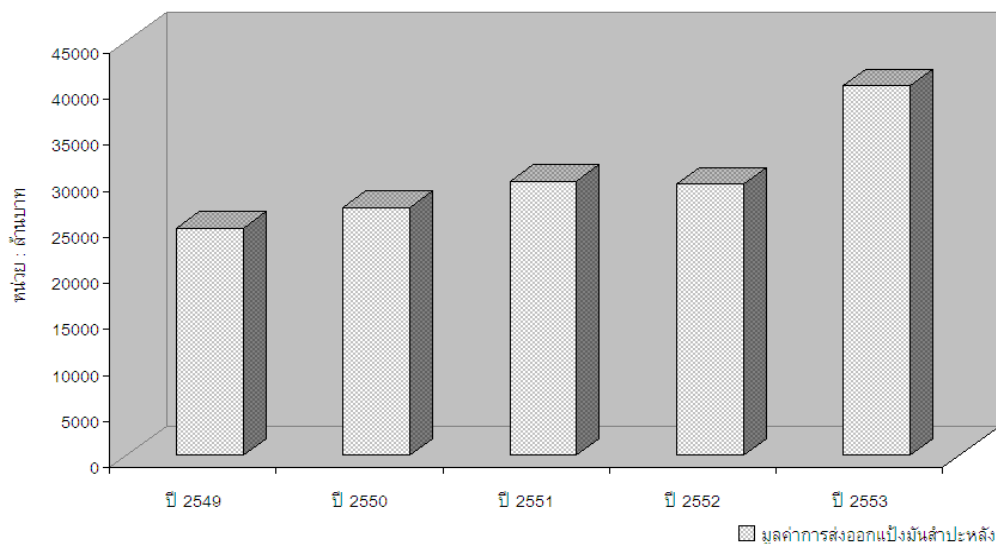
รูป		หน้า
1	มูลค่าการส่งออกแ่งมันสำปะหลังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2553.....	1
2	ค่าเฉลี่ยต้นทุนการผลิตในกระบวนการผลิตของโรงงานแ่งมันสำปะหลัง.....	2
3	ผลผลิตที่ออกมา (Output) จากเครื่องจักรเดียว.....	10
4	ผลผลิตที่ออกมา (Output) จากกลุ่มเครื่องจักรเรียงกันเป็นสายผลิต.....	10
5	ผลผลิตที่ออกมา (Output) จากกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง.....	11
6	องค์ประกอบของ OEE และความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร.....	12
7	กลไกการสร้างก๊าซชีวภาพในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	15
8	กระบวนการและขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพโรงงานกรณีศึกษา.....	24
9	แสดงผังองค์กรของแผนกควบคุมการผลิตก๊าซชีวภาพและกระแสไฟฟ้า.....	26
10	การไหลของกระบวนการผลิตและจัดส่งก๊าซชีวภาพและไฟฟ้า.....	27
11	จำนวนครั้งในการเกิดปัญหาในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพในรอบ 3 ปี.....	28
12	ผลสำรวจความพึงพอใจลูกค้าในรอบ 3 ปี.....	29
13	ผลผลิตที่ออกมาจากกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง.....	30
14	ข้อมูลความสูญเสียรูปแบบต่างๆในรอบ 3 ปี.....	31
15	การเปรียบเทียบความสูญเสียในกลุ่มต่างๆของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าและเครื่อง กำเนิดความร้อน.....	41
16	รูปแบบและการจัดเรียงของถังปฏิกริยาประเภทต่างๆ.....	59
17	ผลของอุณหภูมิการหมักที่มีผลต่ออัตราการเจริญจำเพาะของจุลินทรีย์สร้างมีเทน	62
18	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต่างในรูปไบคาร์บอเนต สัดส่วนของคาร์บอนไดออก ไซด์ ในก๊าซที่ผลิตได้ (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ) และค่าพีเอชของถังปฏิกริยา ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	70

บทที่ 1

บทนำ

สภาวะความเป็นมา แนวทางเหตุผล และปัญหา

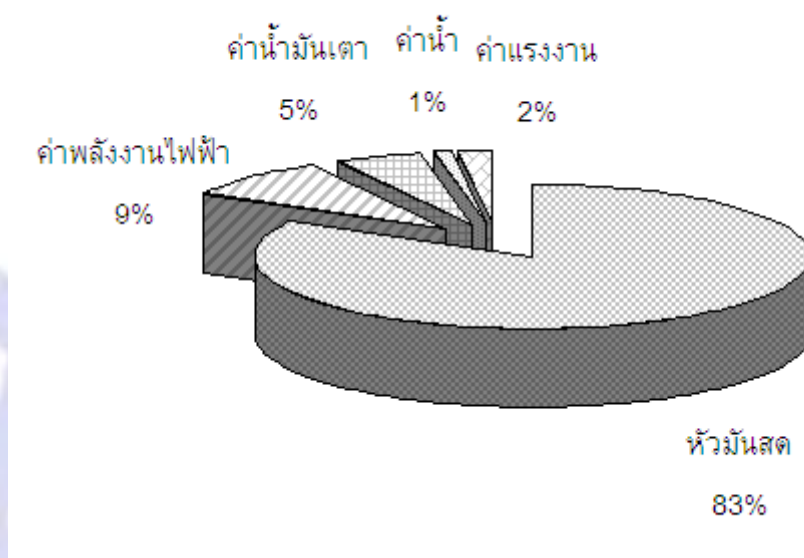
โรงงานผลิตแ่งมันสำปะหลังมีบทบาทที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างมากสามารถส่งออกและนำรายได้เข้าประเทศปีละมากกว่า 30,000 ล้านบาท ปัจจุบันพบว่าประเทศไทยมีโรงงานผลิตแ่งมันสำปะหลังจำนวนทั้งสิ้น 93 โรงงาน จากการสำรวจข้อมูลจากสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมโรงงานอุตสาหกรรม ประเทศไทยมีฐานะเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่เป็นอันดับหนึ่งของโลก ความต้องการในการใช้แ่งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้องการใช้ในตลาดโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น จากการสำรวจข้อมูลสถิติการส่งออกแ่งมันสำปะหลัง พบว่า การส่งออกแ่งมันสำปะหลังมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นทุกปี ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 มูลค่าการส่งออกแ่งมันสำปะหลัง ปี พ.ศ. 2549-2553

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2554) มูลค่าการส่งออกแ่งมันสำปะหลัง. ออนไลน์.

จากผลกระทบของสภาวะเศรษฐกิจที่ชะลอตัวในปัจจุบัน ประกอบกับราคาของพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ต้นทุนในการผลิตของโรงงานเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้น โรงงานต่างๆ จึงเริ่มหันมาให้ความสนใจกับเรื่องการลงทุนการผลิตซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มกำไรของบริษัทและเป็นอีกทางรอดหนึ่งของธุรกิจในยุคเศรษฐกิจตกต่ำ และเพิ่มศักยภาพการแข่งขัน ในช่วงที่เศรษฐกิจรุ่งเรือง คุณกวี ตันติวงษ์ (2553 : สัมภาษณ์) กรรมการผู้จัดการบริษัท สงวนวงษ์ จำกัด ผู้ดำเนินธุรกิจแปรรูปและส่งออกแป้งมันสำปะหลังอันดับหนึ่งของเมืองไทยได้กล่าวถึงรายละเอียดของต้นทุนในการผลิตว่า ร้อยละ 83 ของต้นทุนการผลิตคือค่าราคาของหัวมันสด ส่วนที่เหลือ คือค่าพลังงานไฟฟ้าซึ่งคิดเป็นร้อยละ 9 ค่าน้ำมันเตาคิดเป็นร้อยละ 5 ค่าน้ำคิดเป็นร้อยละ 1 และค่าแรงงานคิดเป็นร้อยละ 2 แสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ยต้นทุนการผลิตในกระบวนการผลิตของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

ในการดำเนินกิจกรรมลดต้นทุนในการผลิตจะทำการศึกษาด้านต้นทุนที่มีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตรวม ซึ่งต้นทุนหัวมันมีสัดส่วนที่มากที่สุด ค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นลำดับรองลงมาคิดเป็นร้อยละ 14 ค่าแรงงานและค่าน้ำเป็นสัดส่วนอีกเพียงเล็กน้อย แต่ในการดำเนินธุรกิจ ต้นทุนหัวมันสดเป็นต้นทุนที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงและไม่สามารถควบคุมได้ เพราะเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในกระบวนการผลิต ดังนั้นต้นทุนด้านพลังงานจึงเป็นต้นทุนที่สามารถนำมาดำเนินกิจกรรมการลดต้นทุนเพราะเป็นกิจกรรมที่สามารถควบคุมได้ด้วยเทคโนโลยี และกระบวนการจัดการ

ปัจจุบันโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังหลายๆ โรงงานได้นำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในขบวนการมาประยุกต์ใช้เพื่อบำบัดน้ำเสีย และก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

สามารถนำมาใช้ทดแทนการใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าและน้ำมันเตาอีกด้วย ซึ่งสามารถลดต้นทุนรวมของการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บริษัทที่เป็นกรณีศึกษาในสารนิพนธ์นี้เป็นโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังที่มีกำลังการผลิตสูงถึงประมาณ 2,400 ตันต่อวัน ร้อยละ 80 ของแบริ่งมันที่ผลิตได้ถูกส่งออก โดยมีตลาดหลักอยู่ที่ประเทศจีน อินโดนีเซีย มาเลเซีย และบางประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้ถูกดำเนินการตั้งแต่กลางปี 2546 จนถึงปัจจุบัน หลังดำเนินการก่อสร้างและติดตั้งระบบ บริษัทที่เป็นกรณีศึกษาสามารถประหยัดต้นทุนค่าพลังงานทันที ร้อยละ 20 ทำให้ประหยัดเงินค่าพลังงานไม่น้อยกว่าเดือนละ 1 ล้านบาท ขณะเดียวกันปริมาณก๊าซชีวภาพที่เหลือสามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine) ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการเดินเครื่อง มีกำลังการผลิตขนาด 3 เมกะวัตต์ต่อชั่วโมง กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ถูกนำมาใช้ภายในโรงงาน สามารถลดการนำเข้าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ถึงร้อยละ 50 ของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ภายในโรงงานทั้งหมด คิดเป็นมูลค่าไม่น้อยกว่าเดือนละ 5 ล้านบาท หรือ 60 ล้านบาทต่อปี

การควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่จะเน้นการควบคุมกระบวนการด้านชีวภาพ (Biological Process) เนื่องจากเป็นกระบวนการหลักที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ จนอาจทำให้เกิดการละลายต่อระบบควบคุมด้านอื่นๆ เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบอิเล็กทรอนิกส์ และการควบคุมเครื่องจักร

ด้วยเหตุนี้การศึกษาการนำหลักการคิดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE : Overall Equipment Effectiveness) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งกระบวนการตั้งแต่รับวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการส่งมอบให้เครื่องกำเนิดความร้อนและเครื่องผลิตไฟฟ้า การคิดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเป็นวิธีการที่ดีวิธีหนึ่งที่นอกจากจะทำให้รู้ถึงประสิทธิผลของเครื่องจักรแล้วยังทำให้รู้ถึงสาเหตุแห่งความสูญเสียที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถแยกประเภทการสูญเสียและทราบถึงสาเหตุของความสูญเสียนั้น อันจะนำไปสู่การปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องและเป็นระบบ

วัตถุประสงค์ในการทำสารนิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการนำหลักคิดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรมาควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
2. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคิดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร รวมถึงหาวิธีแก้ไขและป้องกันเพื่อเพิ่มสมรรถภาพของกระบวนการ
3. นำค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรมาเป็นดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลัก (Key Performance Index : KPI)

ขอบเขตของการทำสารนิพนธ์

1. ศึกษาโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพเป็นกรณีศึกษา
2. ศึกษารายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ ขั้นตอน กระบวนการทรัพยากรที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอนการผลิตของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ตั้งแต่การเข้ามาของวัตถุดิบ จนถึงการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์
3. ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบหลักทั้ง 3 ส่วน ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร
 - 3.1 ความพร้อม (Availability)
 - 3.2 สมรรถนะ (Performance)
 - 3.3 คุณภาพ (Quality)
4. ศึกษาแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบหลักทั้ง 3 เพื่อเพิ่มสมรรถภาพรวมของทั้งกระบวนการ
5. ศึกษาการนำค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรมาเป็นดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลัก

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษากระบวนการคิดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษากระบวนการผลิตของแต่ละขั้นตอน ระยะเวลา และทรัพยากรที่เกี่ยวข้องในแต่ละกระบวนการผลิตโดยละเอียด
3. ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบหลักทั้ง 3 ส่วนที่มีผลกระทบต่อค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร
4. ออกแบบการเก็บข้อมูลปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบหลักทั้ง 3 ส่วนที่มีผลกระทบต่อค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร
5. การคำนวณหาค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร
6. ตั้งค่ามาตรฐานดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลักจากค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร
7. แก้ไขปรับปรุงกระบวนการที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบหลักทั้ง 3
8. สรุปผลการศึกษาและเสนอแนะ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้หลักคิดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรมาควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
2. เป็นแนวทางและกรอบความคิดในการวางแผนกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ

3. เพื่อเพิ่มประสิทธิผลในการควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
4. เป็นแนวทางและกรอบการทำงานในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของบริษัทตัวอย่างในอนาคต
5. ช่วยให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า

แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน

ตารางที่ 1 แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน

ลำดับที่	ขั้นตอนการดำเนินการ	2553		2554		
		พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
1	นำเสนอหัวข้อสารนิพนธ์	↔				
2	ศึกษากระบวนการผลิตของแต่ละขั้นตอนระยะเวลา และทรัพยากรที่เกี่ยวข้องในแต่ละกระบวนการผลิตโดยละเอียด	↔				
3	วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบหลักพื้นฐาน 3 ประการของค่า OEE 3.1 ความพร้อม (Availability) 3.2 สมรรถนะ (Performance) 3.3 คุณภาพ (Quality)		↔			
4	จัดทำแบบฟอร์มบันทึกค่าองค์ประกอบหลักพื้นฐาน 3 ประการของค่า OEE เพื่อนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร			↔		
5	วิเคราะห์และสรุปผล				↔	
6	จัดทำรูปเล่มสารนิพนธ์					↔

บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการพื้นฐานในเรื่อง OEE

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ความหมายของ OEE
2. สาเหตุการลดลงขององค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE
3. ขั้นตอนการหาค่า OEE

ความหมายของค่า OEE

OEE เป็นคำที่ย่อมาจาก Overall Equipment Effectiveness หรือเรียกภาษาไทยว่า "ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร" เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงสมรรถนะของโรงงานที่ใช้เครื่องจักรเป็นหลักในกระบวนการผลิตนอกจากนี้ค่า OEE ยังเป็นค่าที่ใช้ในการวัดผลหลักของแนวทางการปรับปรุงที่ชื่อว่า “การบำรุงรักษาทีละขั้นแบบทุกคนมีส่วนร่วม” (Total Productive Maintenance: TPM) อีกด้วย (ธานี อ่วมอ้อ. 2547 : 17) ค่า OEE สามารถทำให้รู้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรแล้วยังรู้ถึงสาเหตุของความสูญเสียที่เกิดขึ้นในภาพใหญ่คือ สามารถแยกประเภทการสูญเสียและรายละเอียดของสาเหตุนั้น ทำให้สามารถปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องและเป็นระบบ

ค่า OEE เป็นผลที่ได้จากการนำองค์ประกอบ 3 ค่า คูณกันดังนี้

1. ความพร้อมใช้งาน (Availability) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานที่เป็นไปได้ (Potential Operating Time) กับเวลาที่เครื่องจักรใช้ในการผลิตจริง
2. สมรรถนะ (Performance) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตจริงที่ทำได้กับผลผลิตที่เครื่องจักรควรผลิตได้ในช่วงเวลาเดียวกัน
3. คุณภาพ (Quality) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิต และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า

$$\begin{array}{ccccccc} \text{ประสิทธิภาพโดยรวม} & = & \text{ความพร้อมใช้งาน} & \times & \text{สมรรถนะ} & \times & \text{คุณภาพ} \\ \text{(OEE)} & & \text{(Availability)} & & \text{(Performance)} & & \text{(Quality)} \end{array}$$

หลักการของ OEE จะเป็นการวัดผ่านค่าความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร (Equipment-Related Losses) แบ่งความสูญเสียในกระบวนการผลิตออกเป็น 7 ประเภท หลัก

ความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรประเภทต่างๆซึ่งมีความสำคัญต่อ OEE นั้นจะเชื่อมโยงกับองค์ประกอบพื้นฐานทั้ง3ที่ใช้วัดค่า OEE โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ดังแสดงในตารางที่ 2 (นาคาชิมะ, เซอิจิ; และ ชิโรเซะ คุมิโอะ. 2550 : 32-40)

ตารางที่ 2 ความสูญเสียหลัก 7 ประการในกระบวนการผลิต

ความสูญเสียหลัก 7 ประการ	องค์ประกอบ พื้นฐาน 3 ประการของ OEE	ตัวอย่างของ เหตุการณ์	ข้อสังเกต
1.การเกิดเหตุขัดข้อง ของเครื่องจักร (Machine Breakdowns)	ความพร้อมใช้งาน	• เครื่องมือหรืออุปกรณ์ชำรุด • การซ่อมบำรุงที่ไม่ได้วางแผน • เครื่องจักรขัดข้อง	กฎเกณฑ์ในการแยกแยะระหว่างเครื่องจักรเสียกับการหยุดเล็กน้อยขึ้นอยู่กับนิยามของแต่ละองค์กร
2.เวลาที่ใช้ในการติดตั้ง เครื่องจักร (Setups and Adjustments)	ความพร้อมใช้งาน	• การปรับแต่งเครื่องจักรหลังเปลี่ยนรุ่นการผลิต • ขาดแคลนวัตถุดิบ • เวลาการอุ่นเครื่อง	ความสูญเสียนี้มักถูกแก้ไขผ่านโครงการ การลดเวลาในการตั้งเครื่อง (Setup Time Reduction Program)
3.ความสูญเสียจากการเปลี่ยนใบมีด (Cutting-Blade Loss)	ความพร้อมใช้งาน	• เปลี่ยนใบมีดตามกำหนด • เปลี่ยนใบมีดอย่างฉับพลัน	ความสูญเสียนี้มักถูกมองข้าม เพราะค่าใช้จ่ายที่สูญเสียค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับความสูญเสียอื่น
4.การหยุดเครื่องเล็กน้อย (Idling and Minors Stoppage)	สมรรถนะ	• รอวัตถุดิบป้อน • ชิ้นส่วนติดขัด • การขนส่งติดขัด	ความสูญเสียนี้มักถูกนิยามว่าเป็นการเสียที่ใช้เวลาน้อยกว่า 5 นาที

ตารางที่ 2 ความสูญเสียหลัก 7 ประการในกระบวนการผลิต (ต่อ)

ความสูญเสียหลัก 7 ประการ	องค์ประกอบ พื้นฐาน 3 ประการของ OEE	ตัวอย่างของ เหตุการณ์	ข้อสังเกต
5. ความเร็วในการ เดินเครื่องที่ลดลง (Speed Losses)	สมรรถนะ	• เครื่องจักรมี ความเร็ว / Cycle Time ต่ำกว่า มาตรฐานที่ได้ กำหนดไว้	ความแตกต่างของ ความเร็วมาตรฐาน กับความเร็วจริงใน การผลิต
6. ของเสียรื้อทำลาย และการแก้ไข ชิ้นงาน (Defects and Reworks)	คุณภาพ	• ของเสียรื้อทำลาย • การแก้ไขงานที่ต่ำ กว่ามาตรฐาน	การปฏิเสธชิ้นงาน เมื่อเครื่องจักรที่ทำ การผลิต เข้าสู่ สภาวะสมดุลแล้ว
7. ความสูญเสียที่ เกิดขึ้นในช่วงแรก ของการเดิน เครื่องจักร (Startup and Yield Loss)	คุณภาพ	• ผลิตภัณฑ์ไม่ได้ ตามมาตรฐาน • ของเสียรื้อทำลาย • การแก้ไขงาน	การปฏิเสธชิ้นงาน เมื่ออุ่นเครื่อง หรือ ช่วงเปลี่ยนรุ่นใน การผลิต

สาเหตุการลดลงขององค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE

การลดลงขององค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการมีผลทำให้ค่า OEE ลดลงซึ่งสามารถ
แบ่งสาเหตุของการลดลงได้ 3 สาเหตุซึ่งแต่ละสาเหตุมีรายละเอียดดังนี้

1. สาเหตุของการลดลงของความพร้อมใช้งาน (Availability)

1.1 การเกิดเหตุขัดข้องของเครื่องจักร ความพร้อมใช้งาน ลดลงเพราะการเกิด
เหตุขัดข้องของเครื่องจักรซึ่งเป็นเรื่องปกติที่เกิดขึ้นในระบบการผลิต เครื่องจักรที่ถูกนำมาใช้
เพื่อทำการผลิตมีชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ (Moving Parts) จำนวนมากและระบบย่อยๆมากมาย
สามารถที่จะเป็นหนึ่งในสาเหตุของความผิดพลาด และเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นเครื่องจักรก็จะ
ขัดข้องและต้องมีการหยุดรอนกว่าจะมีการซ่อมแซมเสร็จ

1.2 เวลาที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องจักร ความพร้อมใช้งาน ยังลดลงเพราะเวลาที่ต้อง
เสียไปกับการติดตั้งเครื่องจักรสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ นอกจากจะต้องเปลี่ยนเพื่อผลิตชิ้นส่วนที่
เพิ่มคุณค่า (Value adding part) แล้ว การปรับเปลี่ยนเครื่องจักรยังต้องมีการเตรียมความ

พร้อมอีกด้วย ซึ่งอาจรวมถึงการทำความสะอาดและการปรับเครื่องจักรเพื่อให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความเสถียร

1.3 ความสูญเสียอันเนื่องมาจากเครื่องตัด การที่เครื่องมือตัดเกิดการชำรุดในระหว่างการทำงานการผลิตเป็นสาเหตุทำให้เครื่องจักรต้องหยุดดำเนินการเพื่อเปลี่ยนใบมีดใหม่โดยไม่ได้มีการวางแผน

1.4 ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเดินเครื่อง ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเดินเครื่อง (Startup Loss) แต่เดิมถูกจัดว่าเป็นความสูญเสียอันเนื่องมาจากของเสีย (Defect Loss) เพราะว่าการเกิดของเสียในช่วงแรกของการเดินเครื่องผลิตถือเป็นเรื่องปกติ อย่างไรก็ตามความสูญเสียที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเดินเครื่องนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียเวลาจนกว่าการผลิตจะดีและมีเสถียรภาพ จึงควรต้องเอาไปลบออกจากเวลาที่พร้อมใช้งาน

1.5 เวลาที่ไม่ได้ถูกกำหนดแผนผลิตไว้ การหยุดเครื่องจักรเพื่อประชุม หรือ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เวลาเหล่านี้จะถูกพิจารณาเป็นเวลาที่ไม่ได้ถูกกำหนดแผนผลิตไว้ (Not Scheduled) และไม่ได้นำไปคิดรวมในอัตราพร้อมใช้งาน แต่บางทฤษฎีมองว่ากิจกรรมต่างๆ เหล่านี้มีความจำเป็นและไปลดเวลาในการผลิตที่มีอยู่ (Available Production Time) เช่นกัน การนับเวลาที่ไม่ได้ถูกกำหนดแผนผลิตไว้ จะเป็นการกระตุ้นให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ในการที่จะลดเวลาดังกล่าว

2. สาเหตุของการลดลงของสมรรถนะ (Performance)

2.1 ความเร็วในการเดินเครื่องที่ต่ำลง เครื่องจักรมักจะเดินเครื่องที่ความเร็วต่ำกว่าที่ถูกออกแบบไว้ เหตุผลหนึ่งที่ทำให้ต้องปฏิบัติงานที่ความเร็วต่ำกว่าก็เพราะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่เสถียร หากทำการผลิตที่ความเร็วที่ถูกออกแบบ หรืออาจเป็นเพราะไม่รู้ว่าคุณค่าความเร็วที่เครื่องจักรถูกออกแบบมา

2.2 การหยุดเครื่องจักรเล็กๆน้อยๆ มักเป็นเหตุการณ์ที่มาขัดจังหวะการไหลของการผลิตโดยที่ไม่ได้ทำให้เครื่องจักรเสียหายจริงๆ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในสายการผลิตที่มีการทำงานแบบอัตโนมัติ การหยุดเครื่องจักรเล็กๆน้อยๆอาจเกิดขึ้นในช่วงเวลาเพียง 2-3 วินาทีเท่านั้นอาจทำให้ไม่มีการบันทึกเวลาเหล่านี้ หากแต่เมื่อรวมเวลาเหล่านี้เข้าด้วยกันมันอาจกลายเป็นความสูญเสียขนาดใหญ่ได้

3. สาเหตุของการลดลงของคุณภาพ (Quality)

3.1 ความสูญเสียอันเนื่องมาจากของเสีย ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าเป็นความสูญเสียอย่างชัดเจน ของเสียที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่เป็นความสูญเสียเปล่าของวัสดุ ถึงแม้ว่าจะสามารถแก้ไขซ่อมแซมได้ ความพยายามที่ต้องใช้ในการดำเนินการแก้ไขก็ยังคงเป็นความสูญเสียที่ต้องเสียทั้งวัสดุ เวลา และแรงงาน

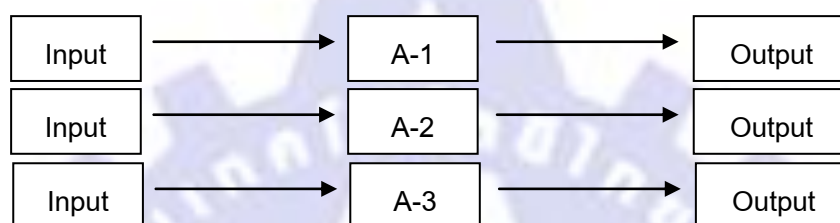
3.2 ความสูญเสียที่เกิดในช่วงแรกของการเดินเครื่องจักร เครื่องจักรจำนวนมากใช้เวลานานในช่วงแรกของการเดินเครื่องจักรเพื่อให้ได้การดำเนินงานที่เหมาะสม ในระหว่างนั้น

เครื่องจักรอาจจะผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียออกมาในขณะที่พนักงานกำลังทดลองผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

ขั้นตอนการหาค่า OEE

ขั้นตอนการหาค่า OEE ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้ (ธานี อ่วมอ้อ. 2547:32-33)

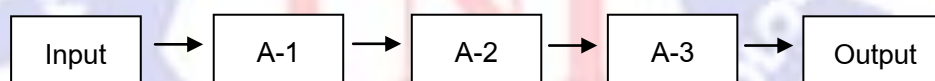
1. การวิเคราะห์กระบวนการผลิต โดยพิจารณาจากผลผลิตที่ออกมา (Output) เป็นหลักว่าออกมาจากเครื่องจักรเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3 หรือออกมาจากเครื่องจักรที่จัดเรียงกันเป็นสายพานการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4 หรือออกมาจากกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 5 ทั้งนี้เพื่อทำการจำกัดขอบเขตของกาวัดค่า OEE



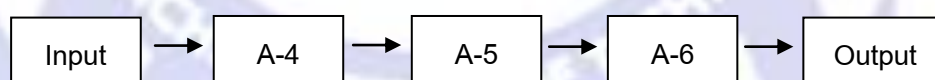
สายการผลิตที่ 1

รูปที่ 3 ผลผลิตที่ออกมา (Output) จากเครื่องจักรเดียว

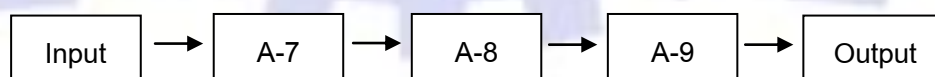
ค่า OEE ในแบบรูปที่ 3 จะมีด้วยกัน 3 ค่า เนื่องจากเครื่องจักรมีทั้งหมด 3 เครื่องซึ่งแต่ละเครื่องมีผลผลิตที่ออกมาเป็นของตัวเอง



สายการผลิตที่ 2

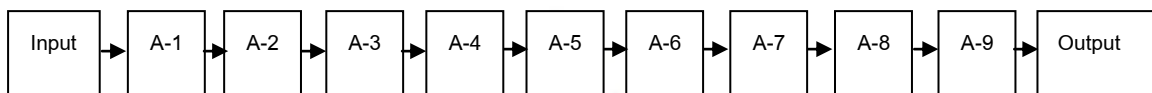


สายการผลิตที่ 3



รูปที่ 4 ผลผลิตที่ออกมา (Output) จากกลุ่มเครื่องจักรเรียงกันเป็นสายผลิต

ค่า OEE ในแบบรูปที่ 4 จะมีด้วยกัน 3 ค่า ถึงแม้ว่าจะมีเครื่องจักรถึง 9 เครื่อง เนื่องจากมีผลผลิตที่ออกมารวมทั้งสิ้น 3 สายการผลิต



รูปที่ 5 ผลผลิตที่ออกมา (Output) จากกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง

ค่า OEE ในรูปแบบที่ 5 จะมีเพียง 1 ค่า ถึงแม้ว่าจะมีเครื่องจักรทั้งหมด 9 เครื่องแต่มีผลผลิตที่ออกมาเพียง 1 ค่าเท่านั้น ค่า OEE ที่ออกมาจะเป็นค่า OEE ของทั้งกระบวนการผลิต

2. เก็บข้อมูลของความสูญเสีย ค่า OEE จะเป็นค่าที่หาได้จากการหาค่าความสูญเสียต่างๆมาหักลบออกจากเวลาที่มีอยู่ ดังนั้นขั้นตอนต่อไปหลังจากมีการจำกัดขอบเขตของการวัดค่า OEE เป็นที่เรียบร้อยแล้ว คือ การเก็บข้อมูลของความสูญเสียต่างๆ

3. หาดัชนีประกอบที่ใช้ในการคำนวณ ตัวประกอบในการคำนวณค่า OEE คือ ความพร้อมใช้งาน สมรรถนะและคุณภาพ การที่จะหาปัจจัยต่างๆดังกล่าวได้ต้องมีการเก็บข้อมูลด้านการผลิตประจำวันเพิ่มเติม เช่น ปริมาณการผลิตในแต่ละวัน ปริมาณของเสียในแต่ละวัน ปริมาณงานที่ต้องกลับไปแก้ไขในแต่ละวัน เวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ค่า OEE ถูกคำนวณมาจากองค์ประกอบทั้ง 3 ซึ่งอยู่ในรูปของเศษส่วนดังแสดงในรูปที่ 6 โดยแถบแต่ละค่านั้นจะแทนเศษส่วนหนึ่งตัว ความพร้อมใช้งาน (B/A) สมรรถนะ (D/C) และคุณภาพ (F/E) เศษส่วนเหล่านี้จะถูกคูณด้วย 100 เพื่อแปลงค่าให้เป็น “เปอร์เซ็นต์” หรือ “อัตรา” (พรเทพ เหลือทรัพย์ สุข; และยุพา กลอนกลาง. 2550 : 40-42)

เวลาปฏิบัติงานรวมทั้งหมด		
A	เวลาปฏิบัติงานสุทธิ	ไม่ได้ถูกกำหนดแผนผลิตไว้
B	เวลาเดินเครื่อง	ความสูญเสียจากเวลาที่ต้องหยุดเดินเครื่องจักร
C	ผลผลิตเป้าหมาย	
D	ผลผลิตจริง	ความสูญเสียเนื่องจากความเร็ว
E	ผลผลิตจริง	
F	ผลผลิตที่เป็นของดี	ความสูญเสียเนื่องจากของเสีย

$$OEE (\%) = \frac{B}{A} \times \frac{D}{C} \times \frac{F}{E} \times 100$$

ความพร้อมใช้งาน สมรรถนะ คุณภาพ

รูปที่ 6 องค์ประกอบของ OEE และความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร

1. ความพร้อมใช้งาน

แถบ A และ B แสดงถึงความพร้อมในการใช้งาน (Availability) โดยที่เวลาที่ไม่ได้ถูกกำหนดแผนผลิตไว้ (Unscheduled Time) ทำให้เวลาปฏิบัติงานรวมทั้งหมด (Total Operating Time) ลดลง ทำให้เหลือเป็นเวลาปฏิบัติงานสุทธิ (Net Operating Time) (A) แต่ในช่วงเวลาที่เหลือก็ยังมีเวลาที่เสียไปจากการหยุดเดินเครื่องอยู่บ่อยๆ ซึ่งปกติก็จะเป็นเพราะเครื่องเสียหรือมีการติดตั้งเครื่องจักร เมื่อลบเวลาที่ต้องหยุดเครื่องจักร (Downtime) ออกไป ก็จะได้เวลาเดินเครื่อง (Running Time) (B) ที่เครื่องจักรใช้ในการผลิต ความพร้อมใช้งานสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{ความพร้อมใช้งาน} = \frac{\text{เวลาเดินเครื่อง (B)}}{\text{เวลาปฏิบัติงานสุทธิ (A)}}$$

2. สมรรถนะ

แถบ C และ D แสดงถึงสมรรถนะ ในช่วงเวลาที่มีการเดินเครื่อง เครื่องจักรจะสามารถผลิตปริมาณที่เป็นไปตามผลผลิตเป้าหมายได้ (C) ถ้าเครื่องจักรสามารถเดินเครื่องได้ตามความเร็วที่ถูกออกแบบมาได้ต่อเนื่องตลอดเวลา แต่ความสูญเสียอย่างเช่น การหยุดเครื่อง เล็กๆน้อยๆ และความเร็วในการเดินเครื่องที่ต่ำกว่ามาตรฐานจะส่งผลให้ผลผลิตจริง (D) ลดลง สมรรถนะสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{สมรรถนะ} = \frac{\text{ผลผลิตจริง (D)}}{\text{ผลผลิตเป้าหมาย (C)}}$$

3. คุณภาพ

แถบ E และ F แสดงถึงคุณภาพ ในผลผลิตจริงที่ได้ (E) นั้น ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นผลผลิตที่เป็นของดี (F) แต่ปกติแล้วผลผลิตบางชิ้นก็ไม่ได้มีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ และต้องถูกนำไปทำลายหรือแก้ไข ในช่วงแรกของการเดินเครื่องมักจะทำให้เกิดของเสียหรือทำลาย (Scrap) จึงทำให้อัตราของดีที่ได้จากวัตถุดิบมีค่าต่ำลง คุณภาพสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{คุณภาพ} = \frac{\text{ผลผลิตที่เป็นของดี (F)}}{\text{ผลผลิตจริง (E)}}$$

4. คำนวณค่า OEE การคำนวณค่า OEE ต้องมีการกำหนดช่วงเวลาที่ จะทำการคำนวณในแต่ละครั้งว่าจะทำทุกวัน ทุกสัปดาห์ หรือทุกเดือน ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการติดตามค่าควรกำหนดแบบฟอร์มในการสรุปการคำนวณค่า OEE

5. สรุปผลวิเคราะห์และการนำเสนอ หลังจากมีการหาค่า OEE แล้วต้องนำผล OEE มาทำการวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบความพร้อมใช้งาน สมรรถนะและคุณภาพในเครื่องจักรเดียวกัน หรือ สายการผลิตเดียวกัน หรือกระบวนการเดียวกันว่า ปัจจัยใด มีค่าต่ำที่สุดเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงปัจจัยนั้นก่อนเพื่อการเพิ่มค่า OEE นอกจากนั้นยังต้องมีการเปรียบเทียบค่า OEE ของแต่ละเครื่อง หรือแต่ละสายการผลิต เพื่อดูว่าเครื่องใด หรือสายการผลิตใดมีค่าต่ำที่สุด เพื่อหาแนวทางปรับปรุงค่า OEE ด้วยเช่นกัน

หลักการพื้นฐานในเรื่องก๊าซชีวภาพ

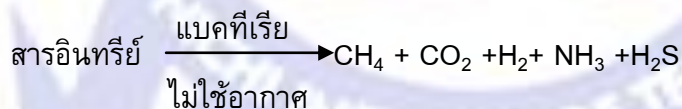
ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ความหมายของก๊าซชีวภาพ
2. กลไกการเกิดก๊าซชีวภาพ
3. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
4. การควบคุมและติดตามการทำงานของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ

ความหมายของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ หรือไบโอแก๊ส คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรีย ภายใต้สภาวะที่ไร้อากาศ ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ (วิกิพีเดีย. 2554ก : ออนไลน์)

สารอินทรีย์ที่ใช้เป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียได้มาจากน้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานผลิตเอทานอล โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง และโรงงานผลิตสุรา เป็นต้น โรงงานเหล่านี้จะใช้น้ำในกระบวนการผลิตปริมาณมากและน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้วจะเปลี่ยนคุณสมบัติจากน้ำดีเป็นน้ำเสีย น้ำเสียเหล่านี้จะเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง และก่อปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นอันมาก การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงจะใช้ระบบการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ การบำบัดแบบนี้จะอาศัยแบคทีเรียที่หายใจด้วยสารที่ไม่ใช้อากาศเป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ เพื่อเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ สามารถแสดงรูปปฏิกิริยาโดยย่อออกมาเป็นรูปแบบสมการดังนี้



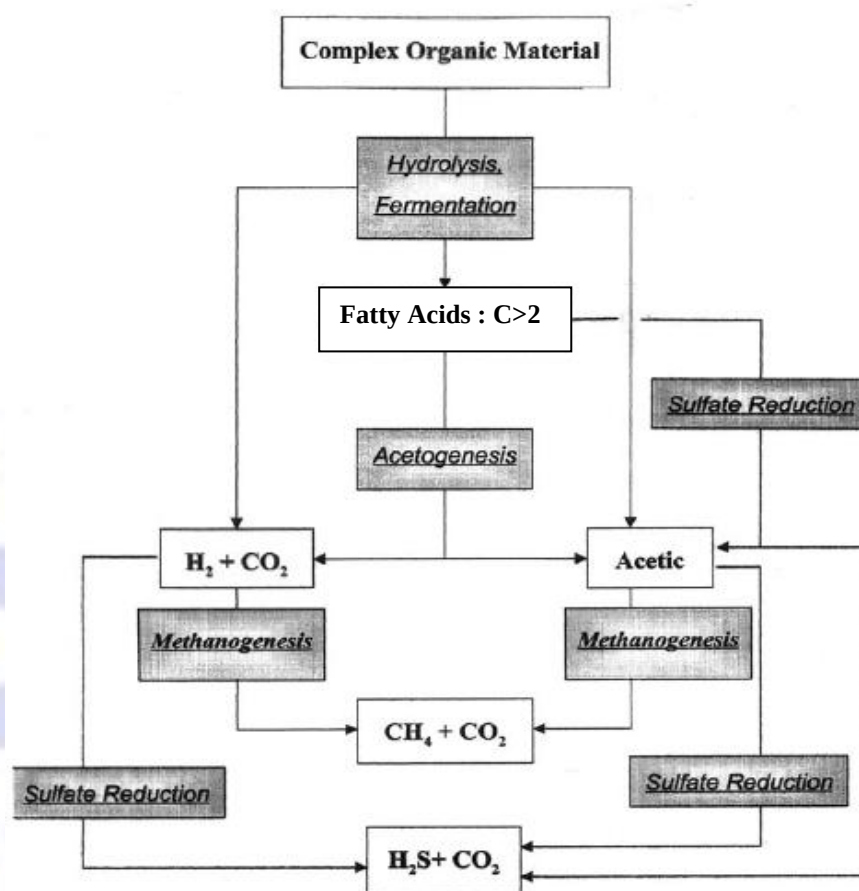
กลไกของการเกิดก๊าซชีวภาพ

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศจะมีกลุ่มแบคทีเรียอาศัยอยู่ในระบบร่วมกันอยู่ 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียสร้างมีเทน และ แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต สาเหตุที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีแบคทีเรียหลายกลุ่มอยู่ร่วมกันเพราะแบคทีเรีย

สร้างมีเทน และ แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้สารอาหารได้จำกัชนิด (Specific Substrate) ซึ่งมักเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ทำให้แบคทีเรียสร้างกรดใช้สารอินทรีย์ได้ก่อนและเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นกรดอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ต่อจากนั้นแบคทีเรียสร้างมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจึงใช้กรดอินทรีย์เหล่านี้เป็นอาหารต่อไป

สารอินทรีย์ที่เข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ จะถูกย่อยสลายผ่านขั้นตอนต่างๆซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน (ธีระ เกรอต. 2539 : 478-483) แสดงดังรูปที่

7



รูปที่ 7 กลไกการสร้างก๊าซชีวภาพในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ. (2546). คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1. หน้า 6.

1. ขั้นตอนไฮโดรไลซิส

แบคทีเรียใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน แต่การนำเอาสารอินทรีย์ไปใช้ของแบคทีเรีย จะต้องขนส่งสารอินทรีย์เข้าสู่เซลล์เสียก่อนจากนั้นจึงจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นในเซลล์และได้พลังงานในการดำรงชีวิตและเจริญเติบโต การขนส่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดเข้าสู่เซลล์มีความยากง่ายแตกต่างกัน สารอินทรีย์ขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายให้ขนาดโมเลกุลเล็กลงก่อน ทำให้สารโมเลกุลใหญ่ขนส่งเข้าสู่เซลล์ได้ยากกว่าสารอินทรีย์ขนาดเล็ก

ในกระบวนการไม่ใช้อากาศ แบคทีเรียสร้างกรดจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ไขมัน โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น ให้มีขนาดเล็กลงก่อนโดยการผลิตเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ เอนไซม์จะช่วยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารอินทรีย์และช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น แต่เอนไซม์เป็นโปรตีนที่มีความเฉพาะเจาะจงต่อปฏิกิริยาและตัวทำปฏิกิริยา ดังนั้นแบคทีเรียต้องสร้างเอนไซม์ที่ใช้เฉพาะกับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น อะไมเลส (Amylase) ซึ่งย่อยสลายแป้งและไกลโคเจนให้เป็นน้ำตาล หรือเอนไซม์ไลเปส (Lipase) และเอสเตอเรส (Esterases) ย่อยสลายไขมันและไลปิดให้เป็นกลีเซอรอล และกรดไขมัน หรือต้องใช้เอนไซม์โปรตีเอส (protease) ย่อยสลายโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโน เป็นต้น

ขั้นตอนไฮโดรไลซิสเป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างช้าและเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของปฏิกิริยา ความเร็วของปฏิกิริยาจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาเคมี ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ พีเอช พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น ทำให้เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารแต่ละชนิดแตกต่างกัน

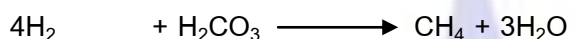
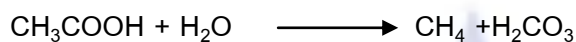
2. ขั้นตอนการสร้างกรด

หลังจากขั้นตอนไฮโดรไลซิส สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกย่อยให้เล็กลงกลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลงและถูกแบคทีเรียสร้างกรดขนส่งเข้าสู่เซลล์ แบคทีเรียที่ทำหน้าที่สร้างกรดในกระบวนการไม่ใช้อากาศเป็นพวก Obligate Anaerobes และ Facultative แต่แบคทีเรียจำพวก Obligate Anaerobes จะมีจำนวนมากกว่า จึงเป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักในการทำหน้าที่ผลิตกรด ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียหลายกลุ่มของ Pseudomonas, Flavobacterium, Alcaligenes, Escherichia และ Aerobacter

หลังจากสารอินทรีย์ถูกส่งเข้าสู่เซลล์แล้วจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนโดยผ่านกระบวนการหมักภายในเซลล์เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เข้าสู่เซลล์ให้เป็นกรดระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพาโนอิก และ กรดบิวทริก เป็นต้น

3. ขั้นตอนการสร้างมีเทน

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียใช้ในการสร้างมีเทนภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้อากาศอย่างเด็ดขาด ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดมีเทนแสดงได้ดังสมการ



กรดอินทรีย์ระยะเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนโดยตรง ดังนั้นแบคทีเรียจึงต้องทำการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระยะเหยต่าง ๆ ให้เป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจนเสียก่อน จึงใช้ผลิตมีเทนได้ นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจใช้สับสเตรทอย่างง่ายเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน เช่น เมทานอล และ กรดฟอร์มิก

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพสามารถแบ่งได้เป็น 8 หัวข้อหลักดังนี้

1. องค์ประกอบของน้ำเสีย (Wastewater Composition)
2. รูปแบบของถังหมัก (Reactors Configuration)
3. เวลาเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time : HRT)
4. อัตราการป้อนน้ำเสีย (Organic Loading Rate : OLR)
5. อุณหภูมิ (Temperature)
6. พีเอช (pH)
7. สารอาหาร (Nutrient)
8. สารพิษ (Toxicants)

ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.

การควบคุมและติดตามการทำงานของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ

การควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ มีความซับซ้อนเนื่องจากมีจุลินทรีย์ 2 ชนิดที่มีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกัน และต้องพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันในการดำรงชีพ แต่จุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันในการดำรงชีพ ดังนั้นการควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการดำรงชีพของจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ การเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมของระบบแม้เพียงเล็กน้อยอาจมีผลกระทบรุนแรงต่อทั้งระบบและทำให้ระบบเสียสมดุล และอาจนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบ รายละเอียดของการควบคุมและติดตามการทำงานของระบบ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข.

การสำรวจงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ เป็นการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาข้อมูลที่สำคัญเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ วรรณกรรมในเรื่องการนำค่า OEE ไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิต และ วรรณกรรมในเรื่องค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเรื่องทั้ง 2 ดังนี้

1. วรรณกรรมในเรื่องการนำค่า OEE ไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิต

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำค่า OEE ไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตได้ถูกนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เนื่องจากเป็นระบบที่มีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกับเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆซึ่งเป็นปัจจัยหลักของโรงงานอุตสาหกรรม โดย มูชิริ และพินเตตัน ได้กล่าวถึงการนำแนวความคิดของการวัดประสิทธิภาพโดยใช้ OEE มาเป็นตัวชี้วัดสมรรถภาพภาพเชิงปริมาณของภาคอุตสาหกรรมการผลิต (Muchiri; and Pinteton. 2008 : 3,517-3,535) โดยแนวความคิดของการวัดสมรรถภาพโดยใช้ OEE ถูกพัฒนามาจากแนวความคิดของ TPM และนำเสนอโดย นาคาชิมะ ได้กล่าวว่า TPM หรือ ระบบการบำรุงรักษาที่ผลที่ทุกคนมีส่วนร่วมเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งที่สามารถลดความสูญเสียที่เกิดจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต ส่งผลให้มีการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถลดต้นทุนการผลิต การพัฒนาทรัพยากรมนุษย์หรือพนักงานให้มีจิตสำนึกที่ดีในการทำงานและมีเป้าหมายในการปฏิบัติงานอย่างชัดเจน ตลอดจนการสร้างบรรยากาศของการมีส่วนร่วมในการทำงานหรือเสริมสร้างมนุษยสัมพันธ์ภายในองค์กรให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องจักรที่ขาดประสิทธิภาพ สามารถตรวจสอบสมรรถภาพของเครื่องจักรได้อย่างเป็นระบบ รวมถึงการกำหนดระยะเวลาในการซ่อมบำรุงได้อย่างถูกต้องโดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต (Nakajima, Seiichi. 1989 : 106) การดำเนินกิจกรรม TPM ดำเนินกิจกรรมผ่านความพยายามในการกำจัดความสูญเสียหลัก 7 ประการ ดังได้กล่าวแล้วในตารางที่ 2

ความสูญเสียต่างๆ มักมีสาเหตุหลักมาจากการปฏิบัติงานและความผิดพลาดของเครื่องจักร เพื่อการปรับปรุงประสิทธิผลนั้นจึงเป็นการสำคัญที่จะทำให้เกิดความสำนึกโดยอาศัยการวัดและเพื่อลดความสูญเสีย โดยวัดผ่านค่า OEE เพื่อเป็นตัววัดมูลค่าเพิ่มของการผลิตโดยเครื่องจักร นอกจากนั้น OEE ยังใช้เป็นตัวเลขในการวัดความสำเร็จของโรงงานที่ดำเนินกิจกรรม TPM หรือสามารถเรียกได้ว่าการดำเนินกิจกรรม TPM ก็เพื่อเพิ่มค่า OEE

วิธีการเพิ่มผลผลิตสามารถทำได้หลายวิธี กิจกรรม TPM เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยในการเพิ่มผลผลิต แนวคิดของ TPM มองว่าความสูญเสียคือปัญหา หากลดหรือป้องกันได้ จะช่วยลดต้นทุนโดยคุณภาพการผลิตไม่ลดลง แต่มีโอกาสดำเนินการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดได้เป็นอย่างดี โดยสภาพและคนอื่นๆ ศึกษาการเพิ่มสมรรถภาพการผลิต

ชิ้นส่วนคอมเพรสเซอร์ด้วยการนำ TPM มาประยุกต์ใช้ ค่า OEE ถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดความสำเร็จของโครงการ หลังการดำเนินกิจกรรม TPM สามารถเพิ่มอัตราคุณภาพได้ถึง ร้อยละ 99.67 และสามารถลดของเสียจากกระบวนการผลิตได้ 40,656 บาทต่อปี (สถาพร ศรีสุทัศน์; และคนอื่นๆ. 2549 : 1-5)

สุรชาติ กิตติ และ สันห์ชัย ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ TPM ในการเพิ่มสมรรถภาพในกระบวนการผลิตเครื่องตีอัดก๊าซ โดยพัฒนาระบบขึ้นตามหลักการเสาหลัก 8 ประการของระบบ TPM พบว่าค่า OEE สูงขึ้นเฉลี่ย ร้อยละ 21.18 อัตราการหยุดเครื่องจักรลดลง ร้อยละ 15 (สุรชาติ วิชัยดิษฐ์; กิตติ เจตรังษี; และ สันห์ชัย กลิ่นพิกุล. 2551 : 398-405)

นิศากรและคนอื่นๆได้ทำการศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตท่อ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา และปรับปรุงค่า OEE ของเครื่องจักรที่ติดตั้งและดำเนินการผลิตอยู่ในโรงงานผลิตท่อ โดยทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้ OEE มีค่าต่ำ งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการบำรุงรักษาแบบ TPM มาประยุกต์ใช้ จากการศึกษาพบว่าค่า OEE ในกระบวนการขึ้นรูปท่อสูงขึ้นจาก ร้อยละ 42.3 เป็น ร้อยละ 51.61 และ กระบวนการทำเกลียวของท่อ สูงขึ้นจาก ร้อยละ 47.51 เป็น ร้อยละ 53.20 ทำให้ผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้น ลดการสูญเสีย และช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้สูงขึ้นอีกด้วย (นิศากร สมสุข; และคนอื่นๆ. 2551 : 263-267)

จิรพัฒน์และอภิสิทธิ์ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรในโรงงานผลิตมอเตอร์ด้วยระบบ TPM โดยการใช้ผังพาเรโตเพื่อแสดงสาเหตุข้อบกพร่อง ใช้ผังก้างปลาเพื่อปัญหาเกี่ยวกับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้และเสนอมาตรการปรับปรุง การให้ความรู้และฝึกอบรมพนักงานและการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและการสร้างระบบควบคุมติดตามผลด้านการบำรุงรักษา ทำให้สามารถเพิ่มค่า OEE จาก ร้อยละ 75.99 เป็น ร้อยละ 88.68 (จิรพัฒน์ เภาประเสริฐวงศ์; และอภิสิทธิ์ บุญเกิด. 2553 : 76-86)

ระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มอัตราผลผลิต โดยเป็นระบบการดูแลรักษาและตรวจสอบสภาพเครื่องจักรและอุปกรณ์ให้มีความพร้อมและสมรรถนะในการทำงานที่มีสมรรถภาพยิ่งขึ้น ในการปรับปรุงประสิทธิภาพค่า OEE ถูกใช้เป็นดัชนีชี้วัด โดยเชกสรร ได้ทำการศึกษาเรื่องการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเพื่อเพิ่มสมรรถภาพของเครื่องจักรกรณีศึกษาสายการบรรจุน้ำยาทำความสะอาดสุขภัณฑ์ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร เมื่อวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาพบว่ามีสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ ระบบงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันไม่มีสมรรถภาพ และสภาพเครื่องจักรที่เก่าและขาดการดูแลบำรุงรักษา การดำเนินงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุการหยุดของเครื่องจักร จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางแก้ไข โดยทำกิจกรรมบำรุงรักษาด้วยตนเอง และระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ดัชนีชี้วัดงานวิจัยนี้ใช้ค่า OEE ค่าการเดินเครื่องจักรเฉลี่ย (MTBF) และค่าการซ่อมเฉลี่ย (MTTR) เป็นตัวชี้วัดผล หลังดำเนินกิจกรรมต่างๆ พบว่า

ความถี่และเวลาสูญเสียของเครื่องจักรมีค่าลดลง อัตราเดินเครื่องจักรสูงขึ้น และมีระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกันดีขึ้น ส่งผลให้ค่า OEE ของสายการผลิตมีค่าเพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 73.70 เป็น ร้อยละ 84.10 ค่า MTBF เพิ่มขึ้นจาก 5670 นาฬิกา เป็น 7,146 นาฬิกา และค่า MTTR ลดลงจาก 14 นาฬิกา ลดลงเหลือ 11 นาฬิกา ในขณะที่ ศศิวิมล และ รักน้อยทำการศึกษาการจัดตั้งระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) ของโรงงานผลิตยางไนโรจักษ์ยานและจักรยานยนต์ โดยใช้ อัตราเดินเครื่องและค่า OEE เป็นตัวชี้วัด พบว่า หลังดำเนินการระบบทำให้อัตราการเดินเครื่องเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย ร้อยละ 6.78 และทำให้ค่า OEE เพิ่มขึ้น ร้อยละ 9.76 (ศศิวิมล จันทรังสี; และ รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล. 2551 : 1041-1046)

เครื่องจักรที่ผ่านการใช้งานเป็นเวลานานทำให้เกิดปัญหาต่างๆและทำให้เครื่องจักรหยุดทำงานบ่อยๆ เมื่อนำหลักการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสามารถเพิ่มค่า OEE ได้โดยยอตนภา และคนอื่นๆ ทำการศึกษาการเพิ่มสมรรถภาพของเครื่องจักรในกระบวนการฉีดพลาสติกที่มีเครื่องจักรมีอายุการใช้งานยาวนาน เมื่อนำระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมาประยุกต์ใช้พบว่า ค่า OEE เพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 81.6 เป็น ร้อยละ 85.65 การเกิด Breakdown ลดลง ร้อยละ 52.94 และทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลดลงถึง ร้อยละ 75.37 (ยอตนภา เกษเมือง; และคนอื่นๆ. 2552 : 1-7)

นอกจากนั้นการนำทฤษฎีการซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์และสถิติมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบการซ่อมบำรุงรักษาแบบเดิม สามารถเพิ่มค่า OEE และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง โดยนฤฤทธิ์และดาริชา ทำการศึกษาการเพิ่มสมรรถภาพโดยใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในเครื่องเชื่อมวงจรในอุตสาหกรรมการผลิต พบว่า หลังดำเนินกิจกรรมสามารถเพิ่มค่า OEE จาก ร้อยละ 86.71 เป็น ร้อยละ 90.24 และสามารถลดค่าใช้จ่ายและความสูญเสียในการซ่อมบำรุงลงได้ถึง 804,222 บาทต่อปี (นฤฤทธิ์ เ้ารุ่งอรุณ; และดาริชา สุธีวงศ์. 2551 : 157-167)

นอกจากการเพิ่มผลผลิตด้วยระบบ TPM และ PM โดยใช้ค่า OEE เป็นดัชนีชี้วัดความสำเร็จแล้ว ยังมีการนำเทคนิคอื่นๆมาประยุกต์ใช้ได้ อีก เช่น ไพศาลได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตโรงโม่หินปูนด้วยเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการ โดยทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ใบตรวจสอบ (Check Sheet) ก่อนวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้ผังก้างปลาและหาแนวทางแก้ไขปรับปรุงที่เหมาะสม โดยใช้ค่า OEE เป็นดัชนีชี้วัดความสำเร็จของโครงการ หลังการดำเนินกิจกรรมพบว่า ค่า OEE มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 19.21 และสามารถลดเวลาที่สูญเสียไปเฉลี่ยประมาณ 50.43 นาทีต่อวัน (ไพศาล ลีตระกูล. 2551 : 1-137)

จากการสำรวจวรรณกรรมดังกล่าวได้เก็บข้อมูลและองค์ประกอบต่างๆซึ่งผลทำให้ค่า OEE ต่ำ สามารถสรุปลักษณะปัญหาได้เป็น 3 ประเด็น คือ คน วิธีการปฏิบัติงาน และเครื่องจักรดังตารางที่ 3 ถึง 5 ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 3 ลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากคน

ลักษณะปัญหา	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการแก้ไขปัญหา
- ขาดความรู้พื้นฐาน - ขาดความระมัดระวังในการทำงาน - ความไม่เหมาะสมในการใช้คนให้เหมาะสมกับงาน - การสื่อสารระหว่างผู้ปฏิบัติงานด้วยกัน - ความล่าช้าในการทำงานหลังจากที่ได้รับมอบหมายงาน - ผู้บังคับบัญชาไม่มีความเด็ดขาดในการลงโทษ	- ไม่มีประสบการณ์ความชำนาญ การศึกษาและการฝึกอบรม	- ทำความเข้าใจและให้ความสำคัญของการดูแลบำรุงรักษาเชิงป้องกันตลอดจนการฝึกอบรมและให้ความรู้ความเข้าใจในงานบำรุงรักษา

ตารางที่ 4 ลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากวิธีการทำงาน

ลักษณะปัญหา	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการแก้ไขปัญหา
- ขาดการวางแผนงานการบำรุงรักษาของเครื่องจักร - ขาดการเก็บข้อมูลสถิติ - ความล่าช้าในการประสานงานระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง - ไม่มีการติดตามผลงานหลังทำการซ่อมเครื่องจักรแล้ว	- ไม่มีขั้นตอน เงื่อนไขลำดับการ การจัดการและระเบียบวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง	- กำหนดมาตรฐานงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน - จัดทำแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน - ทำการตรวจสอบว่ามีการปฏิบัติตามแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันหรือไม่

ตารางที่ 5 ลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องจักร

ลักษณะปัญหา	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการแก้ไขปัญหา
- การเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน - การเสื่อมสภาพการใช้งาน - ขาดการวางแผนและบำรุงรักษา	- ไม่มีการตรวจสอบชิ้นส่วน อุปกรณ์ รูปแบบกลไก และความสมดุลการทำงานของเครื่องจักร	- นำระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเข้ามาปฏิบัติ

ตารางที่ 5 ลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องจักร (ต่อ)

ลักษณะปัญหา	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการแก้ไขปัญหา
- ขาดการเตรียมการในการ เปลี่ยนชิ้นส่วนและอุปกรณ์ - คุณภาพของอุปกรณ์อะไหล่ ไม่ได้มาตรฐาน		

2. วรรณกรรมในเรื่องค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ถึงปฏิกริยาแบบ ABR มีความเหมาะสมต่อการย่อยสลายน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ปาล์มและอื่นๆ โดยมีราฟโควา ฮัตนัน และดริทิล ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยถังหมักปฏิกริยาแบบ ABR กับน้ำเสีย 2 ชนิด คือ น้ำเสียที่มีคุณสมบัติไม่เป็นกรด (Nonacidified Wastewater) เช่น น้ำเสียจากแป้ง เปปโทน และน้ำเสียจากไฮดรอกซีเซลลูโลส (Hydroxyethylcellulose) เช่น น้ำเสียจากกลูโคส จากการศึกษาพบว่า สมรรถภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ของน้ำเสียที่ไม่เป็นกรดมีค่า ร้อยละ 90 ในขณะที่น้ำเสียจากไฮดรอกซีเซลลูโลส มีค่า ร้อยละ 40 เนื่องจากการเกิดปฏิกริยาอย่างรวดเร็วในขั้นตอนการย่อยสลายไฮโดรไลซิส และการสร้างกรด ส่วนน้ำเสียจำพวกเซลลูโลสจะเกิดปฏิกริยาการย่อยสลายที่ช้ากว่า โดยเฉพาะในขั้นตอนของปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (Mirafkova, L.; Hutnan, M.; & Drtil, M. 2000 : 448-455) การรักษาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมมีผลต่อการเกิดปฏิกริยาการย่อยสลาย ณัฐวุฒิ และคนอื่นๆ ได้ทำการศึกษการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจนสองขั้นตอน โดยหาสภาวะการให้ไฮโดรไลซิสที่เหมาะสมเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยระยะเหยที่สภาวะ พีเอชต่างๆ พบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมในสภาวะไฮโดรไลซิสคือ 6.00 และค่าพีเอชที่เหมาะสมในขั้นตอนการสร้างกรดและสร้างมีเทน คือ 6.60 ถึง 7.50 (ณัฐวุฒิ บุญเยี่ยม; และคนอื่นๆ. 2549 : 1-9)

ในถึงปฏิกริยาความสามารถในการรักษาสภาพสมดุลของกรดและเบสหรือที่เรียกว่า บัฟเฟอร์ในระบบมีความจำเป็นต่อสมรรถภาพการทำงานของระบบ โดยมีการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากแป้งมันสำปะหลังด้วยระบบถังปฏิกริยาแบบ ABR ผลการศึกษาพบว่า ความเป็นบัฟเฟอร์ของระบบจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับของแผ่นกั้น (Baffle Sheet) โดยขั้นตอนการสร้างกรดจะมีปริมาณมากในแผ่นกั้นลำดับต้นๆและลดลงอย่างต่อเนื่องในลำดับถัดมา ในทางตรงกันข้ามค่าพีเอชและสภาพต่าง (ALK) จะมีค่าน้อยมากในแผ่นกั้นลำดับแรกและเพิ่มมากขึ้นในแผ่นกั้นลำดับถัดมา (Ferraz, Fernanda M.; Bruni, Aline T.; & DelBianchi, Vanildo L. 2009 : 48-53) วันทนีย์ ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียมันของโรงงานแป้งมันสำปะหลังในถังหมักแบบขั้นตอนเดียว (Single Stage) จากการศึกษา พบว่า เพื่อที่จะให้

แบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนเจริญเติบโตได้ดีควรป้อนสารอาหารและรักษาความเป็นบัพเฟออร์อย่างถูกต้อง ค่าสภาพต่างควรมีค่าอยู่ในช่วง 2,500 – 5,000 มก./ลิตร แคลเซียมคาร์บอเนต ค่าบัพเฟออร์จะมีค่าลดลงหากระบบมีการสะสมของ VFA (กรดไขมันระเหย) มากขึ้น โดยปริมาณ VFA แปรผันตามปริมาณของ TS (ปริมาณของแข็งในน้ำ) ในสารตั้งต้น การควบคุมระบบสามารถใช้อัตราส่วนระหว่างค่า VFA:ALK เป็นดัชนีชี้วัดความเป็นบัพเฟออร์ของระบบ ผลการศึกษา พบว่า ค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมมีค่าระหว่าง 0.2-0.4 หากค่าอัตราส่วนดังกล่าวสูงกว่า 0.8 ค่าพีเอชจะลดลงและจะเกิดการยับยั้ง (Inhibit) การผลิตไบโอแก๊ส และยังพบอีกว่าหากค่าพีเอช ลดต่ำกว่า 4.79 ระบบจะไม่สามารถผลิตไบโอแก๊สได้เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนไม่สามารถมีกิจกรรมเพื่อการดำรงชีพได้ (วันทนีย์ อนันต์พุกกุล. 2547 : 1-178)

อุณหภูมิในระบบมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์และต่อการทำงานของเชื้อแบคทีเรียอุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็นสองระดับตามสปีชีส์ของแบคทีเรียสร้างมีเทน ได้แก่ กลุ่มเมโซฟิลิก (Mesophilic) ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 37 ถึง 41 องศาเซลเซียส และกลุ่มเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 50 ถึง 52 องศาเซลเซียส แต่ก็สามารถที่จะทำงานได้ในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง 70 องศาเซลเซียส (วิกิพีเดีย. 2554ข : ออนไลน์) พรพรรณ ได้ทำการศึกษาสมรรถภาพของระบบผลิตแก๊สมีเทนจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในถังหมักแบบกวนสมบูรณ์ ซึ่งทำการเดินระบบที่อุณหภูมิ 37 และ 55 องศาเซลเซียส ผลการศึกษา พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของระบบ คือ 37 องศาเซลเซียส เมื่อทำการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทีละ 3 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส ระบบจะเกิดการเสีสมดุลและไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนอุณหภูมิของถังหมักซึ่งปกติเดินระบบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เมื่อทำการปรับลดอุณหภูมิลดลงทีละ 3 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระบบจะเกิดการเสีสมดุลและไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (พรพรรณ วิชาลวรรณ. 2548 : 1-107)

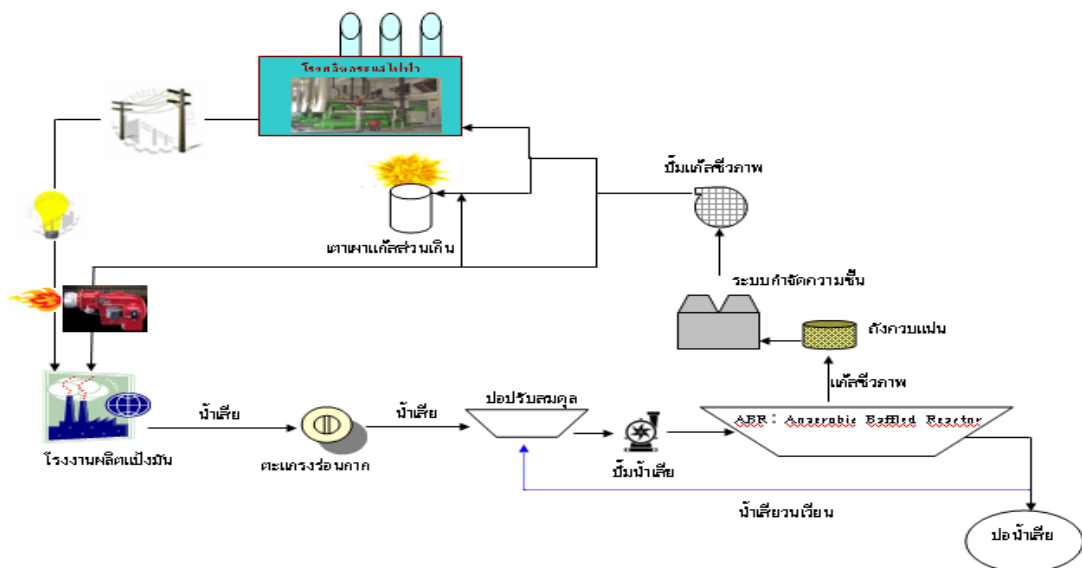
การกวนผสม (Mixing) จะช่วยให้สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบสามารถสัมผัสกับแบคทีเรียอย่างทั่วถึง แบคทีเรียจะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ง่าย ซึ่งเป็นผลให้สมรรถภาพการกำจัดสารอินทรีย์มากขึ้น ธนียา ได้ทำการศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของถังหมักแบบไร้อากาศในการบำบัดตะกอน (Sludge) โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระยะเวลาในการกวนผสมตะกอน และระยะเวลาเก็บตะกอน ต่อสมรรถภาพการบำบัดที่สภาวะต่าง ๆ กัน พบว่า ที่ระยะเวลาในการกวนผสม 12, 6 และ 2 ชั่วโมงตามลำดับ สมรรถภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD มีค่า ร้อยละ 61.07, ร้อยละ 56.55 และ ร้อยละ 42.57 กล่าวคือ สมรรถภาพในการกำจัดสารอินทรีย์มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการกวนผสมลดลง (ธนียา เกาศล. 2540 : 1-192)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานสารนิพนธ์

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัจจุบัน

โรงงานกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งมัน ซึ่งมีปริมาณ 8,400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้จะถูกส่งผ่านเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เรียกว่า ABR (Anaerobic Baffle Reactor) ซึ่งมีลักษณะพิเศษทางกายภาพ คือ มีแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียมุดขึ้นมุดลงอยู่ในแนวนอน จุดเด่นของระบบนี้ คือ มีพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่นๆ ทำให้การเก็บกักเชื้อแบคทีเรียได้ปริมาณมาก ทำให้มีความสามารถในการรับภาระสารอินทรีย์ที่สูงได้ (Bachmann, A. 1982: 1192-1211) ก๊าซชีวภาพที่ได้จะมีส่วนผสมของมีเทนในอัตราส่วนร้อยละ 60 ถึง 63 ส่วนผสมอื่นที่เหลือจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และส่วนผสมอื่นในปริมาณเล็กน้อยซึ่งเป็นก๊าซปนเปื้อน (Impurity Gas) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้มีปริมาณ 80,000 ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน ก๊าซชีวภาพที่ได้จะถูกส่งผ่านมายังท่อส่งก๊าซ และหัวเผา (Burner) เพื่อให้ความร้อนแก่เครื่องกำเนิดความร้อน (Heater) ซึ่งได้แก่ เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) และ เครื่องกำเนิดน้ำมันร้อน (Thermal Oil) ตามลำดับ โดยก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถใช้ทดแทนพลังงานจากน้ำมันเตาได้ร้อยละ 90 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถอธิบายขั้นตอนกระบวนการตามผังการดำเนินงานที่ได้แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กระบวนการและขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพโรงงานกรณีศึกษา

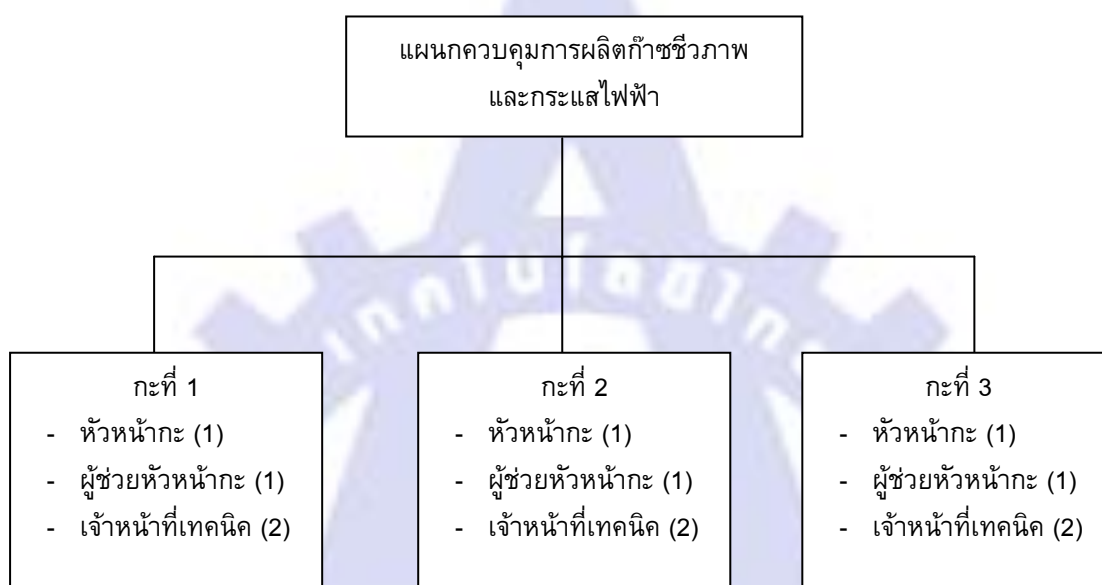
จากผังการดำเนินงานในรูปที่ 8 กระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพจะเริ่มต้นจากการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานผลิตแอมโมเนีย ซึ่งน้ำเสียนี้ หมายถึง น้ำจากการล้างหัวมัน น้ำจากการล้างพื้น น้ำล้างจากกระบวนการผลิต และรวมถึงน้ำทิ้งจากห้องน้ำ ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้จะไหลมารวมกันที่บ่อพัก ก่อนถูกปั๊มสูบขึ้นไปสู่เครื่องร่อนกาก (Rotary Screen) เพื่อคัดแยกกากที่เป็นของแข็งที่มีขนาดตั้งแต่ 3 ถึง 5 มิลลิเมตรขึ้นไป กากที่ได้จะติดที่ตะแกรง ส่วนน้ำเสียก็จะไหลออกบริเวณด้านท้ายของเครื่องร่อนกาก น้ำเสียเหล่านี้จะไหลไปตามท่อและลงสู่บ่อกวนผสม (Mixing Pond) หรือบ่อปรับสมดุล (Balance Pond) โดยบ่อนี้จะทำหน้าที่ปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำเสียให้มีสภาพเป็นกลางมากที่สุดก่อนที่จะสูบน้ำเสียในบ่อนี้เข้าสู่บ่อผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบ ABR ซึ่งจะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ จะคลุมบ่อด้วยผ้าใบที่ทำมาจากวัสดุ HDPE (High Density Polyethylene) ที่สามารถกักเก็บก๊าซชีวภาพให้อยู่ในบ่อโดยไม่ปล่อยให้หลุดออกไปสู่ชั้นบรรยากาศ ก่อนที่จะถูกปั๊มดูดก๊าซ (Blower) ดูดแก๊สที่สะสมในบ่อเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานในหัวเผา (Burner) เพื่อให้ความร้อนแก่เครื่องกำเนิดความร้อน (Heater) 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) และ เครื่องกำเนิดน้ำมันร้อน (Thermal Oil) โดยนำไอร้อนที่ผ่านเครื่องกำเนิดความร้อนไปอบแห้ง ก๊าซชีวภาพอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงผลิตกระแสไฟฟ้า (Power Plant) ด้วยเครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine) เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังโรงงานผลิตแอมโมเนียด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ในกรณีที่มีก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในปริมาณมากเกินไป เกินพอ ก๊าซชีวภาพเหล่านี้จะถูกกำจัดโดยการนำไปยังเตาเผาก๊าซส่วนเกิน (Flare) การเผาก๊าซส่วนเกินเหล่านี้นอกจากจะลดปริมาณก๊าซส่วนเกินแล้วยังเป็นการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Gas) อีกด้วย

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลของกระบวนการ

ระบบการทำงานในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจะถูกควบคุมโดยหน่วยงานที่เรียกว่า หน่วยงานควบคุมการผลิตก๊าซชีวภาพและกระแสไฟฟ้าซึ่งจะทำงานเป็นกะ (Shift Operation) โดยมีจำนวนกะทั้งหมด 3 กะ ทำงานตลอด 24 ชั่วโมงตามการผลิตของโรงงานผลิตแอมโมเนีย แผนผังองค์กร (Organization Chart) ของหน่วยงานควบคุมการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9 พนักงานที่ปฏิบัติงานในกะประกอบด้วยพนักงานทั้งหมด 4 ตำแหน่ง เป็นหัวหน้ากะและผู้ช่วยหัวหน้ากะอย่างละ 1 ตำแหน่ง และเจ้าหน้าที่เทคนิคอีก 2 ตำแหน่ง

สภาพปัจจุบันของกระบวนการทำงานจะเริ่มจากการวางแผนการผลิตโดยหัวหน้ากะ จะทำการติดต่อประสานงานกับพนักงานฝ่ายผลิตของโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับเพื่อรับทราบความต้องการในการใช้พลังงานของโรงงาน จากนั้นจึงทำการวางแผนการรับและควบคุมปริมาณน้ำเสียเพื่อทำการผลิตก๊าซชีวภาพให้ได้ปริมาณและคุณภาพตามที่กำหนด ผู้ช่วยหัวหน้ากะจะทำการควบคุมและเฝ้าติดตามกระบวนการผ่านระบบ SCADA (Supervisory

Control and Data Acquisition) ซึ่งเป็นระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Real-Time และสามารถตรวจสอบย้อนกลับไปยังกระบวนการหากเกิดปัญหาเพื่อทำการแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว เจ้าหน้าที่เทคนิคจะทำการตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์รวมถึงการบำรุงรักษาเบื้องต้นด้วย ก๊าซชีวภาพและไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกตรวจสอบทั้งคุณภาพและปริมาณอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพแบบ In Line Gas Analyzer และมีเตาเผาการวัดต่างๆ ของโรงผลิตกระแสไฟฟ้า หากมีปัญหาในเรื่องปริมาณหรือคุณภาพ หัวหน้าจะทำการวิเคราะห์และแก้ไข ขั้นตอนการทำงานแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 9 แสดงผังองค์กรของแผนกควบคุมการผลิตก๊าซชีวภาพและกระแสไฟฟ้า

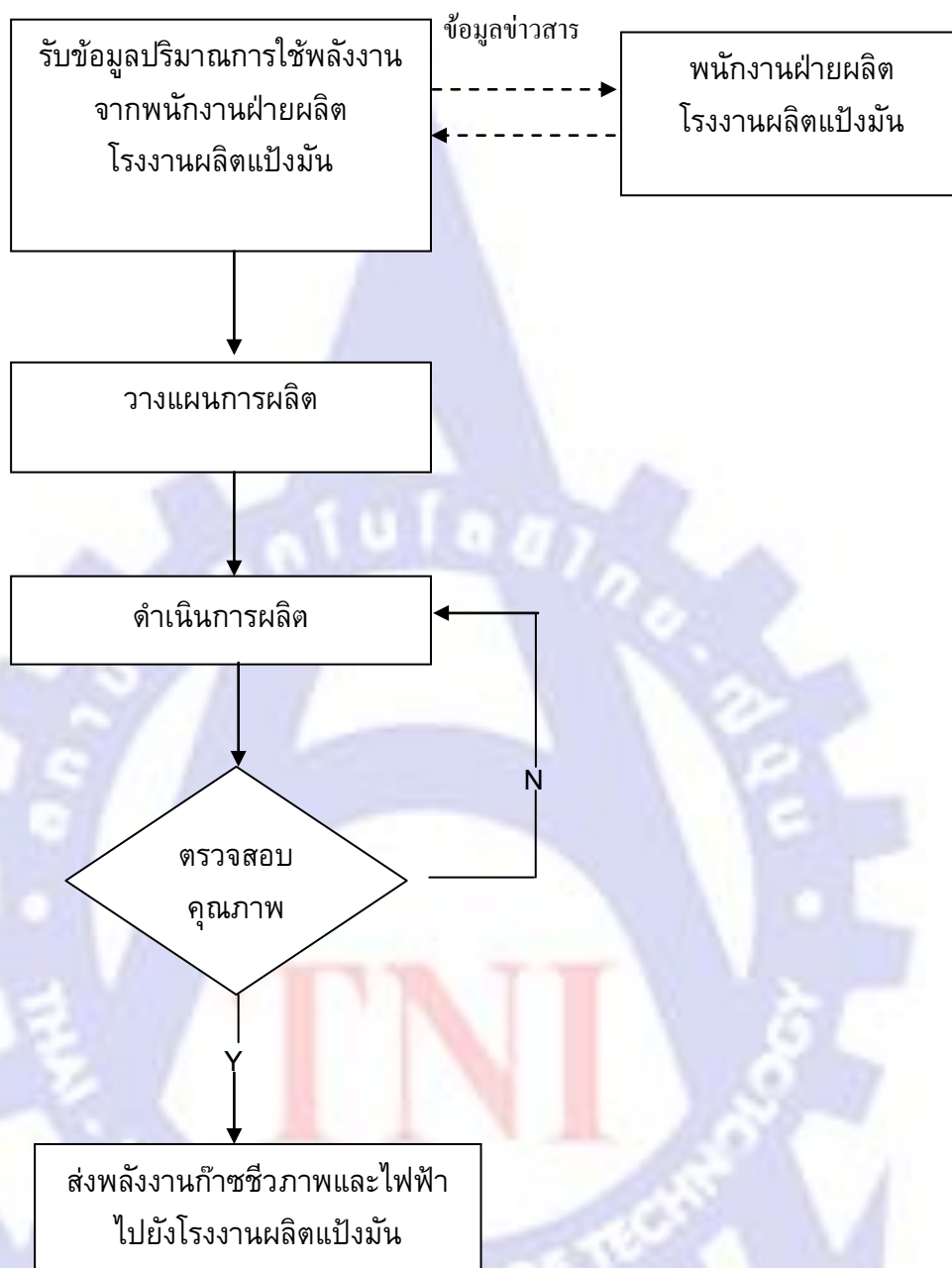
การศึกษาที่มาของปัญหา สาเหตุ ที่ทำให้เกิดปัญหา

ในการควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพปัจจัยแห่งความสำเร็จ (Key Success Factor) มีอยู่ด้วยกัน 2 ประการดังนี้

1. สมรรถภาพในการทำงานของเชื้อแบคทีเรีย หากสามารถควบคุมให้เชื้อแบคทีเรียทำงานได้อย่างเต็มสมรรถภาพจะทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพให้มีปริมาณและคุณภาพที่ต้องการได้ แต่หากไม่สามารถควบคุมให้เชื้อแบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ทั้งในเรื่องปริมาณและคุณภาพ จะเห็นได้ว่าผู้ที่ทำหน้าที่ควบคุมระบบการผลิตจะต้องเข้าใจหลักการทำงานของเชื้อแบคทีเรียซึ่งเป็นองค์ความรู้วิทยาศาสตร์ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

ระบบควบคุมอัตโนมัติ หมายถึง ระบบการทำงานของเครื่องจักรหรือระบบที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยตนเอง เมื่อให้สัญญาณเริ่มต้น ซึ่งทางบริษัทฯ ได้นำระบบควบคุมอัตโนมัติด้วย

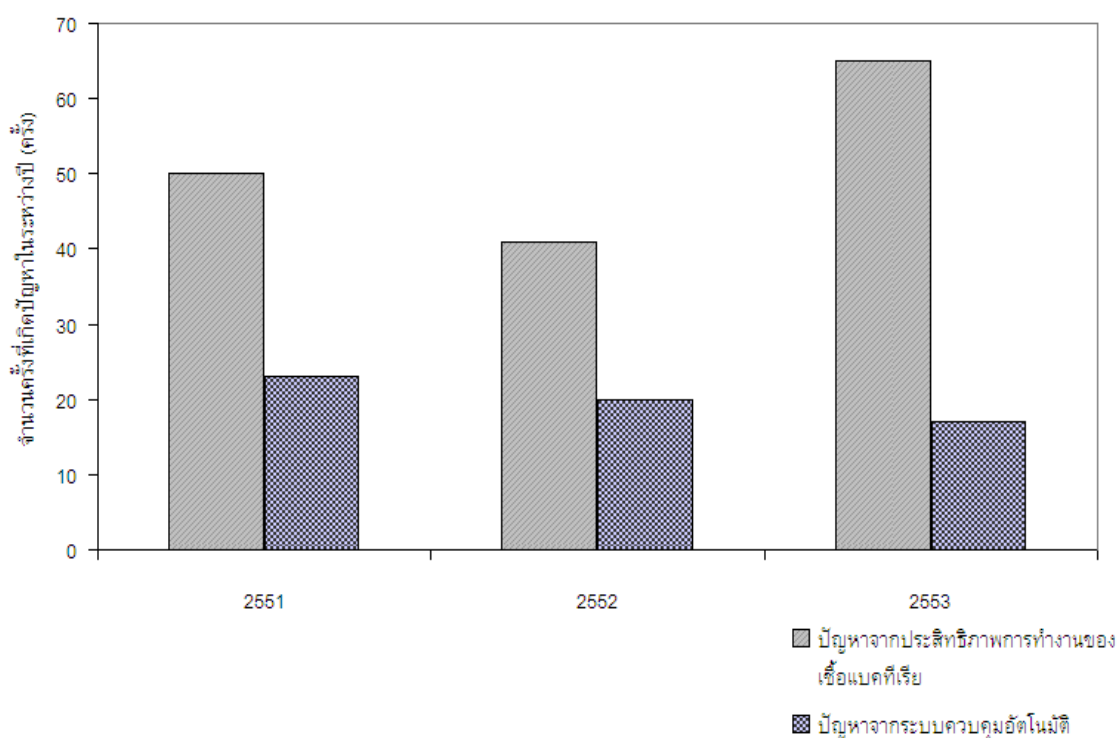
PLC (Programmable Logic Controller) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบการผลิตทั้งหมด และใช้ระบบ SCADA ในการแสดงผลเพื่อเฝ้าติดตามระบบ



รูปที่ 10 การไหลของกระบวนการผลิตและจัดส่งก๊าซชีวภาพและไฟฟ้า

หากแต่ในความเป็นจริงพนักงานที่ปฏิบัติงานควบคุมการผลิตก๊าซชีวภาพมักจะมีพื้นฐานการศึกษาด้านช่างเทคนิคและไฟฟ้า ดังนั้นในการควบคุมระบบจึงเน้นไปในด้านของ

ระบบควบคุมอัตโนมัติมากกว่าด้านการทำงานของเชื้อแบคทีเรีย แต่จากผลการปฏิบัติงานที่ผ่านมาในรอบ 3 ปี ได้มีการเก็บข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตโดยเก็บข้อมูลจากจำนวนครั้งที่เกิดปัญหาจนส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต คุณภาพ และการจัดส่งก๊าซชีวภาพ ผลการเก็บข้อมูลสามารถแบ่งกลุ่มของปัญหาได้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเชื้อแบคทีเรีย และกลุ่มของปัญหาที่เกิดขึ้นจากระบบควบคุมอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 11

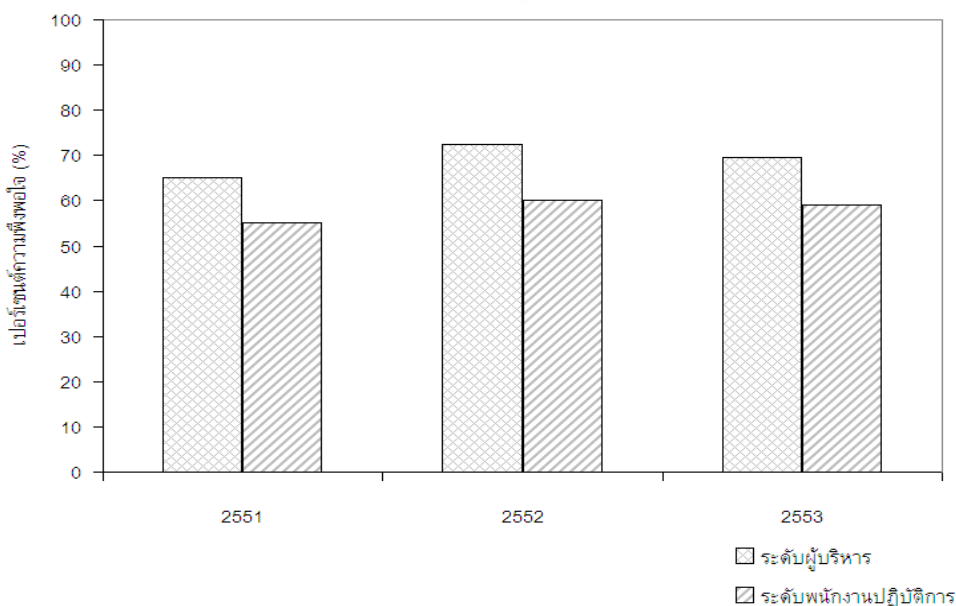


รูปที่ 11 จำนวนครั้งในการเกิดปัญหาในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพในรอบ 3 ปี

นอกจากนี้ยังพบว่า จากปัญหาที่เกิดขึ้นยังส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า โดยการส่งแบบสำรวจสอบถามความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าเพื่อสำรวจผลการปฏิบัติงานในด้านต่างๆ เช่น ความต่อเนื่องในส่งมอบ การแก้ปัญหา ความปลอดภัย และบริการ

เนื่องจากมุมมองและการคาดหวังต่อผลการปฏิบัติงานที่แตกต่างกัน ในการสำรวจจะแบ่งการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าออกเป็น 2 ระดับ คือ ระดับผู้บริหาร และระดับพนักงานปฏิบัติการ เป้าหมายในการบรรลุความพึงพอใจของลูกค้าระดับผู้บริหารถูกตั้งไว้ที่ ร้อยละ 80 และระดับพนักงานปฏิบัติการถูกตั้งไว้ที่ ร้อยละ 70 ผลสำรวจจากแบบสอบถามจะถูกนำมาสรุปผลและนำเสนอออกมาในรูปค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจของแต่ละระดับ

จากผลการสำรวจความพึงพอใจลูกค้าพบว่า ลูกค้าทั้งในระดับผู้บริหารและระดับพนักงานปฏิบัติการยังไม่ถึงเกณฑ์ที่บริษัทตั้งไว้อันเนื่องมาจากปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละปีดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผลสำรวจความพึงพอใจลูกค้าในรอบ 3 ปี

การออกแบบวิธีการที่จะแก้ปัญหา กำหนดแนวทางที่เหมาะสม

จากผลการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าแสดงให้เห็นว่าผลการดำเนินการของบริษัทยังไม่สอดคล้องต่อความต้องการหรือความคาดหวังของลูกค้า โดยสาเหตุหลักมาจากปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการของบริษัทที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของลูกค้า ดังนั้นความใส่ใจในการควบคุมกระบวนการผลิตอย่างใกล้ชิดและมีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อการเพิ่มคุณภาพทั้งกระบวนการผลิตและผลผลิต ในงานสารนิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการนำค่า OEE มาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมและติดตามระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า โดยมีแนวทางในการดำเนินงานตามขั้นตอนดังนี้

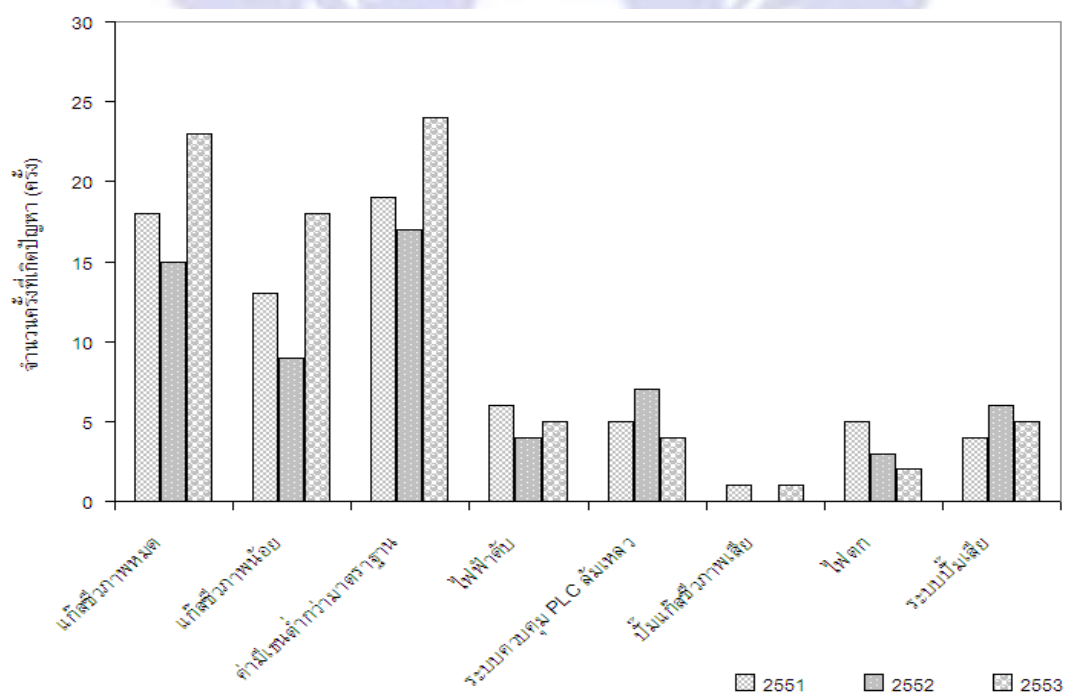
1. การวิเคราะห์กระบวนการผลิต
2. การเก็บรวบรวมข้อมูลความสูญเสียต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการในรอบ 3 ปี เพื่อนำมาแบ่งแยกตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE
3. การออกแบบแบบฟอร์มเพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อคำนวณค่า OEE
4. การสรุปผล วิเคราะห์และการนำเสนอ

หาค่า OEE ได้และในที่สุดก็ไม่สามารถทำการปรับปรุงกระบวนการได้ ดังนั้นจึงต้องทำการหาความสูญเสียและนำมาจัดกลุ่มความสูญเสียต่างๆออกเป็น 3 กลุ่ม ตามองค์ประกอบพื้นฐานดังนี้

1. กลุ่มที่ทำให้ระบบหยุดทำงาน (Shut Down Loss)
2. กลุ่มที่ทำให้ระบบเสียกำลัง (Capacity Loss)
3. กลุ่มที่ทำให้ระบบผลิตงานเสียและซ่อมงาน (Yield Loss)

กลุ่มความสูญเสียทั้ง 3 กลุ่ม สามารถนำมาแบ่งตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE เรียกว่า กลุ่มความสูญเสียตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE

ดังนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลของปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างปี พ.ศ. 2551- 2553 เพื่อทำการแยกประเภทของปัญหาตามกลุ่มความสูญเสียตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE โดยความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการจะเข้ากับกลุ่มความสูญเสียใดนั้นขึ้นอยู่กับการให้คำนิยามของแต่ละกระบวนการ ผลการเก็บข้อมูลความสูญเสียสามารถแสดงดังรูปที่ 14 และ ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่างๆ สามารถนำมาจัดกลุ่มความสูญเสีย และให้นิยามความหมายของความสูญเสียและเหตุผล ดังแสดงในตารางที่ 6



รูปที่ 14 ข้อมูลความสูญเสียรูปแบบต่างๆในรอบ 3 ปี

ตารางที่ 6 กลุ่มความสูญเสียตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE

กลุ่มความสูญเสีย	องค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE	เหตุการณ์	นิยามและความหมายของเหตุการณ์	สาเหตุ
1.กลุ่มที่ทำให้เครื่องจักรหยุดทำงาน (Shut Down Loss)	ความพร้อมใช้งาน	ไฟฟ้าดับ	ไฟฟ้าดับทำให้อุปกรณ์และระบบควบคุมที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าไม่สามารถทำงานได้จนระบบทั้งหมดหยุดทำงาน	- ระบบการจ่ายไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าล้มเหลว - การลัดวงจรของฟิวส์แรงสูง - การลัดวงจรของเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) - ระบบเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ามีปัญหาไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ - ระบบเครื่องยนต์มีปัญหาไม่สามารถเดินเครื่องได้
		ก๊าซชีวภาพหมด	ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ผลิตแก๊สไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานของลูกค้าไม่สามารถจ่ายแก๊สไปยังเครื่องกำเนิดความร้อนได้ และต้องหยุดระบบการจ่ายก๊าซทั้งหมด	- ปริมาณน้ำเสียซึ่งเป็นวัตถุดิบมีปริมาณน้อย เนื่องจากขาดแคลนหัวมันสด - ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพมากเกินไปเกินกว่าที่ผลิตได้ - มีสารที่เป็นพิษต่อเชื้อแบคทีเรียปนเปื้อน

ตารางที่ 6 กลุ่มความสูญเสียตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE (ต่อ)

กลุ่มความสูญเสีย	องค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE	เหตุการณ์	นิยามและความหมายของเหตุการณ์	สาเหตุ
1.กลุ่มที่ทำให้เครื่องจักรหยุดทำงาน (Shut Down Loss) (ต่อ)	ความพร้อมใช้งาน	(ต่อ)		เข้าไปในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ - สภาวะที่ควบคุมในบ่อ เช่น ค่า พีเอช หรือ อุณหภูมิไม่เหมาะสม
		ระบบควบคุมด้วย PLC ล้มเหลว	PLC คือ เครื่องควบคุมอัตโนมัติ ที่ทำการควบคุมการทำงานของระบบการทำงานของอุปกรณ์ หรือ เครื่องมือต่างๆ ในกรณี ที่ระบบ PLC ล้มเหลว จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบการผลิต และ การจ่ายก๊าซ มีผลให้การจ่ายก๊าซชีวภาพต้องหยุดโดยทันที	- PLC Card ล้มเหลว ไม่สามารถสื่อสารกับระบบประมวลผลหลักได้ เกิดจากการกัดกร่อนของก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์ - เกิดจากไฟกระชาก (Surge) หรือ สัญญาณรบกวน (Harmonic) หรือ ฟาผ่า ทำให้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ของ PLC card เกิดการลัดวงจร
		ปั๊ม ก๊าซชีวภาพ (Gas Blower) เสีย	ปั๊มก๊าซชีวภาพ จะทำหน้าที่ดูดแก๊สจากระบบ และ ทำการจ่ายไปยังเครื่องกำเนิดความร้อน และ เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า หากเกิดความเสียหาย การจ่ายแก๊สจะไม่สามารถดำเนินการได้	- อุปกรณ์ภายในตัวปั๊มชำรุด และ สึกหรอ ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ - ระบบควบคุมปรับรอบด้วย Inverter เสียหาย

ตารางที่ 6 กลุ่มความสูญเสียตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE (ต่อ)

กลุ่มความสูญเสีย	องค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE	เหตุการณ์	นิยามและความหมายของเหตุการณ์	สาเหตุ
1.กลุ่มที่ทำให้เครื่องจักรหยุดทำงาน (Shut Down Loss) (ต่อ)	ความพร้อมใช้งาน	หัวพ่นไฟ (Burner) เข้าเครื่องกำเนิดความร้อนไม่ทำงาน	หัวพ่นไฟไม่สามารถทำงานได้ ทำให้ไม่สามารถให้ความร้อนกับเครื่องกำเนิดความร้อน บริษัทก็ไม่สามารถขายก๊าซชีวภาพได้เช่นกัน	- ความดันก๊าซไม่เหมาะสม อาจมีการอุดตันที่ Flame Arrestor หรือ Filter - มีสิ่งสกปรกเข้าไปอุดตัน Double Solenoid Valve ทำให้วาล์วติด - มีการรั่ว หรือ ฉีกขาดของ Diaphragm Sheet ไม่สามารถควบคุมแรงดันได้ - ระบบควบคุมการทำงานของหัวพ่นไฟผิดพลาด - ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดความร้อนผิดพลาด - มีการรั่วที่ Proving Valve ทำให้ไม่สามารถจุดติดได้ - ปริมาณลมที่ใช้ผสมในช่วงจุด มีค่าไม่เหมาะสม

ตารางที่ 6 กลุ่มความสูญเสียตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE (ต่อ)

กลุ่มความสูญเสีย	องค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE	เหตุการณ์	นิยามและความหมายของเหตุการณ์	สาเหตุ
2. กลุ่มที่ทำให้เครื่องจักรเสียกำลัง (Capacity Loss)	สมรรถนะ	ไฟตก	ไฟตก คือ ปรากฏการณ์ที่โรงไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้มากเพียงพอ กับความต้องการในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าหลาย ๆ ชิ้นพร้อมกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้าลดลงเป็นเหตุให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานไม่ได้เต็มที่	- ความต้องการใช้ไฟฟ้ามากกว่าที่สามารถผลิตได้
		ก๊าซชีวภาพน้อย	ปริมาณก๊าซชีวภาพน้อย ทำให้ไม่สามารถจ่ายแก๊สได้เต็มที่ตามความต้องการ เครื่องผลิตไฟฟ้าต้องลดกำลังการผลิต	- ปริมาณน้ำเสียซึ่งเป็นวัตถุดิบ (Raw Material) น้อย เนื่องจากขาดแคลนหัวมัน - ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพมากเกินไปเกินกว่าที่ผลิตได้ - มีสารที่เป็นพิษต่อเชื้อแบคทีเรียปนเปื้อนเข้าไปในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ - สภาวะที่ควบคุมในบ่อ เช่น ค่า พีเอช หรือ อุณหภูมิไม่เหมาะสม - ระบบปั๊มน้ำเสียล้มเหลว

ตารางที่ 6 กลุ่มความสูญเสียตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE (ต่อ)

กลุ่มความสูญเสีย	องค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE	เหตุการณ์	นิยามและความหมายของเหตุการณ์	สาเหตุ
2. กลุ่มที่ทำให้เครื่องจักรเสียกำลัง (Capacity Loss) (ต่อ)	สมรรถนะ	เครื่องกำเนิดความร้อนไม่สามารถทำความร้อนได้	เครื่องกำเนิดความร้อนไม่สามารถเร่งอุณหภูมิตามค่าที่ต้องการได้ ทำให้กำลังการผลิตลดลง และเกิดคอขวด (Bottleneck) ในไลน์ผลิต	- แรงดันที่ก๊าซที่ส่งเข้าหัวพ่นไฟลดลงซึ่งมีสาเหตุจากความสกปรกที่ Filter หรือ การอุดตันที่เกิดขึ้นใน Flame Arrestor - ไม่สามารถรักษาแรงดันที่เข้าหัวพ่นไฟได้อย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากการฉีกขาดใน Diaphragm Sheet - ป้อนจ่ายก๊าซ ไม่สามารถควบคุมแรงดันได้ - ตัววัดแรงดัน ทำงานผิดพลาด
3. กลุ่มที่ทำให้ระบบผลิตงานเสียและซ่อมงาน (Yield Loss)	คุณภาพ	ค่ามีเทนต่ำกว่ามาตรฐาน	ค่ามีเทนในแก๊สชีวภาพเป็นตัวที่ให้ค่าความร้อน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ตกลงกับลูกค้า ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 59 หากต่ำกว่านี้จะมีผลต่อการทำงานของเครื่องกำเนิดความร้อน ไม่สามารถทำอุณหภูมิได้ตามต้องการ หรือ มีปัญหาในการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า	- การรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) ที่มากเกินไป - สภาวะที่ควบคุมในบ่อ เช่น ค่า พีเอช หรือ อุณหภูมิไม่เหมาะสม - ความไม่สมดุลของเชื้อแบคทีเรียในระบบ

การออกแบบแบบฟอร์มเพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อคำนวณค่า OEE

หลังจากที่ได้มีการจำกัดขอบเขตของค่าความสูญเสียหลักต่าง ๆ แล้ว ขั้นตอนต่อไปที่จะนำไปสู่การคำนวณค่า OEE คือ การเก็บข้อมูลความสูญเสียต่าง ๆ มาแบ่งแยกตามกลุ่มความสูญเสียที่ระบุไว้ในตารางที่ 6 โดยกำหนดช่วงเวลาที่จะนำมาคำนวณในแต่ละครั้งแบบวันต่อวัน

กลุ่มแรกในการออกแบบฟอร์มเพื่อเก็บข้อมูล คือ กลุ่มที่ทำให้ระบบหยุดทำงาน (Shut Down Loss) แบ่งแยกตาม Output ที่ออกมาดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหาความพร้อมใช้งาน

ว/ด/ป	เวลารับภาระงานของ (ชั่วโมง)		จำนวนชั่วโมง ที่สูญเสียจาก การหยุดของ (ชั่วโมง)		เวลาเดินเครื่อง (ชั่วโมง)		ความพร้อมใช้งาน (%)	
	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater

ในการบันทึกข้อมูลจะเริ่มจากการหาเวลารับภาระงาน (Loading Time) ของ Output ที่ทำงาน โดยสารนิพนธ์นี้ได้แบ่ง Output ออกเป็น 2 ส่วน คือ เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า (Generator) และ เครื่องกำเนิดความร้อน (Heater) โดยเวลารับภาระงาน คือ เวลาที่วางแผนไว้ว่าต้องใช้ในการผลิตโดยนำเวลาทั้งหมดมาหักออกด้วยเวลาหยุดตามแผน ดังนั้นการคิดค่า OEE ในรอบ 1 วันทำให้เวลารับภาระงานจึงเป็น 24 ชั่วโมง ให้ทำการบันทึกเวลาลงในคอลัมน์ที่ 2 ในระหว่างที่เครื่องจักรทั้ง 2 ทำงานหากเกิดปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรต้องหยุดการทำงานไม่ว่าเหตุผลใดๆ ให้ทำการบันทึกจำนวนชั่วโมงที่เครื่องจักรหยุดลงในคอลัมน์ที่ 3 เมื่อได้ข้อมูลของทั้ง 2 คอลัมน์แล้ว สามารถที่จะหาเวลาเดินเครื่อง (Operating Time) ของแต่ละเครื่องจักร และ ความพร้อมใช้งาน ได้จาก

$$\begin{aligned} \text{เวลาเดินเครื่อง (ชั่วโมง)} &= \text{เวลารับภาระงาน} - \text{เวลาสูญเสียจากเครื่องจักรหยุด} \\ \text{ความพร้อมใช้งาน (\%)} &= (\text{เวลาเดินเครื่อง} \div \text{เวลารับภาระงาน}) \times 100 \end{aligned}$$

ยกตัวอย่างเช่น ในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2553 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดความร้อนเริ่มทำการผลิตตั้งแต่เวลา 00.00 น. แต่ในเวลา 08:00 น. พบว่า เกิดการลัดวงจรของฟิวส์แรงสูงทำให้ไฟฟ้าดับ เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดความร้อน ไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากระบบควบคุมล้มเหลว พนักงานสามารถแก้ไขและทำการเดินเครื่องจักรได้อีกครั้งในเวลา 09:00 น. จากนั้นในเวลา 13:00 น. เกิดปัญหากับ PLC ซึ่งเป็น

ระบบควบคุมการจ่ายแก๊สไปยังเครื่องกำเนิดความร้อน จนทำให้เครื่องกำเนิดความร้อนต้องหยุดทำงานแต่เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ายังทำงานได้เป็นปกติ พนักงานสามารถแก้ไขและทำการเดินเครื่องกำเนิดความร้อนอีกครั้งในเวลา 15:00 น. หลังจากนั้นก็ไม่มีปัญหาใดๆเกิดขึ้นที่ทำให้เครื่องจักรต้องหยุดอีก ดังนั้นเราสามารถหาความพร้อมใช้งานได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหาความพร้อมใช้งาน

ว/ด/ป	เวลารับภาระงานของ (ชั่วโมง)		จำนวนชั่วโมงที่สูญเสียจากการหยุดของ (ชั่วโมง)		เวลาเดินเครื่อง (ชั่วโมง)		ความพร้อมใช้งาน (%)	
	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater
1/1/2554	24	24	1	3	23	21	95.83	87.50

กลุ่มที่สองในการออกแบบเพื่อเก็บข้อมูลคือกลุ่มที่ทำให้ระบบเสียกำลัง (Capacity Loss) โดยสรุปได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหาสมรรถนะ

ว/ด/ป	เวลาเดินเครื่อง (ชั่วโมง)		เวลาสูญเสียจากเครื่องเสียกำลัง (ชั่วโมง)		เวลาเดินเครื่องสุทธิ (ชั่วโมง)		สมรรถนะ (%)	
	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater

จะเห็นว่าเวลาเดินเครื่องที่ได้จากการเก็บข้อมูลในกลุ่มแรกจะไม่เท่ากับเวลารับภาระงาน หากเกิดความสูญเสียที่ทำให้เครื่องจักรหยุดทำงาน แต่ในความเป็นจริงแล้วความสูญเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นยังไม่หมดเพียงเท่านั้นยังมีความสูญเสียที่ทำให้เครื่องจักรเสียกำลังซึ่งทำให้เวลาเดินเครื่องจักรลดน้อยลงอีก เรียกเวลานี้ว่า เวลาเดินเครื่องสุทธิ (Net Operation Time) ซึ่งนำไปสู่การหาค่าสมรรถนะได้จาก

$$\begin{aligned} \text{เวลาเดินเครื่องสุทธิ(ชั่วโมง)} &= \text{เวลาเดินเครื่อง} - \text{เวลาที่สูญเสียจากเครื่องเสียกำลัง} \\ \text{สมรรถนะ (\%)} &= (\text{เวลาเดินเครื่องสุทธิ} \div \text{เวลาเดินเครื่อง}) \times 100 \end{aligned}$$

จากตัวอย่างที่แล้วพบว่า ในเวลา 17:00น. พบว่า มีปัญหาแก๊สชีวภาพน้อยทำให้ต้องลดกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าลง จนถึงเวลา 19:00 น. จึงสามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้เต็มกำลังผลิตอีกครั้ง ในส่วนของเครื่องกำเนิดความร้อน พบว่า แรงดันแก๊สลดลงทำให้ไม่สามารถเร่งอุณหภูมิได้ตั้งแต่เวลา 18:00 น. จนถึง 20:00 น. ดังนั้นเราสามารถหาสมรรถนะได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหาสมรรถนะ

ว/ด/ป	เวลาเดินเครื่อง (ชั่วโมง)		เวลาสูญเสียจาก เครื่องเสียกำลัง (ชั่วโมง)		เวลาเดิน เครื่องสุทธิ (ชั่วโมง)		สมรรถนะ (%)	
	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater
1/1/2554	23	21	2	2	21	19	91.30	90.48

กลุ่มที่สามในการออกแบบเพื่อเก็บข้อมูลคือกลุ่มที่ทำให้ระบบผลิตงานเสียและซ่อมงาน (Yield Loss) อันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ โดยสรุปได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหาคุณภาพ

ว/ด/ป	เวลาเดิน เครื่องสุทธิ (ชั่วโมง)		เวลาสูญเสียจาก การผลิตไม่ได้ คุณภาพ (ชั่วโมง)		เวลาเดินเครื่อง สุทธิที่เกิดมูลค่า (ชั่วโมง)		คุณภาพ (%)	
	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater

เวลาเดินเครื่องสุทธิบางครั้งก็ไม่ได้เกิดมูลค่าทั้งหมด หมายถึง ผลิตของดีมีคุณภาพ เพราะเสียเวลาส่วนหนึ่งไปกับการผลิตของเสียหรือของที่ไม่ได้คุณภาพ เราเรียกเวลาที่สูญเสียนี้ว่าเวลาสูญเสียเกิดจากการผลิตของไม่ได้คุณภาพ ดังนั้นจึงต้องหาเวลาเดินเครื่องที่ทำให้เกิดมูลค่า (Valued-net operating time) ซึ่งนำไปสู่การหาค่าคุณภาพได้จาก

$$\begin{aligned} \text{เวลาเดินเครื่องสุทธิที่เกิดมูลค่า(ชั่วโมง)} &= \text{เวลาเดินเครื่องสุทธิ} - \text{เวลาที่สูญเสียจากการผลิตไม่ได้คุณภาพ} \\ \text{คุณภาพ (\%)} &= (\text{เวลาเดินเครื่องสุทธิที่เกิดมูลค่า} \div \text{เวลาเดินเครื่องสุทธิ}) \times 100 \end{aligned}$$

จากตัวอย่างที่แล้พบว่ ในเวลา 21:00 น. พบว่ ค่ำมีเทนในแก๊สชีวภพมีค่ำเพียง 57% ทำให้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าและอุปกรณ์ก้ำเนิดความร้อน มีปัญหำในการผลิต เวลา 23:00 น. สำนกรปรับปรุงให้อุปกรณ์มีค่ำ ร้อยละ 59 ดังนั้นเรำสามารถหำคุณภาพได้ดังตรำงที่ 12

ตรำงที่ 12 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพื่อหำคุณภาพ

ว/ด/ป	เวลาเดินเครื่องสุทธิ (ชั่วโมง)		เวลาสูญเสียจากการผลิตไม่ได้ คุณภาพ (ชั่วโมง)		เวลาเดินเครื่องสุทธิที่เกิดมูลค่า (ชั่วโมง)		คุณภาพ (%)	
	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater
1/1/2554	21	19	2	2	19	17	90.48	89.48

เมื่อได้อัดประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE ครบทั้งหมดแล้ว สำนกรคำนวณค่ำ OEE ของทั้งอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์ก้ำเนิดความร้อน ดังแสดงได้ดังตรำงที่ 13

ตรำงที่ 13 แบบฟอร์มการหำค่ำ OEE

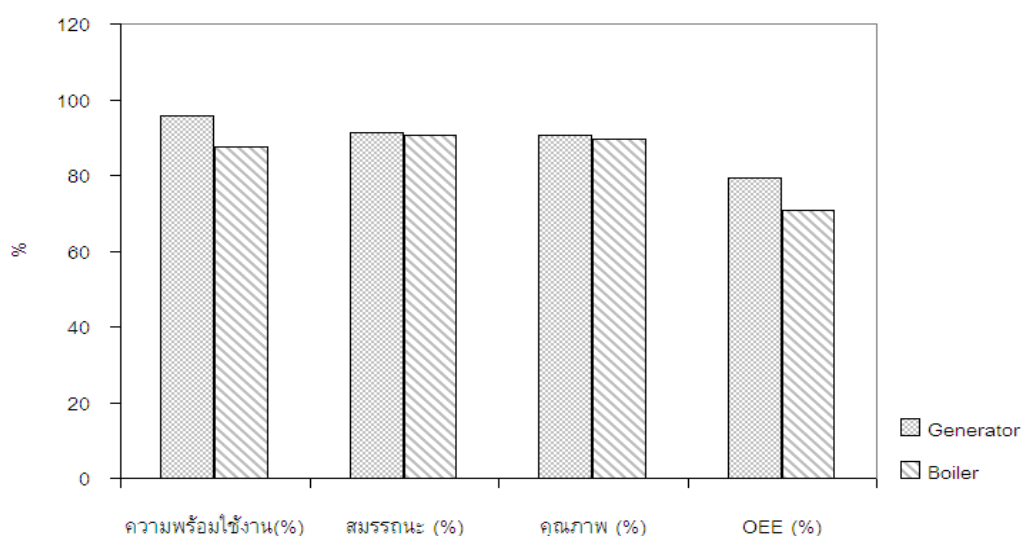
ว/ด/ป	ความพร้อมใช้งาน (%)		สมรรถนะ (%)		คุณภาพ (%)		OEE (%)	
	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater
1/1/2554	95.83	87.50	91.30	90.48	90.48	89.48	79.16	70.84

การสรุปผล วิเคราะห์และการนำเสนอ

หลังจากที่ได้เก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับนำมาคำนวณค่ำ OEE แล้ว ต้องทำการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบความพร้อมใช้งาน สมรรถนะ และคุณภาพ ในเครื่องเดียวกันว่า ตัวแปรใดที่มีค่ำต่ำที่สุดจะต้องหำทางปรับปรุงตัวนั้นก่อนเป็นอันดับแรก เพราะตัวแปรที่มีค่ำต่ำสุดเป็นตัวการลดค่ำ OEE ให้ต่ำลง ดังนั้นเมื่อทำการปรับปรุงจะให้ผลมากที่สุดในการทำให้อุปกรณ์ OEE มีค่ำเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังทำได้ง่ายกว่ำการทำให้ตัวแปรที่มีค่ำสูงอยู่แล้วให้อุปกรณ์สูงขึ้นไปอีก

การติดตามค่ำ OEE ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ทำให้อำสมำรถมองเห็นรูปแบบเพื่อใช้เป็นแนวทำงสำหรับการปรับปรุง โดยนำข้อมูลมำประมวลผลเพื่อเปลี่ยนให้เป็นสรำสนเทศที่สำมำรถนำมำใช้ประโยชน์ได้ การนำเสนอผลของการหำค่ำ OEE จะช่วยให้พนักงานเกิดความตระหนักในเครื่องจักรที่รับผิดชอบ และยังช่วยให้สะดวกในการวิเคราะห์ โดยวิธีการนำเสนอที่ง่ายและเห็นภพได้ชัดเจนนที่สุด คือ การนำเสนอโดยใช้กราฟ

จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่า เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ามีค่า OEE ร้อยละ 79.16 โดยมีความพร้อมใช้งาน ร้อยละ 95.83 มีสมรรถนะ ร้อยละ 91.30 และมีคุณภาพ ร้อยละ 90.48 ส่วนเครื่องกำเนิดความร้อน มีค่า OEE ร้อยละ 70.84 โดยมีความพร้อมใช้งาน ร้อยละ 87.50 มีสมรรถนะ ร้อยละ 90.48 และมีคุณภาพ ร้อยละ 89.48 หากต้องการปรับปรุงค่า OEE สำหรับเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าต้องทำการปรับปรุงในเรื่องคุณภาพก่อน ส่วนเครื่องกำเนิดความร้อนต้องทำการปรับปรุงในเรื่องความพร้อมใช้งานเพราะเป็นตัวแปรที่มีค่าต่ำสุด ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบความสูญเสียในกลุ่มต่างๆของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดความร้อน

ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาหาค่า OEE เฉลี่ยตลอดทั้งเดือนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แบบฟอร์มบันทึกค่า OEE ของเดือนพฤศจิกายน 2553

ว/ด/ป	ความพร้อมใช้งาน (%)		สมรรถนะ (%)		คุณภาพ (%)		OEE (%)	
	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater
1/11/2553	95.83	87.50	91.30	90.48	90.48	89.47	79.17	70.83
2/11/2553	98.75	95.83	87.34	95.65	95.17	95.45	82.08	87.50
3/11/2553	95.83	95.83	82.61	94.35	94.74	95.39	75.00	86.25
4/11/2553	91.67	95.83	77.27	91.30	88.24	90.48	62.50	79.17
5/11/2553	95.83	94.58	81.30	98.68	87.70	89.73	68.33	83.75
6/11/2553	95.83	100.00	78.26	98.75	83.33	87.34	62.50	86.25
7/11/2553	98.13	100.00	83.01	95.83	89.77	91.30	73.13	87.50

ตารางที่ 14 แบบฟอร์มบันทึกค่า OEE ของเดือนพฤศจิกายน 2553 (ต่อ)

ว/ด/ป	ความพร้อมใช้งาน (%)		สมรรถนะ (%)		คุณภาพ (%)		OEE (%)	
	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater	Generator	Heater
8/11/2553	100.00	100.00	75.00	100.00	88.89	91.67	66.67	91.67
9/11/2553	91.67	100.00	68.18	100.00	93.33	95.83	58.33	95.83
10/11/2553	95.83	95.83	65.22	82.61	93.33	94.74	58.33	75.00
11/11/2553	100.00	91.67	75.00	86.36	94.44	94.74	70.83	75.00
12/11/2553	100.00	91.67	79.17	90.91	89.47	90.00	70.83	75.00
13/11/2553	95.83	100.00	82.61	94.58	89.47	91.19	70.83	86.25
14/11/2553	95.83	98.54	73.91	95.77	82.35	86.75	58.33	81.88
15/11/2553	95.83	98.13	85.65	100.00	79.70	83.01	65.42	81.46
16/11/2553	95.83	95.83	82.61	98.70	84.21	86.78	66.67	82.08
17/11/2553	100.00	100.00	79.17	95.83	84.21	86.96	66.67	83.33
18/11/2553	97.71	100.00	81.66	98.75	89.56	91.56	71.46	90.42
19/11/2553	98.75	100.00	78.90	95.83	94.65	91.30	73.75	87.50
20/11/2553	93.75	100.00	82.22	95.83	94.59	91.30	72.92	87.50
21/11/2553	95.83	95.83	78.26	98.04	87.22	89.80	65.42	84.38
22/11/2553	100.00	100.00	83.33	98.75	90.00	91.56	75.00	90.42
23/11/2553	100.00	100.00	83.33	100.00	85.00	87.50	70.83	87.50
24/11/2553	95.83	94.58	78.26	91.19	100.00	100.00	75.00	86.25
25/11/2553	98.75	90.42	78.90	100.00	100.00	90.78	77.92	82.08
26/11/2553	98.75	95.83	74.68	82.61	98.31	98.42	72.50	77.92
27/11/2553	98.33	100.00	74.58	87.50	94.32	95.24	69.17	83.33
28/11/2553	100.00	100.00	79.17	90.42	94.74	95.39	75.00	86.25
29/11/2553	100.00	98.75	87.50	91.56	95.24	86.18	83.33	77.92
30/11/2553	100.00	91.67	91.67	100.00	95.45	90.91	87.50	83.33
ค่า OEE เฉลี่ย =							70.82	83.85

การตั้งมาตรฐานชี้วัดสมรรถนะหลักจากค่า OEE

ในระหว่างที่กระบวนการผลิตดำเนินงานอยู่นั้นการติดตามความก้าวหน้า ความสำเร็จเมื่อเทียบกับแผนที่วางไว้ รวมถึงการทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นให้เร็วที่สุดมีความสำคัญมากต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นองค์กรจึงต้องพัฒนาระบบการควบคุม (Controlling) เพื่อเป็นกลไกในการติดตาม ตรวจสอบ และวัดผลการดำเนินงานหรือประเมินผลการดำเนินงานในด้านต่าง ๆ ซึ่งสามารถแสดงผลของการวัดหรือประเมินในรูปแบบข้อมูลเพื่อสะท้อนประสิทธิภาพ ประสิทธิผลในการปฏิบัติงาน เครื่องมือหนึ่งที่สามารถนำมาช่วยในการควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลัก (Key Performance Index: KPI)

ค่า OEE สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลักของกระบวนการผลิตได้เนื่องจากการหาค่า OEE เป็นการวัดผ่านค่าความสูญเสียต่างๆที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการผลิตและเป้าหมายตามแผนผลิตที่วางไว้นั้นที่สุด การควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อส่งแก๊สไปยังเครื่องกำเนิดความร้อนและเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าจะทำการตั้งค่า OEE ไว้ที่ ร้อยละ 85 ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงจากค่า OEE ในระดับ World Class

การพัฒนากลยุทธ์เพื่อปรับปรุงและเพิ่มค่า OEE

ค่าวัดค่า OEE เป็นวิธีการที่ดีวิธีหนึ่งที่นอกจากทำให้รู้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรแล้วยังรู้ถึงสาเหตุของความสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งในภาพใหญ่ คือ สามารถแยกประเภทการสูญเสียและรายละเอียดของสาเหตุนั้น ทำให้สามารถที่จะป้องกัน ปรับปรุง ลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องและเป็นระบบ ค่า OEE จึงไม่เป็นเพียงค่าตัวแปรหนึ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต แต่เป็นค่าที่สามารถนำมาควบคุมกระบวนการ และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร

ในระหว่างกระบวนการคำนวณค่า OEE เราสามารถแยกประเภทความสูญเสียที่เกิดขึ้น หรือ อาจเกิดขึ้นจนนำไปสู่การลดลงของค่า OEE ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งได้ระบุกลุ่มความสูญเสียตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE โดยให้คำจำกัดความความหมายที่ละเอียดชัดเจนและสาเหตุซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไข

ในการที่จะปรับปรุงเพื่อเพิ่มค่า OEE จึงจำเป็นที่ต้องมีการวางแผนกลยุทธ์เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมาย โดยการวางแผนกลยุทธ์ต้องครอบคลุมถึงวิธีการ งบประมาณ กรอบเวลาที่รวมถึง ผู้รับผิดชอบแผนกลยุทธ์ที่ชัดเจน จากความสูญเสียที่เกิดขึ้นสามารถวางแผนกลยุทธ์ในการป้องกันความสูญเสียดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แผนกลยุทธ์ในการเพิ่มค่า OEE

แผนกลยุทธ์	ขั้นตอนการปฏิบัติ	กรอบเวลา	ผู้รับผิดชอบ	งบประมาณและทรัพยากรอื่นๆ
1. ป้องกันปัญหาในกรณีไฟฟ้าดับ	1.1 วางแผนการทำ PM ของระบบควบคุมการผลิตและจ่ายไฟฟ้า 1.2 ทำ PM ตามแผนที่กำหนดไว้ 1.3 ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด	พ.ย. 53 พ.ย. 53 - ธ.ค. 54 เม.ย. 54	หัวหน้าฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายผลิต	1. ซื้ออุปกรณ์อะไหล่ 30,000 บาท 2. ซื้อเครื่องมือในการซ่อมบำรุง 2,000 บาท 3. งบประมาณการสอบเทียบเครื่องมือวัด 3,000 บาท
2. ลดเวลาในการซ่อมบำรุงในกรณีเกิดปัญหาไฟฟ้าดับ	2.1 บริหารจัดการเรื่องอุปกรณ์ อะไหล่ (ต้องมีอุปกรณ์ที่สำคัญๆเสมอ) 2.2 จัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือที่จำเป็นต่อการซ่อมบำรุง 2.3 ทำการฝึกอบรมให้พนักงานให้มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของการแก้ปัญหาเบื้องต้น 2.4 จัดทำระบบการติดต่อประสานงานเพื่อแก้ปัญหา โดยเฉพาะกรณีที่เกิดปัญหาในกะบ่าย และ กะดึก รวมถึงกรณีวันหยุดเสาร์ อาทิตย์ และ วันหยุดนักขัตฤกษ์	ม.ค. - ธ.ค. 54 ม.ค. - พ.ค. 54 ม.ค. - ธ.ค. 54 ม.ค. - ธ.ค. 54	หัวหน้าฝ่ายผลิต หัวหน้าฝ่ายผลิต ซูเปอร์ไวเซอร์ ซูเปอร์ไวเซอร์	4. งบประมาณในการฝึกอบรม 5,000 บาท

ตารางที่ 15 แผนกลยุทธ์ในการเพิ่มค่า OEE (ต่อ)

แผนกลยุทธ์	ขั้นตอนการปฏิบัติ	กรอบเวลา	ผู้รับผิดชอบ	งบประมาณและทรัพยากรอื่นๆ
3. ลดปัญหาเรื่องก๊าซชีวภาพหมด	3.1 ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง ในกรณีช่วงขาดแคลนวัตถุดิบ ให้นำน้ำ เสียจากบ่อเก็บน้ำเสีย กลับมาป้อนเข้า ระบบ เพื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุก สารอินทรีย์ (OLR)	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ฝ่ายผลิต	1. เดินท่อน้ำเสียจากบ่อเก็บน้ำเสียเข้า มาสู่อุปกรณ์ปรับสมดุล รวมถึงติดตั้งปั๊ม 20,000 บาท 2. ซื้ออุปกรณ์ไหลปั๊มน้ำเสีย 20,000 บาท 3. งบประมาณในการฝึกอบรม 5,000 บาท
	3.2 รักษาภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อ การผลิตก๊าซชีวภาพ	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ฝ่ายวิจัย และ ฝ่ายผลิต	
	3.3 ทำการ PM ระบบปั๊มน้ำเสีย	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ฝ่ายซ่อมบำรุง	
	3.4 จัดทำระบบตรวจสอบคุณภาพของ น้ำเสีย และทำแผนแก้ไขหากเกิดปัญหา การปนเปื้อนสารพิษ	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ฝ่ายวิจัย	
	3.5 จัดทำการฝึกอบรมให้พนักงานให้มี ความรู้ความเข้าใจในเรื่องของการ แก้ปัญหาเบื้องต้น	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ฝ่ายวิจัย	
	3.6 จัดทำสมดุลการจ่ายก๊าซชีวภาพ หากมีแนวโน้มการใช้แก๊สชีวภาพที่มาก เกินไป ให้ทำการลดโหลดการใช้ลง เพื่อ รักษาปริมาณก๊าซชีวภาพ	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	หัวหน้าฝ่าย ผลิต	

ตารางที่ 15 แผนกลยุทธ์ในการเพิ่มค่า OEE (ต่อ)

แผนกลยุทธ์	ขั้นตอนการปฏิบัติ	กรอบเวลา	ผู้รับผิดชอบ	งบประมาณและทรัพยากรอื่นๆ
4. ป้องกันปัญหา ระบบควบคุม PLC ล้มเหลว	4.1 ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ของตู้ควบคุม PLC ปิดตู้ให้สนิท ควบคุม อุณหภูมิให้ไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส	ม.ค. 54	ฝ่ายผลิต	1. ชื้อแอร์สำหรับตู้ควบคุมไฟฟ้า 25,000 บาท
	4.2 เคลือบ Circuit Board ของ PLC Card ด้วยสารเคมี เพื่อป้องกันการกัด กร่อนจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์	เม.ย. 54	หัวหน้า ฝ่ายผลิต	2. ชื้อน้ำยาเคลือบ Circuit Board 5,000 บาท
	4.3 ตรวจสอบการทำงานของ Surge Protection Card เพื่อป้องกันไฟกระชาก	เม.ย. 54	ฝ่ายผลิต	3. จัดทำระบบควบคุมด้วย PID Control 47,000 บาท
	4.4 ทำการฝึกอบรมพนักงาน ให้มี ความรู้ความเข้าใจในเรื่องการควบคุม	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ซูเปอร์ไวเซอร์	4. ชื้อ PLC Card ที่สำคัญเก็บเป็น อุปกรณ์อะไหล่ 50,000 บาท
5. ลด เวลา การ แก้ ปัญหา PLC ล้มเหลว	5.1 ทำการปรับปรุงระบบโดยใช้ PID Control เข้ามาควบคุมระบบทดแทนเมื่อ เกิดปัญหาระบบ PLC ล้มเหลว	ก.พ. 54	หัวหน้า ฝ่ายผลิต	
	5.2 เตรียม PLC Card สำรองโดยเฉพาะ Cardที่มีความสำคัญ กับระบบเพื่อใช้ใน กรณีฉุกเฉิน เช่น CPU Card	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ซูเปอร์ไวเซอร์	

ตารางที่ 15 แผนกลยุทธ์ในการเพิ่มค่า OEE (ต่อ)

แผนกลยุทธ์	ขั้นตอนการปฏิบัติ	กรอบเวลา	ผู้รับผิดชอบ	งบประมาณและทรัพยากรอื่นๆ
6. ป้องกันปัญหาปั๊มก๊าซชีวภาพ (Gas Blower) เสีย	6.1 ทำการ PM ระบบปั๊มก๊าซชีวภาพ 6.2 เปลี่ยนอุปกรณ์ที่เสื่อมตามรอบเวลา ระบุในคู่มือเครื่องจักร	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54 พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายซ่อมบำรุง	1. ซื้ออุปกรณ์อะไหล่ปั๊มก๊าซชีวภาพ 30,000 บาท 2. ซื้ออุปกรณ์อะไหล่ระบบจ่ายก๊าซชีวภาพ 40,000 บาท
7. ป้องกันปัญหาที่เกิดจากหัวฟืนไฟ (Burner) เข้าเครื่องกำเนิดความร้อนไม่ทำงาน	7.1 ทำการ PM ระบบจ่ายแก๊ส 7.2 ทำความสะอาด Flame Arrestor ทุกๆเดือน 7.3 เปลี่ยนแผ่นกรองแก๊สทุกๆเดือน	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54 พ.ย. 53 - ธ.ค. 54 พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายซ่อมบำรุง	
8. ป้องกันปัญหาไฟตก	8.1 จัดทำสมดุลการจ่ายก๊าซชีวภาพ หากมีแนวโน้มการใช้ก๊าซชีวภาพที่มากเกินไปและปริมาณก๊าซชีวภาพไม่เพียงพอให้ทำการลดโหลดการจ่ายก๊าซชีวภาพลงเพื่อรักษาสมดุล	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	หัวหน้าฝ่ายผลิต	

ตารางที่ 15 แผนกลยุทธ์ในการเพิ่มค่า OEE (ต่อ)

แผนกลยุทธ์	ขั้นตอนการปฏิบัติ	กรอบเวลา	ผู้รับผิดชอบ	งบประมาณและทรัพยากรอื่น ๆ
9. ป้องกันปัญหาก๊าซชีวภาพน้อย	9.1 ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง ในกรณีช่วงขาดแคลนวัตถุดิบ ให้นำน้ำเสีย จากบ่อเก็บน้ำเสีย กลับมาป้อนเข้าระบบเพื่อ เพิ่มอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ (OLR) 9.2 รักษาภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการ ผลิตก๊าซชีวภาพ 9.3 ทำการ PM ระบบบิogas	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54 พ.ย. 53 - ธ.ค. 54 พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ฝ่ายวิจัย และ ฝ่ายผลิต ฝ่ายวิจัย ฝ่ายผลิต	1. โซดาไฟ 1,000,000 บาท
10. ป้องกันปัญหา เครื่องกำเนิดความร้อนไม่สามารถทำ อุณหภูมิได้	10.1 ทำการ PM ระบบจ่ายแก๊ส 10.2 ทำความสะอาด Filter และ Flame Arrestor ทุกๆเดือน	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54 พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายวิจัย และ ฝ่ายผลิต	
11. ค่ามีเทนต่ำกว่า มาตรฐาน	11.1 ควบคุมการรับอัตราภาระบำบัดทุกสาร อินทรีย์ (OLR) ให้เหมาะสม 11.2 รักษาภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อ การผลิตก๊าซชีวภาพ 11.3 เติมโซดาไฟเพื่อเพิ่ม ALK และ pH	พ.ย. 53 - ธ.ค. 54 พ.ย. 53 - ธ.ค. 54 พ.ย. 53 - ธ.ค. 54	ฝ่ายวิจัย และ ฝ่ายผลิต	



บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิเคราะห์

เมื่อดำเนินการศึกษาและเก็บค่าองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการเพื่อนำมาคำนวณค่า OEE ของเครื่องกำเนิดความร้อนและเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าโดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2553 เป็นต้นมาจะได้ค่า OEE เฉลี่ยดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่า OEE เฉลี่ยแยกตามภาระการใช้งาน

Output แยกตาม ภาระการใช้งาน	OEE %		
	พฤศจิกายน 2553	ธันวาคม 2553	มกราคม 2554
เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า	70.82	79.26	82.50
เครื่องกำเนิดความร้อน	83.85	85.52	88.73

จากผลการดำเนินงานตลอด 3 เดือนที่ผ่านมา พบว่า สามารถเพิ่มค่า OEE ของเครื่องกำเนิดความร้อนและเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะค่า OEE ของเครื่องกำเนิดความร้อนสามารถบรรลุเป้าหมายเกินกว่าค่า KPI ที่ตั้งไว้ที่ ร้อยละ 85 ในเดือนธันวาคม 2553 ส่วนค่า OEE ของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นแต่เพิ่มในสัดส่วนที่น้อยกว่าค่า OEE ของเครื่องกำเนิดความร้อน เนื่องจากในช่วงปลายปีจะเป็นช่วงที่ขาดแคลนหัวมันซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก ทำให้มีปริมาณน้ำเสียลดลงและส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพลดลง แต่ในการส่งก๊าซไปยังภาระการใช้งานจะเลือกเครื่องกำเนิดความร้อนเป็นลำดับแรกเพราะสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาซึ่งมีค่าราคาสูงและเป็นต้นทุนหลักในการผลิต ทำให้สมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลง เนื่องจากต้องลดกำลังการผลิตอันเป็นผลมาจากปริมาณก๊าซชีวภาพน้อยตามเหตุผลข้อที่ 2 ของความสูญเสียหลักตามองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของ OEE ในตารางที่ 6

ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการเพิ่มค่า OEE คือ การฝึกอบรมพนักงานให้มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการใช้ค่า OEE ในการควบคุมดูแลระบบ และการนำแผนกลยุทธ์ที่วางไว้ดังแสดงในตารางที่ 15 ไปปฏิบัติอย่างจริงจัง ทำให้สามารถป้องกันและลดความสูญเสียในรูปแบบต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการของค่า OEE

ผลของการเพิ่มค่า OEE ทำให้บริษัทกรณีศึกษาได้รับผลประโยชน์ต่าง ๆ ดังนี้

1. สามารถเพิ่มผลกำไรจากการเพิ่มมากขึ้นของผลผลิตของทั้งเครื่องกำเนิดความร้อนและเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ปริมาณผลผลิตที่ได้เมื่อใช้ค่า OEE ในการควบคุมกระบวนการ

ผลผลิตที่ได้แยกตามภาระการใช้งาน	พฤศจิกายน 2553	ธันวาคม 2553	มกราคม 2554
ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์)	58,776	177,270	200,250
ปริมาณแก๊สที่ใช้ในเครื่องกำเนิดความร้อน (ลูกบาศก์เมตร)	1,612,950	1,776,405	1,887,364

2. ลดการขัดข้องของเครื่องจักร (Downtime)
3. ลดต้นทุนการผลิตจากการลดลงของค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักร
4. เพิ่มการมีส่วนร่วมของพนักงานทั้งในเรื่องการดูแลเครื่องจักรและการแก้ปัญหา

อย่างไรก็ตามการนำ OEE มาใช้งานมีข้อควรระวัง คือ จะต้องทำความเข้าใจในที่มาของข้อมูลอย่างชัดเจน เนื่องจากการคำนวณค่า OEE มีจุดที่ทำให้เกิดการตีความ และการตัดสินใจที่แตกต่างกันได้ เช่น การคิดเวลาหยุดของเครื่องจักรว่าจะต้องนานเท่าใดถึงจะบันทึกได้ หรือการตัดสินใจในค่า OEE ที่เท่ากันแต่จากความสูญเสียที่ต่างกัน หรือจากการพิจารณาค่า OEE เพียงอย่างเดียว โดยไม่พิจารณาค่าผลผลิตโดยรวม ทำให้เข้าใจผิดว่าเครื่องจักรมีการใช้งานสูงได้ตั้งนั้นในการหาค่า OEE ควรเตรียมความพร้อมในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ความพร้อมทางด้านบุคลากร คือ การที่จะทำการสรุปข้อมูลในเรื่องของค่า OEE หรือข้อมูลในส่วนต่าง ๆ ก็ตาม ข้อมูลเหล่านี้ล้วนต้องใช้เวลาและความรู้ความเข้าใจในการจัดเก็บข้อมูล ดังนั้นบุคคลที่เข้ามารับผิดชอบจึงจำเป็นต้องมีความรู้ความสามารถในด้านของข้อมูลที่ได้รับมอบหมายด้วย และต้องมีความรอบคอบเป็นอย่างดี เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือและถูกต้องมากที่สุด

2. ความพร้อมทางด้านเครื่องมือ คือ การที่จะทำการสรุปข้อมูลในเรื่องของค่า OEE หรือข้อมูลในส่วนต่าง ๆ ก็ตาม เป็นไปได้ยากมากถ้าไม่มีเครื่องมือช่วยในการคำนวณหรือวิเคราะห์ เพราะค่า OEE นั้นต้องใช้ข้อมูลหลายส่วนด้วยกัน และเป็นข้อมูลที่ต้องมีการบันทึก เช่น รายงานผลผลิต รายงานปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นพร้อมบันทึกเวลาที่เกิดปัญหาขึ้นจนถึงเวลาสิ้นสุดของปัญหาโดยเครื่องมือในที่นี้จะประกอบไปด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการลงโปรแกรมและ

จัดเก็บข้อมูล โปรแกรมที่ใช้ในการบริหารจัดการข้อมูล และโปรแกรมฐานข้อมูลที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล

3. ความพร้อมทางด้านระบบ คือ ระบบการปฏิบัติงานนั้นจะต้องสอดคล้องกับการจัดเก็บข้อมูลต่างๆเพื่อที่สามารถจะนำข้อมูลนั้นไปทำการสรุปค่า OEE ได้

ข้อเสนอแนะ

โรงงานกรณีศึกษาใช้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ จากการศึกษาพบว่ามันสำปะหลังเป็นผลผลิตการเกษตรที่ขึ้นอยู่กับฤดูกาลซึ่งมีผลผลิตมากในช่วงต้นปีและช่วงปลายปี ส่วนกลางปีจะมีผลผลิตออกน้อย อีกทั้งความแปรปรวนของสภาวะอากาศและการระบาดของโรคพืช ล้วนมีผลให้ผลผลิตมันสำปะหลังน้อย ปริมาณน้ำเสียแปรผันตามปริมาณมันสำปะหลังที่เข้าสู่กระบวนการแปรรูป ในช่วงเวลาที่มันสำปะหลังมากจะมีน้ำเสียจากกระบวนการมาก ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะมีปริมาณมาก ทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องปริมาณก๊าซชีวภาพ ระบบสามารถจ่ายแก๊สไปยังเครื่องกำเนิดความร้อนและเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างเต็มที่ แต่ในช่วงที่ผลผลิตมันสำปะหลังน้อย ทำให้ปริมาณน้ำเสียน้อยตามไปด้วย ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพน้อยลงจนไม่สามารถจ่ายแก๊สตามความต้องการของเครื่องกำเนิดความร้อนและเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างเต็มที่ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความพร้อมใช้งานและสมรรถนะของเครื่องจักรโดยเฉพาะเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่ต้องลดกำลังการผลิตลง

ดังนั้นในการตั้งค่า OEE เป็นดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลักของกระบวนการควรกำหนดค่าออกเป็น 2 แผน (Scenario) ตามปริมาณวัตถุดิบเพื่อให้พนักงานสามารถบรรลุถึงเป้าหมายได้จริงดังนี้

แผนที่ 1 จะใช้ในช่วงที่มีปริมาณมันสำปะหลังมากโดยให้อ้างอิงค่า OEE ที่ 85% อ้างอิงจากค่า OEE ในระดับ World Class ทั้งเครื่องกำเนิดความร้อนและเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า

แผนที่ 2 จะใช้ในช่วงที่มีปริมาณมันสำปะหลังน้อยโดยให้อ้างอิงค่า OEE จากเดือนพฤศจิกายน 2553 เป็นข้อมูลฐาน เนื่องจากเป็นช่วงปริมาณมันสำปะหลังน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเดือนอื่นๆที่มีการเก็บค่า OEE

ประโยชน์ที่ได้จากการทำสารนิพนธ์

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การศึกษานี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ คือ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพได้ โดยค่า OEE ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสมรรถนะหลักของกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้บริษัทฯ ได้รับประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นว่านอกเหนือจากอุตสาหกรรมประกอบการผลิต (Assembly Line) และ

อุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรในการผลิต ค่า OEE สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงกับ
อุตสาหกรรมด้านชีวภาพ (Biological Process) อีกด้วย



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2546). **คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1.**
 กรุงเทพฯ : ฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ.
- กวี ตันติวงษ์. (2553, 15 พฤศจิกายน). **กรรมการผู้จัดการ บริษัท สงวนวงษ์ จำกัด.**
สัมภาษณ์.
- จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์; และ อภิสิทธิ์ บุญเกิด. (2553). การปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวม
 ของเครื่องจักรในโรงงานผลิตมอเตอร์. **วารสารวิจัยพลังงาน. 7(1) : 76-86.**
- ณัฐวุฒิ บุญเยี่ยม; และคนอื่นๆ. (2549). การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วย
 กระบวนการไร้ออกซิเจนสองขั้นตอน. ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ
 สิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 5.** หน้า 1-9. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
 แห่งประเทศไทย.
- ธนิยา เกาสล. (2540). **สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของถังหมักไร้อากาศในการบำบัด
 ตะกอน.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธีระ เกรอด. (2539). **วิศวกรรมน้ำเสียการบำบัดทางชีวภาพ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ :
 สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธานี อ่วมอ้อ. (2547). **การบำรุงรักษาทวิผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม.** พิมพ์ครั้งที่ 2.
 กรุงเทพฯ : พีค บุลส์.
- นาคาخمะ, เซอิจิ; และ ชิโรเซะ คุมิโอะ. (2550). **การดำเนินกิจกรรม TPM เพื่อการปฏิรูป
 การผลิต.** แปลโดย สมชัย อัครทิวา; และ รังสรรค์ เลิศในสัตย์. พิมพ์ครั้งที่ 5.
 กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- นิศากร สมสุข; และคนอื่นๆ. (2551, 20-22 ตุลาคม). การศึกษาและปรับปรุงประสิทธิผล
 โดยรวมของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตท่อ. ใน **การประชุมวิชาการข่ายงาน
 วิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี พ.ศ. 2551.** สืบค้นเมื่อ 12 มีนาคม 2554, จาก
http://www.ie.psu.ac.th/ienet_2008/papers/ienetwork2008/op_paper.htm

- นฤทธิ์ เร้ารุ่งอรุณ; และ ดาริชา สุธีวงศ์. (2551, 20–22 ตุลาคม). การเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ : กรณีศึกษาเครื่องเชื่อมวงจรในอุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวม. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2551. สืบค้นเมื่อ 9 มีนาคม 2554, จาก http://www.ie.psu.ac.th/ienet_2008/papers/ienetwork2008/op_paper.htm
- พรพรรณ วิศาลวรรณ. (2548). ประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สมีเทนจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ). นครศรีธรรมราช : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- ไพศาล ลีตระกูล. (2551). การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานโม้หินปูนด้วยเทคนิควิศวกรรมอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (การจัดการอุตสาหกรรม). เชียงใหม่ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ยอดนภา เกษเมือง; และคนอื่นๆ. (2552). การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร : กรณีศึกษา หจก.สุจรรยาพาณิชย์. ใน เอกสารการประชุมวิชาการทฤษฎีศึกษาคั้งที่ 2. หน้า 1-7. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธนบุรี.
- วิกิพีเดีย. (2554ก). ไบโอก๊าซ. สืบค้นเมื่อ 12 มีนาคม 2554, จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/ก๊าซชีวภาพ>
- (2554ข). อุณหภูมิในการเดินระบบ (Operating Temperature) ไบโอก๊าซ. สืบค้นเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2554, จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/ก๊าซชีวภาพ>
- วันทนีย์ อนันต์พุดกุล. (2547). การผลิตแก๊สชีวภาพจากหัวมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ชีววิทยาสังแวดล้อม). นครราชสีมา : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศศิวิมล จันทรังษี; และ รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล. (2551, 20–22 ตุลาคม). การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรและอุปกรณ์ด้วยระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน : กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางในรถจักรยานและรถจักรยานยนต์. ใน การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2551. สืบค้นเมื่อ 12 มีนาคม 2554, จาก http://www.ie.psu.ac.th/ienet_2008/papers/ienetwork2008/etc_paper.htm
- สถาพร ศรีสุทัศน์; วรุณี กุลวัณณิลาศ; และ สถาปนิก วงศ์สุวรรณ. (2550). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตชิ้นส่วนคอมเพรสเซอร์ โดยใช้หลักการ TPM มาประยุกต์ใช้ : กรณีศึกษากระบวนการผลิตแอร์บอร์ตันใหญ่. ปรินญาณินพนธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

สุรชาติ วิชัยดิษฐ; กิตติ เจตรังษี; และ สันหทัย กลิ่นพิกุล. (2551). การประยุกต์ใช้เทคนิค TPM ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซ. ใน เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46. หน้า 398-405. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของ กรมศุลกากร. (2554). สถิติการส่งออก (Export) แบ่งตามสำปะหลัง : ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน. สืบค้นเมื่อ 19 มีนาคม 2554, จาก http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php

Bachmann, A. (1982). Comparison on Fixed Film Reactors with a Modified Sludge Blanket Reactor. In **Proceedings of the 1st International Conference on Fixed Film Biological Process**. V.2. pp.1192-1211. California : Stanford University.

Ferraz, Fernanda M.; Bruni, Aline T.; & DelBianchi, Vanildo L. (2009). Performance of An Anaerobic Baffled Reactor (ABR) in Treatment of Cassava Wastewater. In **Brazilian Journal of Microbiology**. V.40. pp.48-53. Brazil : Ferraz.

Mirafkova, L.; Hutnan, M.; & Drtil, M. (2000). Behavior of Anaerobic Baffled Reactor Treating Nonacidified Wastewater. In **Chemical Paper**. V.54. pp. 448-445. Slovak : Slovak University of Technology.

Muchiri, P.; & Pintelon, L. (2008). Performance Measurement Using Overall Equipment Effective (OEE). In **International Journal of Production Research**, V.46. pp. 3517-3535. Belgium : Centre for Industrial Management (CIB).

Nakajima, Seiichi. (1989). **TPM Development Program**. First Edition. Tokyo : Asian Productive Organization.

Parkin. G.F.; & Owen. W.F. (1986). Foundation of Anaerobic of Wastewater Sludge. In **Journal Environmental Engineering** 112. pp. 867-960. Amsterdam : Elsevier.

Rittmann, B.E.; McCarty, P.L. (2001). **Environmental Biotechnology**. New York : McGraw-Hill.

Ross, Charles C.; & Walsh. James L. (1996). **Handbook of Biogas Utilization**. Alabama : U.S. Department of Energy.

- Speece, R.E. (1996). Effect of Temperature in Methane Format Process. In **Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater Treatment**. pp. 23. Nashville : Archae Press.
- Tchobanoglous, George.; Burton. Franklin L.; & Stensel. David H. (2003). **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**. New York : McGraw-Hill.
- The Productivity Development Team. (2550). ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร. แปลโดย พรเทพ เหลือทรัพย์สุข; และ ยุพา กลอนกลาง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : อี.ไอ.สแควร์.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ



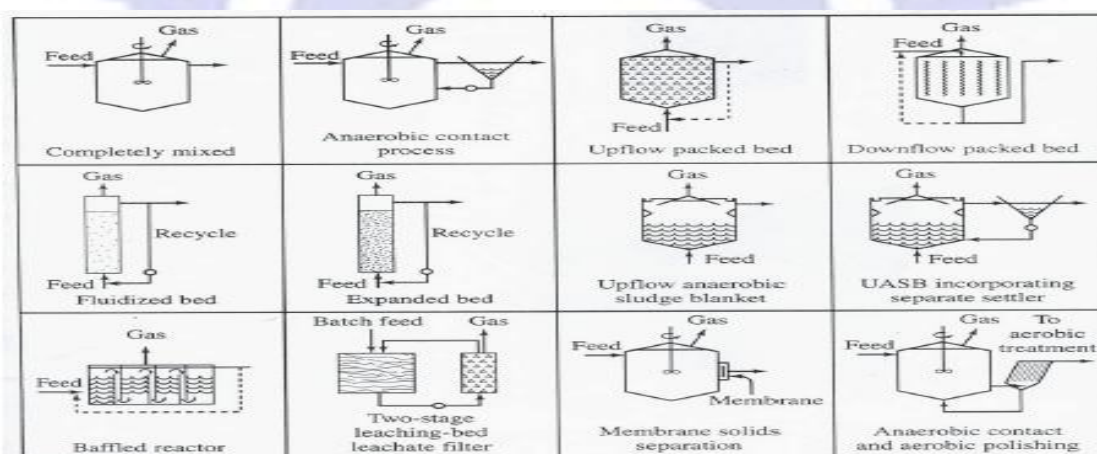
ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

1. องค์ประกอบของน้ำเสีย (Wastewater Composition)

องค์ประกอบของน้ำเสียเป็นตัวกำหนดสารตั้งต้นที่จะเข้าสากระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ผลได้ (Yield) และปฏิกิริยาทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบจึงมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับคุณภาพของน้ำเสียเข้า โดยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่พบได้ทั่วไปในสัดส่วนที่แตกต่างกันตามชนิดของน้ำเสียแต่ละประเภท จะส่งผลต่อปริมาณและสัดส่วนของแบคทีเรียที่มีบทบาทเด่นชัดในระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากสารตั้งต้นที่มีอยู่ในระบบ

2. รูปแบบของถังปฏิกริยา (Reactors Configuration)

ถังปฏิกริยาไร้อากาศที่ใช้โดยทั่วไปมีความหลากหลายแตกต่างกันออกไปตามประเภทการใช้งานและคุณลักษณะของน้ำเสีย โดยหลักการพื้นฐานก็เพื่อรักษาเซลล์แบคทีเรียในถังหมักให้ดำรงอยู่และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รูปแบบถังปฏิกริยาสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆด้วยกัน ได้แก่ ถังปฏิกริยาแบบเซลล์กระจายตัว (Suspended-Growth Reactor) เช่น ถังปฏิกริยาอานอกซ์มิก ถังปฏิกริยาแบบ Plug Flow และถังปฏิกริยาแบบสัมผัสเป็นต้น ถังปฏิกริยาอีกรูปแบบหนึ่ง ได้แก่ ถังปฏิกริยาแบบมีวัสดุยึดเกาะ (Attached-Growth Reactor) ตัวอย่างเช่น ถังปฏิกริยาแบบ Fluidized Bed ถังปฏิกริยาแบบ Fixed Film และถังปฏิกริยาแบบจานหมุน เป็นต้น โดยมีรายละเอียดแตกต่างกันไปตามลักษณะและจัดเรียงตัวของถังปฏิกริยาดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 รูปแบบและการจัดเรียงของถังปฏิกริยาประเภทต่างๆ

ที่มา : Ross. Charles C.; & Walsh. James L. (1996). **Handbook of Biogas Utilization.** p. 5.

3. เวลาเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time: HRT)

เวลาการเก็บกักน้ำเสียเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ความสามารถของถังหมักในการรองรับปริมาณน้ำเสียต่อวัน ซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นกับสมบัติน้ำเสียและสภาวะที่ใช้ในการเดินระบบ โดยเวลาเก็บกักที่ใช้ต้องนานพอที่จะทำให้ความเข้มข้นของสารอยู่ในจุดที่เหมาะสม คือ มีการเจือจางสารพิษต่างๆให้อยู่ในสภาพที่ไม่เป็นอันตรายต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ ซึ่งอาจต้องใช้ถึงปฏิกิริยาที่มีปริมาตรใหญ่พอสมควร เวลาเก็บกักของแข็ง (Solid Retention Time: SRT) เป็นอีกพารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมชนิดของแบคทีเรียที่มีบทบาทในกระบวนการสร้างมีเทนให้ดำเนินไปตามขั้นตอน มีปัจจัยหลายประการด้วยกันที่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือกเวลาเก็บกักน้ำเสียต่ำสุดที่ทำให้กระบวนการบำบัดได้สมบูรณ์ครบถ้วน ซึ่งหากเวลาเก็บกักที่ใช้มีค่าน้อยเกินไปจะส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการชะออก (Wash-Out) ของจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาเป็นเหตุนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบได้ สำหรับถังหมักแบบกวนผสม เวลาเก็บกักน้ำเสียมีค่าเท่ากับเวลาเก็บกักของแข็ง ดังนั้นหากเวลาที่ใช้ยาวนานเกินไปจะส่งผลให้การสะสมตัวของชีวมวลในระบบมากเกินไป ระบบอาจสูญเสียสมดุลและหยุดชะงักลงได้

4. อัตราการป้อนน้ำเสีย (Organic Loading Rate: OLR)

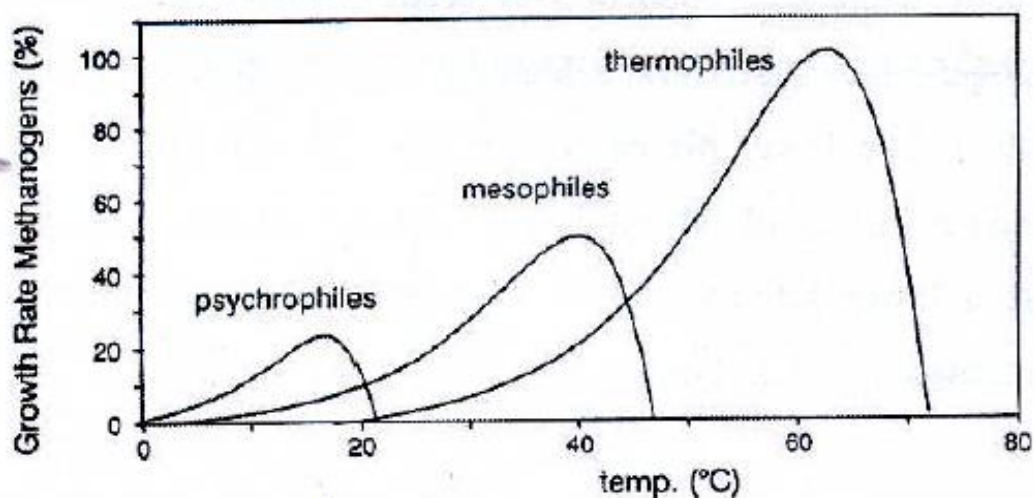
อัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นกับอัตราการไหลและความเข้มข้นของน้ำเสีย เป็นค่าที่สำคัญต่อการออกแบบถังปฏิกิริยาและเดินระบบ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของชีวมวลที่อยู่ในระบบ สำหรับถังหมักอัตราสูง (High Rate Reactor) สามารถชี้วัดได้จากระบบสามารถรองรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้สูงซึ่งค่าโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 5-40 กก.ซีโอดี/วัน

5. อุณหภูมิ (Temperature)

โดยทั่วไปในการบำบัดน้ำเสีย อุณหภูมิที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 ช่วงด้วยกัน ได้แก่ ช่วงอุณหภูมิปกติ (30-40 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิสูง (50-60 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิที่ใช้จะมีผลต่อการย่อยสลายสารที่มีโมเลกุลใหญ่และสร้างกรดเป็นอย่างมาก Speece (1996) กล่าวว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักจะส่งผลต่อค่า μ_{max} และ K_s ซึ่งมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 17

6. พีเอช (pH)

โดยทั่วไปแบคทีเรียสร้างมีเทนจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.7-7.4 โดยค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ 7.0-7.2 และระบบจะล้มเหลวได้เมื่อพีเอชลดต่ำลงจนถึง 6.0 ทั้งนี้เนื่องจากภายในถังหมัก แบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรดจะผลิตกรดไขมันระเหยจำนวนมาก ซึ่งหากระบบยังอบอยู่ในสภาวะสมดุล พีเอชที่ลดต่ำลงนี้จะถูกปรับให้คืนสภาพโดยไบคาร์บอเนตที่ผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ในทางกลับกันหากสมดุลของระบบเสียไป สภาพความเป็นบัฟเฟอร์ก็จะหมดไป ขั้นตอนในการสร้างมีเทนก็จะหยุดชะงักลง



รูปที่ 17 ผลของอุณหภูมิการหมักที่มีผลต่ออัตราการเจริญจำเพาะของจุลินทรีย์สร้างมีเทน

ที่มา : Tchobanoglous, George.; Burton. Franklin L.; & Stensel. David H. (2003). **Wastewater Engineering Treatment and Reuse.** p. 559.

7. สารอาหาร (Nutrient)

แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นกลุ่มที่ต้องการสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งหากขาดสารอาหารเหล่านี้อาจส่งผลให้ระบบด้อยเสถียรภาพและเป็นเหตุนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบได้ โดยทั่วไปความต้องการสารอาหารของแบคทีเรียในระบบแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารอาหารที่ต้องการปริมาณมาก (Macronutrient) และต้องการปริมาณน้อย (Micronutrient) สารอาหารเหล่านี้มีหน้าที่ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเจริญและเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียในระบบ ดังแสดงในตารางที่ 18

8. สารพิษ (Toxicants)

สารพิษที่พบในระบบหลายตัวด้วยกันที่ส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มต่างๆ แม้ว่าจะมีในปริมาณน้อยดังแสดงในตารางที่ 19 ซึ่งหากแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในระบบสามารถปรับตัวให้ทนต่อสารพิษที่เกิดขึ้น ระบบก็จะยังรักษาสมดุลได้ ในทางตรงกันข้าม หากระบบไม่เกิดการปรับตัวขึ้น กระบวนการสร้างมีเทนจะถูกยับยั้งโดยสารพิษเหล่านั้น ดังจะสังเกตได้จากปริมาณมีเทนที่ลดต่ำลง และกรดไขมันระเหยต่างๆเกิดการสะสมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและต่อเนื่อง

วิธีที่ใช้สำหรับควบคุมความเป็นพิษของระบบบำบัดแบบไร้อากาศดังต่อไปนี้ (Rittmann; & McCarty. 2001)

1. กำจัดสารพิษออกจากน้ำเสียขาเข้า

2. เจือจางน้ำเสียให้ความเป็นพิษมีค่าที่ต่ำกว่า Toxic Threshold
3. ตกตะกอนสารพิษหรือเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ
4. ควบคุมพีเอชของระบบเพื่อให้สารพิษเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นอันตราย
5. เติมสารเคมีที่มีสมบัติเป็น Antagonistic กับสารพิษ

ตารางที่ 18 สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ

สารอาหาร	ปริมาณที่ ต้องการ (มก./ก. ซีโอดี)	หน้าที่สำคัญ
ไนโตรเจน	5 - 15	ใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ และเป็นองค์ประกอบของเซลล์ โดยรูปรีดิวซ์ เช่น อะมิโนไนโตรเจน ($R-NH_2$) ซึ่งมีความสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน
ฟอสฟอรัส	0.8 – 2.5	ใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ มีความสำคัญในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิกภายในเซลล์
โปตัสเซียม	-	มีความสำคัญในการลำเลียงสารผ่านเข้า-ออกเซลล์ โดยจะช่วยให้เพิ่มความสามารถในการยอมให้สารผ่านของผนังเซลล์และยังรักษาสสมดุลแคตไอออนภายในเซลล์
ซัลเฟอร์	1- 3	โดยทั่วไปซัลเฟอร์ในรูปซัลไฟด์จะกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์สร้างมีเทน โดยจะเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น Carbon Monoxide Dehydrogenase (CODH) , Formate Dehydrogenase (FDH) เป็นต้น
โมลิบดีนัม	0.04	พบได้ในเอนไซม์ FDH นอกจากนั้นโมลิบดีนัมอาจส่งผลยับยั้งแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ทำให้กระบวนการสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกจำกัด
เหล็ก	0.03	พบได้ในเนื้อเยื่อของจุลินทรีย์สร้างมีเทนในความเข้มข้นที่สูงกว่าสารโลหะหนักอื่นๆ เนื่องจากเหล็กมีความสามารถในการรีดิวซ์สูง เหล็กเป็นตัวช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ อีกทั้งยังช่วยตกตะกอนซัลไฟด์และส่งเสริมการหลั่งของสารพอลิเมอร์ภายนอกเซลล์
สังกะสี	0.02	พบในจุลินทรีย์สร้างมีเทน เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ เช่น FDH, Super Dismutase (SODH) และ

ตารางที่ 18 สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ (ต่อ)

สารอาหาร	ปริมาณที่ ต้องการ (มก./ก. ซีโอดี)	หน้าที่สำคัญ
		Hydrogenase
ทองแดง	0.004	พบในจุลินทรีย์สร้างมีเทน เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ ยักตัวอย่างเช่น Super Dismutase (SODH) และ Hydrogenase
นิกเกิล	0.004	พบในจุลินทรีย์สร้างมีเทนเป็นองค์ประกอบใน โคเอนไซม์ F ₄₃₀
เซลีเนียม	0.004	พบในเอนไซม์และกรดนิวคลีอิกของจุลินทรีย์
ทังสเตน	0.004	พบในเอนไซม์ FDH
โคบอลต์	0.003	เป็นองค์ประกอบของคอร์ริโนยด์ และเอนไซม์จำเพาะ

ตารางที่ 19 สารพิษที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบ

สารพิษ	ผลการยับยั้ง
ออกซิเจน	จุลินทรีย์สร้างมีเทนจัดอยู่ในพวกไม่ชอบอากาศ และไม่สามารถทนต่อสภาวะ ที่มีออกซิเจนได้แม้มีความเข้มข้นต่ำๆ แต่หากจุลินทรีย์รวมตัวกันในรูป แกรนูลก็สามารถทนต่อออกซิเจนได้บ้าง
แอมโมเนีย	แอมโมเนียในรูปที่ไม่มีประจุจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทนอย่างมาก โดยที่ แอมโมเนียที่มีความเข้มข้น 1,500 – 3,000 มก./ล. จะยับยั้งการทำงานของ จุลินทรีย์สร้างมีเทน
สารประกอบ Chlorinated Hydrocarbon	สารประกอบเหล่านี้มีพิษอย่างมากต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน โดยเฉพาะ คลอโรฟอร์มที่มีความเข้มข้น 1 มก./ล. จะส่งผลให้เกิดการยับยั้งการสร้างมีเทน อย่างสิ้นเชิง
สารประกอบ Benzene ring	สารประกอบประเภทนี้ ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน ฟีนอล และเพนตาคลอโรฟีนอล ส่งผลให้เกิดการยับยั้งจุลินทรีย์สร้างมีเทนบางสกุล เช่น Methanobacterium Espanolae, M. Bryantii และ Methanothrix Concillii
ฟอร์มาลดีไฮด์	ที่ความเข้มข้น 100 มก./ล. จะส่งผลให้เกิดการยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทน มาก แต่ผลดังกล่าวอาจลดน้อยลงเมื่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ ต่ำลง

ภาคผนวก ข.

การควบคุมและติดตามการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ



การควบคุมและติดตามการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

ระบบบำบัดแบบไร้อากาศนั้นควบคุมได้ยาก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่อาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลากหลายกลุ่มซึ่งอยู่รวมกันแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมของแบคทีเรียแต่ละกลุ่มอยู่ในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่า แบคทีเรียสร้างกรดมีความสามารถสูงกว่ากลุ่มสร้างมีเทน ด้วยเหตุนี้หากมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นและทำลายภาวะสมดุลของการอยู่ร่วมกันของแบคทีเรียการทำงานของแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มก็จะไม่สอดคล้องกัน ส่งผลให้เสถียรภาพของระบบได้รับความเสียหาย ประสิทธิภาพของการทำงานลดลง จนในที่สุดถึงหมักอาจเกิดความล้มเหลวขึ้นโดยสิ้นเชิง

สาเหตุหนึ่งของการเสียสมดุลของระบบ คือ การเพิ่มปริมาณน้ำเสียหรือปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังหมัก ผลที่เกิดขึ้น คือ ความเข้มข้นของกรดระเหยไขมันมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและอัตราการผลิตมีเทนลดลงในลำดับต่อมา ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อถึงหมักได้รับสารอินทรีย์ที่มากขึ้นกว่าปกติ อัตราการเจริญของจุลินทรีย์สร้างกรดจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากได้รับสารอาหารมากขึ้น ส่งผลให้กรดไขมันระเหยถูกสร้างขึ้นอย่างรวดเร็ว สิ่งเหล่านี้จะเร่งให้จุลินทรีย์สร้างมีเทนต้องเพิ่มอัตราการเจริญตามเพื่อให้ย่อยสาร Intermediates ที่เกิดขึ้นได้ทัน แต่เนื่องจากความสามารถสูงสุดในการเจริญของจุลินทรีย์สร้างมีเทนมีค่าต่ำกว่าจุลินทรีย์สร้างกรด อัตราการย่อยกรดไขมันระเหย (ของจุลินทรีย์สร้างมีเทน) จึงต่ำกว่าอัตราการสร้างกรดไขมันระเหย (ของจุลินทรีย์สร้างกรด) ทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งหากระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ (Buffer Capacity) พอเพียง อิทธิพลของกรดไขมันระเหยก็จะส่งผลไม่รุนแรง(พีเอชจะลดลงไม่มาก) ตัวอย่างเช่น เมื่อถึงหมักได้รับการป้อนสารตั้งต้นประเภทคาร์โบไฮเดรตในระดับสูงแต่ไม่รุนแรง(Mild Overload) ปฏิกริยาที่เกิดดังสมการต่อไปนี้



จากปฏิกริยาจะเห็นได้ว่าเมื่อกลูโคสผ่านเข้าระบบจะเกิดการสะสมของกรดอะซิติก ซึ่งหากระบบยังไม่ได้รับอันตรายจากการป้อนสารอินทรีย์ที่มากเกินไป กรดอะซิติก กรดไขมันระเหยชนิดอื่นๆและไฮโดรเจนก็จะสะสมเพิ่มขึ้น กรดไขมันระเหย เช่น โพรไพโนเอทก็จะทำปฏิกริยาต่อไปได้อะซิเตทและไฮโดรเจน จากนั้นไฮโดรเจนจะทำปฏิกริยาต่อไปเป็นมีเทน ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 10^{-4} ถึง 10^{-6} บรรยากาศ หากไฮโดรเจนสะสมสูงกว่าค่าดังกล่าว จะทำให้การผลิตอะซิติกชะลอลง ในขณะที่กรดไขมันระเหยสายยาว เช่น บิวทิเรท จะเกิดการสะสมขึ้นแทน จุลินทรีย์สร้างมีเทนก็จะมีโอกาสย่อยสลายกรดอะซิติกและกำจัดไฮโดรเจนที่สะสมอยู่ในระบบ สมดุลของระบบก็จะได้รับการรื้อฟื้นขึ้นมาได้ โดยไม่จำเป็นต้องปรับสภาพพีเอช

อย่างไรก็ตาม หากถึงหมักยังคงได้รับการป้อนอินทรีย์ในอัตราที่สูงต่อไปจนถึงระดับรุนแรง (Completely Overload) ความเป็นพิษของไฮโดรเจนที่สะสมอยู่ในระบบจะส่งผลชัดเจน โดยปฏิกิริยาจะเคลื่อนไปทางขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ (กลูโคส) เป็นกรดโพรพิโอนิกดังปฏิกิริยานี้



และเมื่อโพรพิโอเนตปริมาณมากที่เกิดขึ้นถูกย่อยเป็นอะซิเตท ระบบจะเกิดการสะสมของอะซิเตทเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง หากกำลังบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอ กรดไขมันระเหยที่สะสมอยู่ปลดปล่อยของระบบทำให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์สร้างมีเทนชะลอลง และเมื่อปล่อยให้สภาวะเช่นนี้เกิดขึ้นต่อไป พีเอชก็จะลดลงตามลำดับ จนในที่สุดถึงหมักก็ไม่สามารถผลิตแก๊สมีเทนต่อไป

สำหรับการติดตามการทำงานของระบบอาจทำได้โดยการวัดแอกติวิตีของจุลินทรีย์ เช่น การวัดอัตราการผลิต นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบและทำให้เสียสมดุลของระบบสูญเสีย ดังนั้นหากกระบวนการบำบัดสูญเสียสมดุลไป ควรจะต้องได้รับการแก้ไขทันทีเนื่องจากการแก้ไขในภายหลังจะกระทำได้ยากและใช้เวลานาน สัญญาณเตือนเหตุล่วงหน้าที่ยบ่งชี้การเสียสมดุลของระบบมีหลายประการด้วยกัน ได้แก่

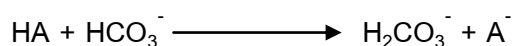
1. ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid Concentration)

โดยปกติความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยประมาณ 20-400 มก./ล. (ในรูปกรดอะซิติก) จัดเป็นสัญญาณที่แสดงว่ากระบวนการบำบัดยังคงทำงานได้ดี แต่ปริมาณกรดไขมันระเหยยังไม่สำคัญเท่าอัตราการเพิ่มของกรดไขมันระเหย ถึงปฏิกิริยาอาจทำงานได้ดีแม้ความเข้มข้นกรดไขมันระเหยมีค่าสูงกว่า 1,000 มก./ล. การย่อยเซลลูโลส (Cellulolytic Activity) จะถูกยับยั้งเมื่อระบบมีปริมาณกรดไขมันระเหยสะสมมากกว่าหรือเท่ากับ 2,000 มก./ล. ในขณะที่กระบวนการหมักกลูโคสจะถูกยับยั้งเพียงเล็กน้อย แม้ว่าจะได้รับสารตั้งต้นเป็นที่กรดไขมันระเหยในปริมาณที่สูงกว่า 4,000 มก./ล.

ดังนั้นการพิจารณาเสถียรภาพของระบบจึงควรคำนึงถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันระเหย เนื่องจากหากกรดไขมันระเหยถูกสร้างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณชี้ให้เห็นถึงการเสียสมดุลที่เกิดขึ้นกับถังหมัก การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและทันที่ของกรดไขมันระเหย แสดงให้เห็นว่าการเจริญของจุลินทรีย์สร้างมีเทนชะลอลง หรือการเจริญของจุลินทรีย์สร้างกรดถูกเร่งให้เร็วขึ้น

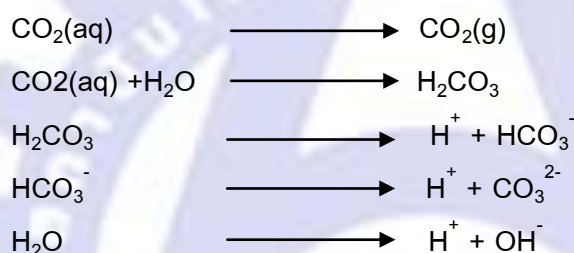
2. ระดับสภาพด่างในรูปไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Alkalinity)

พารามิเตอร์ดังกล่าวนี้จะบ่งชี้ถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วกรดไขมันระเหยที่ถูกสร้างขึ้นในระบบจะทำลายสภาพด่างดังปฏิกิริยา

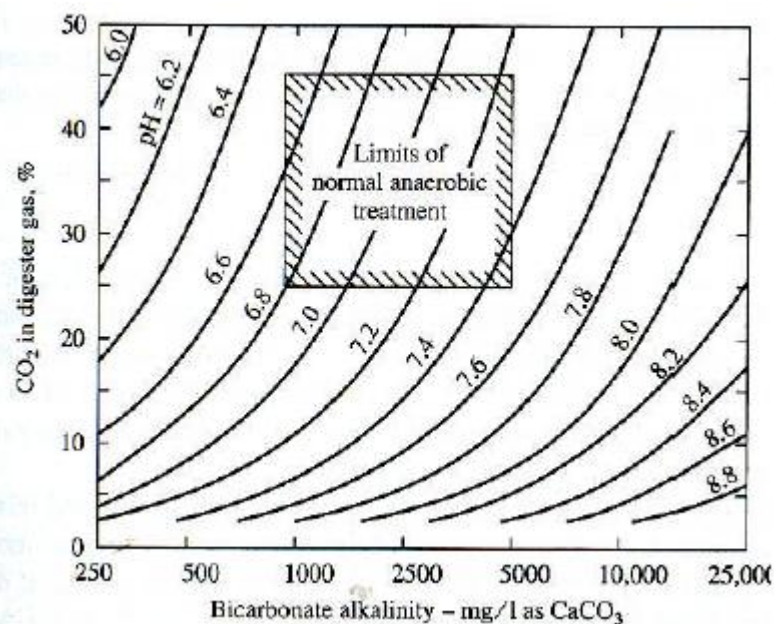


โดย A แสดงถึงกรดไขมันระเหย ซึ่งหากระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จะทำให้พีเอชลดลงได้มากและรวดเร็วจนเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทน ในทางตรงกันข้ามหากระบบมีสภาพต่างสูงพอ จะทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันระเหยได้ โดยไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชมากนัก ระดับของสภาพต่างควรจะสูงเท่าใดจึงจะทำให้กำลังบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมนั้นกำหนดตายตัวได้ยาก เนื่องจากค่าดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะและความเข้มข้นของน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นสูงก็จะมีโอกาสที่จะผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้มาก ความต้องการกำลังบัฟเฟอร์ของระบบก็จะเพิ่มขึ้น โดยทั่วไประบบไร้อากาศควรมีสภาพต่างประมาณ 1,500 – 2,000 มก./ล.

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมพีเอชของถังปฏิกิริยาโดยระบบกรดคาร์บอนิก (Carbonic Acid System) แสดงได้ดังต่อไปนี้



จากปฏิกิริยาข้างต้น จะเห็นได้ว่า พีเอชของถังปฏิกิริยาจะถูกควบคุมโดยค่าความเป็นด่างของระบบและสัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซที่เกิดขึ้น เมื่อความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงขึ้น ระบบจะต้องการค่าความเป็นด่างที่สูงขึ้นด้วยเพื่อรักษาระดับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม จากรูปที่ 17 หากพิจารณาสัดส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในช่วงปกติ (25-45%) ระบบจะต้องการสภาพต่างไปคาร์บอนไดออกไซด์อย่างน้อย 500 – 900 มก./ล. เพื่อรักษาพีเอชของระบบไม่ให้ต่ำกว่า 6.5 ในทำนองเดียวกัน หากสภาพต่างมีค่าสูงกว่า 5,000 มก./ล. พีเอชก็จะไม่สูงเกินไป นอกจากนั้นพีเอชที่มีค่ามากกว่า 7.4 ค่าพีเอชจะไม่ไวต่อการเพิ่มขึ้นของสภาพต่าง



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต่างในรูปไบคาร์บอเนต สัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซที่ผลิตได้ (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ) และค่าพีเอชของถังปฏิกริยาในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ที่มา : Parkin,; & Owen. (1986). **Foundation of Anaerobic Digestion of Wastewater Sludge.** p. 960.

3. ค่าพีเอช (pH)

ค่าดังกล่าวไม่ใช่สัญญาณล่วงหน้าบ่งบอกถึงความล้มเหลวของระบบได้ทันที เนื่องจากความเสียหายจะเกิดขึ้นก่อนที่พีเอชจะลดลง แต่ข้อมูลของพีเอชก็ยังมีค่าสำคัญเนื่องจากแบคทีเรียทั้งสองกลุ่ม โดยเฉพาะกลุ่มที่สร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8 – 9.2 เท่านั้น ปัญหาที่มักพบ คือ การรักษาพีเอชของถังหมักให้มีค่ามากกว่า 6.6 ซึ่งหากไม่มีการควบคุมถังหมักให้มีสภาพเป็นกลางการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนก็จะถูกยับยั้ง ทำให้ระบบล้มเหลวได้ นอกจากนี้การรักษาระดับพีเอชให้เป็นกลางยังเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่งในระหว่างที่กำลังมีการแก้ไขระบบที่ล้มเหลวให้ฟื้นตัว ดังนั้นการปรับพีเอชให้เป็นกลางจัดเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงและควรกระทำก่อนเรื่องใดๆ

4. อัตราการผลิตมีเทน (Methane Production Rate)

เป็นค่าที่ชี้วัดเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียสร้างมีเทนโดยตรง ถือได้ว่าเป็นค่าที่ใช้ในการวัดสมรรถภาพของระบบที่มีความสำคัญมาก โดยถังปฏิกริยาที่มีสมรรถภาพสูงจะสามารถผลิตมีเทนได้ประมาณ 0.35 ล.มีเทน/ก.ชีโอดี ที่ถูกย่อยสลาย ดังนั้นการติดตามดูการ

เปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตมีเทนจึงเป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งการลดลงของค่าดังกล่าวเป็นสัญญาณที่บ่งชี้ว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นกับแบคทีเรียสร้างมีเทน การลดลงของอัตราการสร้างมีเทนโดยไม่มีการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันระเหยอาจเป็นเครื่องบ่งชี้ว่ามีสารพิษยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในระบบได้

5. ค่า ORP (Oxidation Reduction Potential)

ค่าดังกล่าวนี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับปฏิกิริยารีดอกซ์เป็นการวัดปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในน้ำ ค่า ORP ที่วัดได้อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ โดยทั่วไปจะวัดค่า ORP ได้ค่าบวกในน้ำที่มีออกซิเจนหรือไนเตรท และวัดค่า ORP ได้ค่าลบในน้ำเสียที่ปราศจากออกซิเจน ในทางทฤษฎีค่าดังกล่าวนี้จะแสดงถึงความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของสารละลาย เช่น ถ้าวัดค่า ORP ได้บวกมากๆ เช่น +300 มิลลิโวลต์ แสดงว่าสารละลายนี้มีสารรับอิเล็กตรอนได้ดี เช่น มีออกซิเจนละลายน้ำ เป็นต้น แต่ถ้าวัดค่า ORP ได้ลบ เช่น -300 มิลลิโวลต์ แสดงว่าสารละลายมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้น้อยหรือมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดี เป็นต้น เนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆที่ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียล้วนเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ ปฏิกิริยาแต่ละประเภทจึงมีค่า ORP ประจำตัว ถังหมักที่ทำงานได้ดีจะต้องมีค่า ORP อยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ ถ้าค่าดังกล่าวนี้มีค่าลบน้อยๆหรือมีค่าเป็นบวกแสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยแบบไร้อากาศเกิดขึ้นน้อยหรือไม่เกิดขึ้นเลย

6. สัญญาณอื่นๆ (Other Indicators)

สัญญาณที่อาจบ่งบอกถึงการเสียสมดุลของระบบบำบัดอีก 2 ประการ ได้แก่ องค์ประกอบของก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้และอัตราการผลิตก๊าซ เนื่องจากสัญญาณทั้งสองนี้เกิดจากปฏิกิริยาร่วมกันอย่างซับซ้อนของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในระบบ การเสียสมดุลของจุลินทรีย์ทั้งหลายจะทำให้ปริมาณมีเทนลดต่ำลง แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้จากองค์ประกอบของก๊าซที่เปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนก๊าซนี้มักเกิดขึ้นก่อนมีการลดลงของปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด

สิ่งสำคัญที่สุดในการแก้ไขปัญหาต่างๆ คือ จะต้องควบคุมพีเอชให้มีระดับเป็นกลางตลอดเวลา เนื่องจากจะช่วยบรรเทาความเสียหายและช่วยให้ระบบฟื้นตัวได้เร็วขึ้น สำหรับการควบคุมพีเอช อาจทำได้โดยเติมสารเคมีหรือจำกัดองค์ประกอบของก๊าซบางตัวออกจากส่วนผสมของก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น สารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับพีเอชหรือเพิ่มสภาพต่างให้กับถึงปฏิกิริยา ได้แก่ ปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) โซดาแอช (Na_2CO_3) โซดาไฟ (NaOH) แอมโมเนีย (NH_3) เป็นต้น ทั้งนี้ผลจากการเติมสารเคมีต่างชนิดกันจะไม่เหมือนกันเนื่องจากสารเคมีบางอย่าง เช่น ปูนขาวหรือโซดาไฟ สามารถดึงคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศเหนือน้ำมาทำปฏิกิริยาด้วย แต่สารบางอย่าง เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนตสามารถเพิ่มบัฟเฟอร์ให้กับน้ำได้โดยไม่ทำให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนแปลง

การแก้ปัญหาโดยการเติมสารเคมี หากใช้สารเคมีจำนวนมากเติมลงไปทีเดียวอาจทำให้พีเอชเพิ่มสูงขึ้นมากจนเป็นพิษได้ ด้วยเหตุนี้ การเติมสารเคมีที่จับคาร์บอนไดออกไซด์จึงต้องกระทำทีละน้อยๆเป็นขั้นๆเพื่อให้มีเวลาเพียงพอในการเกิดสมดุลทุกครั้งที่ได้เติมสารเคมี ทำให้ระดับพีเอชไม่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกินไป และในการเพิ่มพีเอชโดยการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปโดยตรงด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งจะทำให้พีเอชเพิ่มขึ้นได้ชั่วคราวขณะที่ระดับสภาพด่างไม่เพิ่มขึ้นด้วย แต่ผลสุดท้ายระดับพีเอชจะลดลงเหลือเท่าเดิมเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ถูกสร้างเพิ่มขึ้น

ส่วนการเติมไบคาร์บอเนตโดยตรงนั้น สามารถกระทำได้ง่ายกว่ามาก โดยปัจจัยที่จะต้องพิจารณา ได้แก่ ความสามารถในการละลายน้ำของผลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น สารเคมีที่มีแคลเซียมจะทำให้เกิดตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูน จึงควรใช้สารเคมีที่มีโซเดียมมากกว่า เพราะโซเดียมไม่สร้างตะกอน เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกใช้ในการสร้างตะกอนหินปูนมิได้ทำให้สภาพด่างเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นแม้ว่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พีเอชก็จะลดลงอย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ถูกสร้างเพิ่มเพิ่มถึงระดับเดิมด้วยเหตุนี้จึงมีข้อแนะนำให้ใช้ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการควบคุมพีเอชของถังหมักเฉพาะในกรณีที่มีพีเอชระดับไม่ต่ำกว่า 6.0 โดยเติมปูนขาวแต่ละครั้งให้มีพีเอชของระบบสูงกว่า 6.7 – 6.8 ส่วนโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นสารเคมีที่เหมาะสมในการควบคุมพีเอชแต่มีราคาสูงกว่าปูนขาวมาก

