

การศึกษาเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมผลิตสุรา

นางสาววรรณวิจิตร พนมเชิง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและเพิ่มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นเพิ่มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

A STUDY OF DISTILLERY SPENT WASH TREATMENT TECHNOLOGIES  
FOR ENERGY EFFICIENCY

Miss Wanvichit Phanomchoeng

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าเพื่อเพิ่ม  
ประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมผลิตสุรา

โดย

นางสาววรรณวิจิตร พนมเชิง

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล สุธีจารุวัฒน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์จรินทร์ เภาประเสริฐวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.อิสราวิทย์ เชาวน์พานิช)

วรรณวิจิตร พนมเชิง : การศึกษาเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน  
ในอุตสาหกรรมผลิตสุรา. (A STUDY OF DISTILLERY SPENT WASH TREATMENT  
TECHNOLOGIES FOR ENERGY EFFICIENCY) อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.  
สมชาย พัวจินดาเนตร, 204 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าที่เหลือทิ้งจาก  
โรงงานผลิตสุราผสม ระหว่าง (1) ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (2) ระบบระเหยแบบ Thermal  
Vapor Recompression (TVR) และ (3) ระบบระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR)  
โดยนำพลังงานที่ได้จากระบบบำบัดกลับมาใช้ทดแทนน้ำมันเตาในกระบวนการผลิต โดยสำรวจ  
ข้อมูลปริมาณน้ำกากส่าที่ต้องการบำบัดต่อปี การใช้วัสดุและพลังงานในการบำบัด และผลผลิตด้าน  
พลังงาน จากโรงงานกรณีศึกษา กำหนดให้ระบบบำบัดน้ำกากส่าต้องมีน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้าน  
สิ่งแวดล้อม ประเมินผลทางเลือก โดย (1) อัตราผลผลิตด้านพลังงาน (2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ  
บำบัด และ (3) ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนการ  
ลงทุน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PBP)

ผลการศึกษาพบว่า ระบบบำบัดน้ำกากส่าที่มีความเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมผลิตสุรา  
ผสม คือ ทางเลือกที่ 3 ระบบระเหยแบบ MVR โดยให้ (1) อัตราผลผลิตด้านพลังงานโดยรวมสูงสุด  
เท่ากับ 0.98 เมกะจูลต่อเมกะจูล (2) ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่าที่น้อยที่สุดเท่ากับ 821 บาท  
ต่อลูกบาศก์เมตร (3) ให้ผลความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีค่า NPV เท่ากับ 1,745 ล้านบาท IRR  
เท่ากับ 53.80 % และมีระยะเวลาคืนทุน 2.14 ปี รองลงมา คือ ทางเลือกที่ 2 ระบบระเหยแบบ TVR  
ซึ่งให้ (1) อัตราผลผลิตด้านพลังงานโดยรวมเท่ากับ 0.73 เมกะจูลต่อเมกะจูล (2) ค่าใช้จ่ายในการ  
บำบัดน้ำกากส่าเท่ากับ 1,416 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (3) ให้ผลความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีค่า  
NPV เท่ากับ 682 ล้านบาท IRR เท่ากับ 32.01 % และมีระยะเวลาคืนทุน 3.96 ปี ขณะที่ระบบบำบัด  
แบบหมักที่ไม่ใช้ออกซิเจนมีความเหมาะสมน้อยที่สุด โดยให้ (1) อัตราผลผลิตด้านพลังงาน  
โดยรวมเท่ากับ 0.28 เมกะจูลต่อเมกะจูล (2) ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่าเท่ากับ 1,832 บาทต่อ  
ลูกบาศก์เมตร และยังไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ปีการศึกษา.....2555.....

## 5371441421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : SPENTWASH / DISTILLERY FACTORY / ENERGY EFFICIENCY

WANVICHIT PHANOMCHOENG: A STUDY OF DISTILLERY SPENT WASH TREATMENT TECHNOLOGIES FOR ENERGY EFFICIENCY. ADVISOR: ASST. PROF. SOMCHAI PUAJINDANETR, Ph.D., 204 pp.

The objective of this research was to compare the spent wash wastewater treatment technologies from distillery factory. Three alternative technologies were studied 1) Anaerobic covered lagoon, 2) Evaporative systems with Thermal Vapor Recompression (TVR) and 3) Evaporative systems with Mechanical Vapor Recompression (MVR). By product of the treatment being thermal energy could be used instead of fuel oil that was consumed in distilled process. An annual input spent wash, material and energy consumption, energy produced by each treatment system were mainly focused. The spent wash treatment systems were studied set as equal quality discharge conformed to environmental regulations. The alternative evaluations were (1) total energy productivity (2) operating expense productivity and (3) financial indices which were the Net Present Value (NPV), the Internal Rate of Return (IRR) and payback period (PBP).

The study found that the suitable treatment was the evaporative systems with MVR providing the highest total energy productivity of 0.98 MJ/MJ, the lowest operating expense productivity of 821 baht/m<sup>3</sup>. The NPV, IRR and PBP were 1,745 million baht, 53.60% and 2.14 years, respectively. The second alternative was the evaporative systems with TVR giving the total energy productivity of 0.73 MJ/MJ, the operating expense productivity of 1,416 baht/m<sup>3</sup>. The NPV, IRR and PBP were 682 million baht, 32.01% and 2.14 years, respectively. In the other words, Anaerobic covered lagoon was the lowest total energy productivity of 0.28 MJ/MJ, the operating expense productivity of 1,832 baht/m<sup>3</sup>. The financial aspects was infeasible.

Department: ..... Industrial Engineering ..... Student's Signature.....  
 Field of Study: ..... Industrial Engineering ..... Advisor's Signature.....  
 Academic Year: ..... 2012.....

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมวล สุทธิจารุวัฒน์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ และดร.อิสราวิทย์ เข้าวพานิช ที่ได้ชี้แนะให้ความรู้และคำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ คุณพีรพงษ์ ศิริการบัณฑิต และกลุ่มบริษัทไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ซึ่งเป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ตลอดจนคณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจทุกท่าน และเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	8
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน.....	9
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	9
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 อุตสาหกรรมผลิตสุรา.....	11
2.1.1 สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล.....	11
2.1.2 กระบวนการผลิตสุรา.....	12
2.2 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานสุรา.....	15
2.2.1 การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า.....	16
2.2.2 ระบบบำบัดน้ำกากส่า.....	17
2.3 ระบบบำบัดน้ำกากส่าที่ใช้งานในโรงงานกรณีศึกษา.....	20
2.3.1 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	20
2.3.2 ระบบระเหยกากส่า.....	28
2.4 การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการบำบัด.....	40
2.4.1 ก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	41
2.4.2 น้ำกากส่าเข้มข้นจากระบบระเหย.....	44

	หน้า
2.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์.....	48
2.5.1 ลักษณะการลงทุน.....	48
2.5.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์.....	49
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	52
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	61
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	61
3.2 การศึกษากระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B	64
3.3 การประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งาน ระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน.....	64
3.4 การศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งาน ระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน.....	66
3.5 การประเมินผลการดำเนินงานของทั้ง 3 ทางเลือก.....	66
3.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ.....	69
3.7 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	70
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย.....	71
4.1 ผลการศึกษากระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่า.....	72
4.1.1 โรงงาน A;.....	72
4.1.2 โรงงาน B;.....	77
4.1.3 ผลการเปรียบเทียบแหล่งที่มาของน้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า	83
4.2 ผลการประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งาน ระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน.....	84
4.2.1 โรงงาน A; ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม.....	84
4.2.2 โรงงาน B; ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR).....	92
4.2.3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้ของระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน....	98
4.3 ผลการศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งาน ระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน.....	104



4.3.1	ทางเลือก A; ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง.....	105
4.3.2	ทางเลือก B1; ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)....	113
4.3.3	ทางเลือก B2; ระบบระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR) ..	122
4.3.4	เปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและการใช้ ประโยชน์ผลพลอยได้จากระบบบำบัดน้ำกากสำกรณน้ำทิ้ง ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน.....	132
4.4	การประเมินผลการดำเนินงานของทั้ง 3 ทางเลือก .....	136
4.4.1	การประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากสำแบบทางเลือก A.....	138
4.4.2	การประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากสำแบบทางเลือก B1.....	140
4.4.3	การประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากสำแบบทางเลือก B2.....	142
4.5	ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ .....	144
4.5.1	ผลการประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์.....	145
4.5.2	ผลการประเมินการวิเคราะห์ความไวของโครงการ.....	147
4.6	ผลสรุปการศึกษา.....	153
บทที่ 5	อภิปรายผลการวิจัย.....	156
5.1	ผลการศึกษาระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากสำของ โรงงาน A และ B.....	156
5.2	ผลการประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งาน ระบบบำบัดน้ำกากสำในปัจจุบัน.....	157
5.3	การศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบ บำบัดน้ำกากสำกรณน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน .....	158
5.4	การประเมินผลการดำเนินงานของทั้ง 3 ทางเลือก.....	159
5.5	ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์.....	161
บทที่ 6	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	163
6.1	สรุปผลการวิจัย.....	163
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	164
	รายการอ้างอิง.....	165

สารบัญ

	หน้า
ภาคผนวก.....	171
ภาคผนวก ก ข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานของโรงงาน A.....	172
ภาคผนวก ข ข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานของโรงงาน B.....	181
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ.....	191
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	204

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	คุณสมบัติของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุราในประเทศไทย.....	3
1-2	การคัดเลือกโรงงานกรณีศึกษาในเครือบริษัทที่ศึกษา.....	4
2-1	องค์ประกอบของกากน้ำตาล.....	12
2-2	ข้อดีและข้อจำกัดของระบบบำบัดไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม.....	27
2-3	องค์ประกอบของก๊าซมีเทน.....	41
2-4	ประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสุรา.....	43
2-5	การเปรียบเทียบน้ำกากส่าจากกากน้ำตาลของประเทศต่างๆ.....	46
2-6	องค์ประกอบน้ำกากส่าที่สภาพตัวอย่าง As-received และ Dry-basis.....	46
2-7	การทดสอบ Ultimate และ Proximate analysis ของน้ำกากส่า ชานอ้อยและถ่านหิน.....	46
2-8	ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์จากอ้อยและน้ำตาล.....	47
2-9	เกณฑ์มาตรฐานคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน.....	55
2-10	เกณฑ์มาตรฐานกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน.....	56
2-11	เกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะสารปรับปรุงดิน.....	57
3-1	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ.....	64
3-2	ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) ของทรัพยากรพื้นฐาน.....	65
3-3	การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม.....	65
3-4	พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตสุรา.....	67
3-5	พารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ.....	69
4-1	องค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลั่นของโรงงาน A.....	76
4-2	องค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลั่นลำดับที่หนึ่งของโรงงาน B.....	82
4-3	ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบน้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า.....	83
4-4	คำอธิบายตัวแปรและสมการแสดงปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A.....	87
4-5	การตรวจสอบปริมาณสารเจือปนและเขม่าควันในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อไอน้ำที่มีการใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ.....	88
4-6	องค์ประกอบของน้ำกากส่าในบ่อปิดผสมสำหรับขนส่งให้กับเกษตรกร.....	91
4-7	ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาสำหรับระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบโรงงาน A.....	92

ตารางที่	หน้า
4-8	คำอธิบายตัวแปรและสมการแสดงปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำอากาศ (Q) ของระบบบำบัดน้ำอากาศของโรงงาน B ..... 95
4-9	องค์ประกอบของน้ำอากาศเข้มข้นของ โรงงาน B..... 97
4-10	การตรวจสอบปริมาณสารเจือปนและเขม่าควันในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของระบบเตาเผา..... 97
4-11	ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาสำหรับระบบบำบัดน้ำอากาศแบบ โรงงาน B..... 99
4-12	ผลการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำอากาศของทั้ง โรงงาน A และ B; ด้านข้อมูลการดำเนินงานระบบ ..... 100
4-13	ผลการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำอากาศของทั้ง โรงงาน A และ B; ด้านผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ..... 102
4-14	ผลการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำอากาศของทั้ง โรงงาน A และ B; ด้านการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการบำบัด ..... 103
4-15	ปริมาณน้ำอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบทางเลือก ..... 104
4-16	ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพิจารณาทางเลือก ..... 105
4-17	วิธีการบำบัดน้ำเสียหลังบำบัดของระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม..... 106
4-18	ข้อมูลของระบบบำบัดต่อเนื่อง..... 106
4-19	ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำอากาศแบบทางเลือก A..... 107
4-20	ปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานของทางเลือก A..... 109
4-21	ข้อมูลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำอากาศแบบทางเลือก A..... 113
4-22	ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำอากาศแบบทางเลือก B1..... 114
4-23	ปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานของทางเลือก B1..... 116
4-24	ข้อมูลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำอากาศแบบทางเลือก B1..... 121
4-25	วิธีการปรับปรุงการใช้พลังงานและสารเคมีของระบบระเหย..... 122
4-26	ข้อมูลของระบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR) ..... 123
4-27	ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำอากาศแบบทางเลือก B2..... 124
4-28	ปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานของทางเลือก B2..... 126
4-29	ข้อมูลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำอากาศแบบทางเลือก B2..... 131
4-30	ผลการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำอากาศกรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน; ด้านข้อมูลการดำเนินงานระบบ ..... 133

ตารางที่	หน้า
4-31 ผลการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน; ด้านผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม .....	134
4-32 ผลการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน; ด้านการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการบำบัด .....	135
4-33 พลังงานความร้อนที่ใช้กระบวนการผลิตสุรา .....	136
4-34 การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก A .....	137
4-35 การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก A .....	138
4-36 การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก B1 .....	139
4-37 การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก B1 .....	140
4-38 การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก B2 .....	141
4-39 การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก B2 .....	142
4-40 สรุปการประเมินผลอัตราผลผลิตด้านทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) .....	143
4-41 สรุปการประเมินผลอัตราผลผลิตด้านค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบ .....	143
4-42 ข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ .....	144
4-43 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าของทั้ง 3 ทางเลือก .....	145
4-44 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ .....	147
4-45 สรุปผลการศึกษาระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน .....	154
4-47 สรุปข้อเสนอแนะของทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน .....	155

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1-1	การใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ.....	1
1-2	กระบวนการผลิตสุราและที่มาของน้ำกากส่า.....	4
1-3	ระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A.....	6
1-4	ระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B.....	6
1-5	กระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานกรณีศึกษา.....	8
1-6	แผนผังของทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน.....	8
2-1	กระบวนการผลิตสุรากลั่นที่มีกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ.....	14
2-2	ระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานสุราที่มีการใช้งานในประเทศไทย.....	18
2-3	ขั้นตอนของปฏิบัติการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	20
2-4	บ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม.....	25
2-5	Falling-Film Evaporators.....	31
2-6	Forced-Circulation Evaporators.....	32
2-7	แบบจำลองเครื่องระเหยแบบการไหลต่อเนื่องที่สภาวะคงตัว.....	32
2-8	เครื่องระเหยผลหลายเชิง.....	35
2-9	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน Effect ต่อปริมาณการใช้ไอน้ำในเครื่องระเหย.....	37
2-10	การใช้ไอน้ำแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR).....	38
2-11	การใช้ไอน้ำแบบ Mechanical Vapor Recompression(MVR).....	39
2-12	แนวโน้มการใช้ประโยชน์กากของเสีย.....	40
2-13	ตัวอย่างการนำน้ำกากส่าเข้มข้นไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงานทดแทน.....	48
3-1	ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	63
3-2	การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของระบบบำบัดน้ำกากส่า.....	67
3-3	การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบบำบัดน้ำกากส่า.....	68
4-1	กระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A.....	74
4-2	แหล่งที่มาของน้ำกากส่าที่ออกจากกระบวนการผลิตสุราของโรงงาน A.....	75
4-3	เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A.....	75
4-4	กระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B.....	78
4-5	แหล่งที่มาของน้ำกากส่าที่ออกจากกระบวนการผลิตสุราของโรงงาน B.....	79
4-6	เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B.....	79

รูปที่		หน้า
4-7	ปริมาณการใช้วัสดุที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่า ของโรงงาน A .....	85
4-8	ปริมาณการใช้พลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่า ของโรงงาน A .....	86
4-9	ประสิทธิภาพของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียชีวภาพ .....	89
4-10	ปริมาณการใช้วัสดุที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่า ของโรงงาน B .....	93
4-11	ปริมาณการใช้พลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่า ของโรงงาน B .....	94
4-12	ทางเลือก A; ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง .....	107
4-13	ตัวอย่างปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของ ทางเลือก A .....	108
4-14	ปริมาณการใช้วัสดุต่อปีของทางเลือก A .....	110
4-15	ปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของทางเลือก A .....	111
4-16	สรุปปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก A .....	112
4-17	ทางเลือก B1; ระบบระเหยแบบ TVR .....	114
4-18	ตัวอย่างปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของทางเลือก B1 .....	115
4-19	ปริมาณการใช้วัสดุต่อปีของทางเลือก B1 .....	117
4-20	ปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของทางเลือก B1 .....	118
4-21	สรุปปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก B1 .....	119
4-22	ทางเลือก B2; ระบบระเหยแบบ MVR .....	123
4-23	ตัวอย่างปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของทางเลือก B2 .....	125
4-24	ปริมาณการใช้วัสดุต่อปีของทางเลือก B2 .....	127
4-25	ปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของทางเลือก B2 .....	128
4-26	สรุปปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก B2 .....	129
4-27	การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของระบบบำบัดน้ำกากส่า .....	136
4-28	การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบบำบัดน้ำกากส่า .....	136

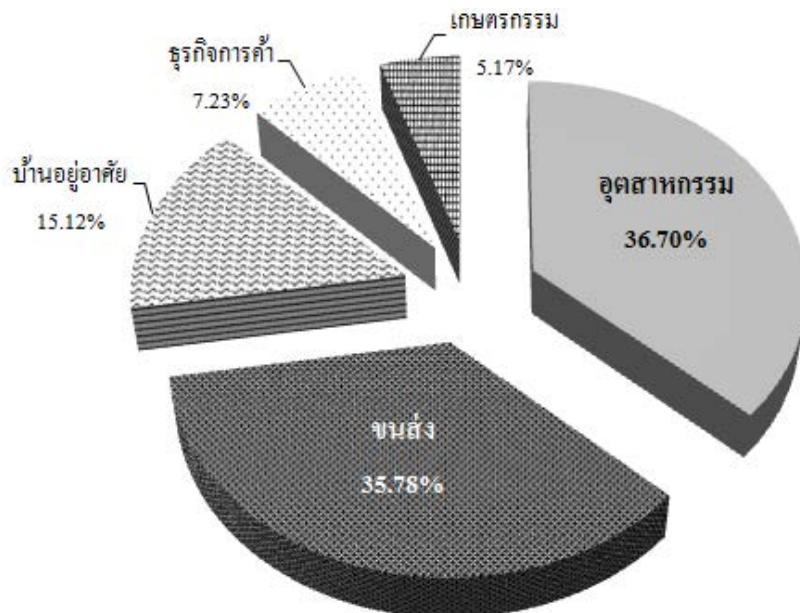
รูปที่	หน้า
4-29	การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก A ..... 137
4-30	การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก A..... 137
4-31	การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก B1 ..... 139
4-32	การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก B1..... 140
4-33	การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก B1 ..... 141
4-34	การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก B2..... 142
4-35	แผนภาพกระแสเงินสดของทางเลือก A..... 146
4-36	แผนภาพกระแสเงินสดของทางเลือก B1..... 146
4-37	แผนภาพกระแสเงินสดของทางเลือก B2..... 146
4-38	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ NPV ..... 148
4-39	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ %IRR..... 149
4-40	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ PBP..... 150
4-41	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตากับ NPV..... 150
4-42	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตากับ %IRR..... 151
4-43	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตากับ PBP..... 151
4-44	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ NPV..... 151
4-45	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ %IRR..... 152
4-46	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ PBP..... 153



# บทที่ 1

## บทนำ

จากสถานการณ์ความเสียหายเปรียบด้านพลังงานในการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ หน่วยงานภาครัฐจึงมีนโยบายการส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานและผลักดันให้มีการใช้พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ภายในประเทศ โดยจากสถิติพลังงานปี 2555 พบว่า ภาคอุตสาหกรรม เป็นสาขาเศรษฐกิจที่มีการใช้พลังงานสูงเป็นอันดับ 1 หรือคิดเป็นร้อยละ 36.70 เมื่อเทียบกับสัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศ (รูปที่ 1-1) ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายดังกล่าวจึงต้องมีการเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจ และกระตุ้นให้ภาคอุตสาหกรรมปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์ของเสียจากกระบวนการผลิตในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งสามารถลดต้นทุนด้านค่าใช้จ่ายและปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิต การลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิง รวมทั้งการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้



รูปที่ 1-1 การใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ  
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมผลิตสุราที่ใช้กากน้ำตาล (Molasses) เป็นวัตถุดิบ เมื่อผ่านกระบวนการหมัก และกลั่นเพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์สุราขาวหรือสุราผสมแล้ว จะมีน้ำเสียหลักจากกระบวนการ เรียกว่า น้ำกากสำ (Spent wash or Distillery slop) มีสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะขุ่นข้นและมีค่าความสกปรกสูง โดยคุณสมบัติของน้ำกากสำจากโรงงานผลิตสุราในประเทศไทย แสดงในตารางที่ 1-1 ทั้งนี้หากปล่อยน้ำกากสำลงสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรงจะเกิดปัญหามลภาวะการปนเปื้อนของแม่น้ำ ลำคลองและแหล่งน้ำผิวดินได้ โรงงานผลิตสุราจึงจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำกากสำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำกากสำที่เป็นน้ำทิ้ง ดังรูปที่ 1-2 โดยการแยกสิ่งสกปรกต่างๆ ตลอดจนสีน้ำตาลเข้มของน้ำกากสำให้มีปริมาณลดลงจนอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะดังกล่าว (ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด) โดยระบบบำบัดน้ำกากสำที่มีการศึกษาและใช้งานในปัจจุบันสามารถแบ่งตามกระบวนการบำบัดได้ 4 ประเภทได้แก่

### 1) กระบวนการบำบัดทางเคมี

การตกตะกอนสีน้ำกากสำด้วยสารเคมี โดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) แอมโมเนียมซัลเฟต เฟอร์ริกซัลเฟต ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือการกำจัดสีด้วยวิธีการดูดซับด้วยแอคติเวเต็ดคาร์บอน

### 2) กระบวนการบำบัดทางเคมีไฟฟ้า

โดยใช้หลักการของเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบอิเล็กโทรไลติกเซลล์ ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้วและสารละลายนำไฟฟ้า เมื่อสูบน้ำเสียผ่านอิเล็กโทรไลติกเซลล์ที่มีขั้วไฟฟ้าบวกเป็นโลหะ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันกับไฮดรอกไซด์ไอออนที่มาจากขั้วไฟฟ้าลบ โดยสารนี้จะทำให้เกิดการตกตะกอนร่วมกับน้ำเสีย และโลหะหนักในรูปที่ไม่ละลายน้ำ

### 3) กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ แบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

#### 3.1 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การหมักน้ำกากสำในสภาวะไร้อากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ทำลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน มีผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพ นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาในเครื่องกำเนิดไอน้ำผลิตไอน้ำใช้ในการกลั่นและการหมัก แต่การบำบัดด้วยวิธีนี้ แม้ว่าค่าซีโอดีจะลดลง แต่ส่วนที่เหลือก็ยังคงมีความเข้มข้นอยู่ซึ่งควรนำไปบำบัดต่อด้วยวิธีการที่เหมาะสมต่อไป

### 3.2 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน

โดยใช้จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย อากาศเครื่องเติมอากาศช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำ ส่วนใหญ่ใช้วิธีตะกอนเร่ง (Activated sludge) แต่เนื่องจากน้ำกากส่ามีความเข้มข้น ค่าบีโอดีและซีโอดีสูง มีเพียงร้อยละ 50 ของปริมาณซีโอดีที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นสลัดจ์ การใช้กระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียวจึงไม่เหมาะสม โดยนิยมใช้การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการแรก และแบบใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการบำบัดถัดไป

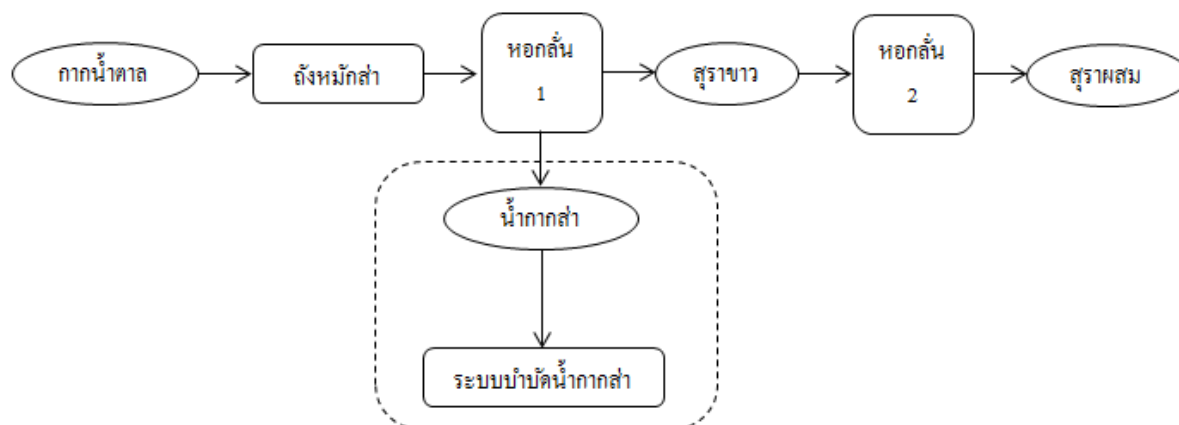
#### 4) การระเหยกากส่าและกำจัดโดยการเผา

การให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำที่ผสมอยู่ในน้ำกากส่าออกจนกลายเป็นน้ำกากส่าเข้มข้นและมีเนื้อของแข็งเพียงพอต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาได้ มีผลพลอยได้เป็นขี้เถ้าจากการเผาไหม้ที่มีโปแตสเซียมในสัดส่วนที่สูงสามารถนำไปผสมเป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือจำหน่ายเพื่อเป็นวัตถุดิบให้กับโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆได้

ตารางที่ 1-1 คุณสมบัติของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุราในประเทศไทย

องค์ประกอบของน้ำกากส่า	หน่วย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH	2.3-5.5	3.9
อุณหภูมิ (Temperature)	°C	53-100	76.5
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)	mg/L	17,500-45,000	31,250
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)	mg/L	56,970-193,600	125,285
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS)	mg/L	5,240-23,830	14,535
ของแข็งทั้งหมด Total solid (TS) (mg/l)	mg/L	36,280-123,640	79,960
ไนโตรเจน (Nitrogen; N)	mg/L	40-2,160	1100
ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P)	mg/L	24-380	202
โพแทสเซียม (Potassium; K)	mg/L	2,300-8,900	5,600
ซัลเฟต (mg/l)	mg/L	1,820-5,160	3,490

ที่มา: สุหทัย, 2551



รูปที่ 1-2 กระบวนการผลิตสุราและที่มาของน้ำกากส่า โดยเส้นประ (--) แสดงสิ่งที่สนใจศึกษา

เมื่อสำรวจโรงงานผลิตสุราในเครือข่ายที่ศึกษา จำนวนทั้งหมด 16 แห่ง พบว่า ครัวเรือนจำแนกตามประเภทผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ โรงงานผลิตสุราขาว จำนวน 5 แห่ง และโรงงานผลิตสุราผสม จำนวน 11 แห่ง และครัวเรือนจำแนกตามกระบวนการบำบัดน้ำกากส่า สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือระบบหมัก จำนวน 15 แห่ง และวิธีการระเหยกากส่าและกำจัดโดยการเผา หรือระบบระเหย จำนวน 1 แห่ง ทั้งนี้ได้คัดเลือกโรงงานเครือข่ายจำนวน 2 แห่ง แบ่งเป็น โรงงานผลิตสุราขาวที่ใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบระบบหมัก จำนวน 1 แห่ง (โรงงาน A) และ โรงงานผลิตสุราผสมที่ใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบระบบระเหยจำนวน 1 แห่ง (โรงงาน B) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 การคัดเลือกโรงงานเครือข่ายในเครือข่ายที่ศึกษา

หน่วย: แห่ง

ประเภทผลิตภัณฑ์ \ ระบบบำบัดน้ำกากส่า	ระบบหมัก (3)	ระบบระเหย (4)	รวม (3)+(4)	คัดเลือกโรงงานเครือข่าย	
โรงงานผลิตสุราขาว (1)	5	-	5	1	โรงงาน A
โรงงานผลิตสุราผสม (2)	10	1	11	1	โรงงาน B
รวม (1)+(2)	15	1	16	2	

หมายเหตุ\* ปัจจุบันมีการใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบระบบระเหยเพียง 1 โรงงานในประเทศไทย

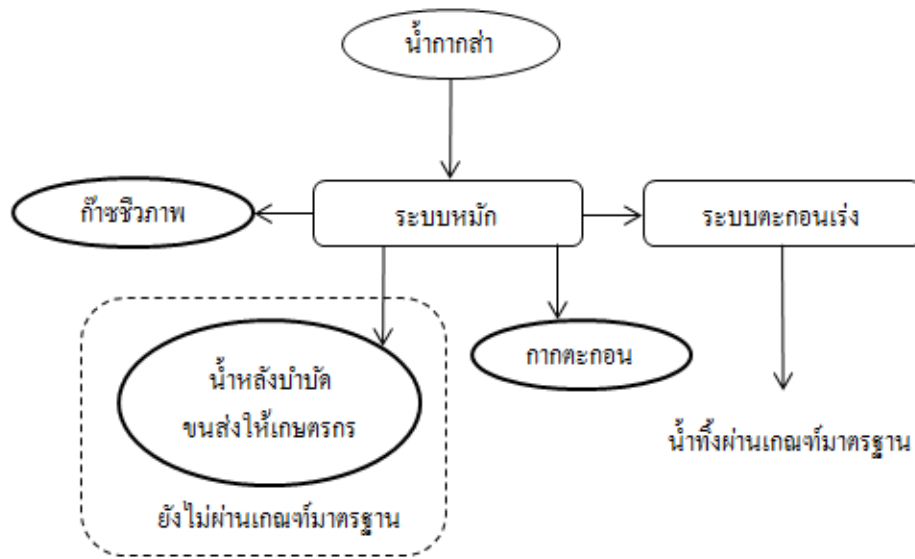
### 1.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา

#### 1. โรงงาน A; ตั้งอยู่ที่จังหวัดบุรีรัมย์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

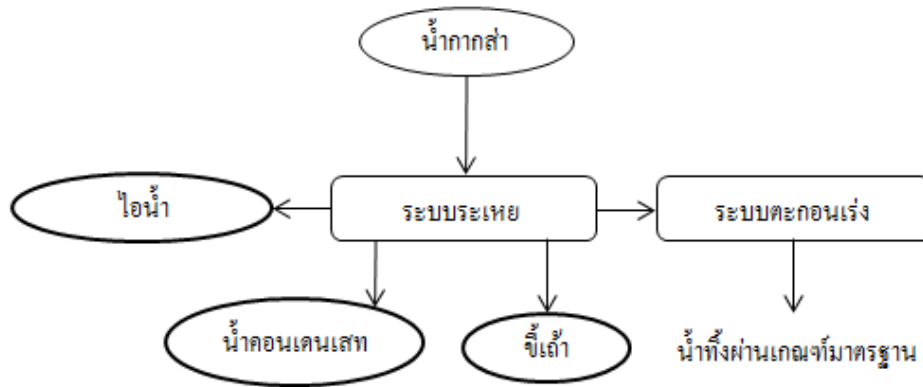
เป็นโรงงานผลิตสุราขาว มีการใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าโดยระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม (Anaerobic Covered Lagoon) มีผลพลอยได้จากการหมักเป็นก๊าซชีวภาพ สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงหลัก (น้ำมันเตา) ในระบบหม้อไอน้ำได้ กากตะกอนก้นบ่อกักเก็บน้ำหลังบำบัด สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่นต่อไป น้ำที่ไหลล้นออกจากระบบ (Overflow) สามารถส่งเข้าสู่ระบบตะกอนเร่งและปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจนผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ ส่วนน้ำหลังบำบัดยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ไม่สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม แก้ปัญหาโดยขนส่งน้ำหลังบำบัดให้เกษตรกร เพื่อใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรม โดยโรงงานเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการขนส่งและกรรมน้ำหลังบำบัดมากเกินความต้องการ ไม่สามารถระบายออกนอกโรงงานได้ แผนผังระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A ดังแสดงในรูปที่ 1-3

#### 2. โรงงาน B; ตั้งอยู่ที่จังหวัดปทุมธานี ภาคกลาง

เป็นโรงงานผลิตสุราผสม มีการใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าแบบระบบระเหย โดยเทคโนโลยีการใช้ไอน้ำแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR) อายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี ปัจจุบันอยู่ระหว่างการทดลองใช้เทคโนโลยีการใช้ไอน้ำแบบใหม่ คือแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR) มีผลพลอยได้จากการระเหยน้ำกากส่าเป็นน้ำคอนเดนเสท 2 แบบ คือ 1) แบบไม่ปนเปื้อนน้ำกากส่า สามารถนำกลับไปใช้เป็นน้ำป้อนในหม้อไอน้ำได้ 2) แบบปนเปื้อนน้ำกากส่า สามารถส่งเข้าสู่ระบบตะกอนเร่งและปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจนผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ ส่วนผลพลอยได้จากการเผาไหม้กากส่าเข้มข้น ได้เป็นไอน้ำส่งกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตทดแทนการผลิตไอน้ำจากระบบหม้อไอน้ำได้ และที่เหลือจากการเผาไหม้สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่นต่อไป แผนผังระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B ดังแสดงในรูปที่ 1-4



รูปที่ 1-3 ระบบบำบัดน้ำกักสำของโรงงาน A



รูปที่ 1-4 ระบบบำบัดน้ำกักสำของโรงงาน B

เมื่อเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B แล้วพบว่า

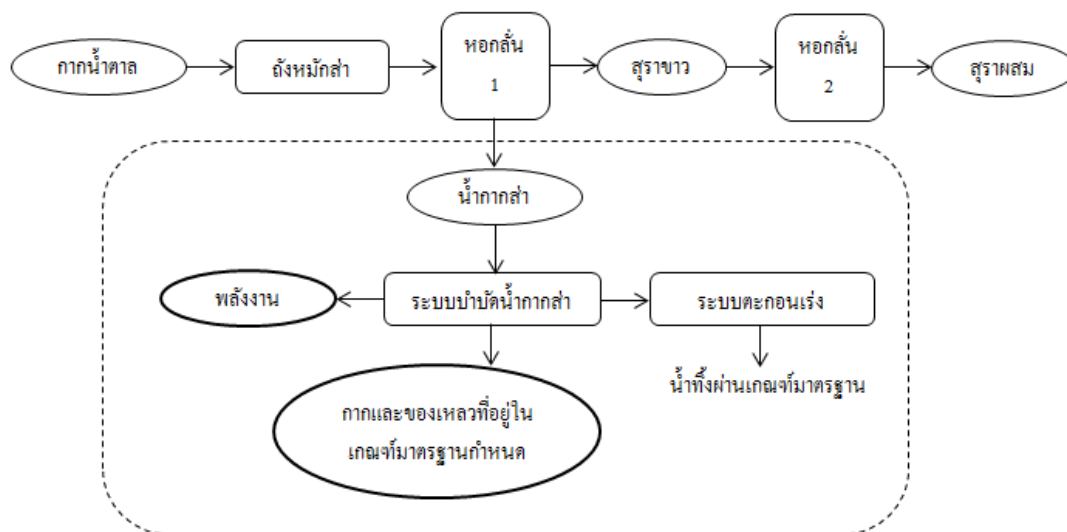
ด้านการใช้ประโยชน์ของเสียจากกระบวนการผลิต (น้ำกากส่า); ทั้งระบบหมักและระบบระเหยเป็นระบบบำบัดน้ำกากส่าที่สามารถนำพลังงานที่ได้จากระบบบำบัดกลับมาใช้ทดแทนน้ำมันเตาในกระบวนการผลิตได้

ด้านผลการบำบัดน้ำกากส่า; ระบบหมักของโรงงาน A ยังให้ผลการบำบัดไม่สมบูรณ์ โดยยังมีน้ำหลังบำบัดที่ไม่สามารถปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมได้ ทั้งนี้เนื่องจากโรงงานตั้งอยู่ในแหล่งเกษตรกรรม จึงสามารถนำไปแจกจ่ายให้กับเกษตรกรได้ แต่ในกรณีฤดูฝนที่ไม่สามารถขนส่งน้ำหลังบำบัดให้กับเกษตรกรได้ ทำให้เป็นภาระรับผิดชอบของโรงงาน และอาจกระทบต่อปริมาณการผลิตลดลง เพื่อป้องกันน้ำกากส่าที่มากเกินไปเกินความสามารถในการกักเก็บของโรงงาน ถือเป็นทางเลือกการกำจัดของเสียสุดท้ายที่ไม่แน่นอนของโรงงาน ดังนั้นโรงงาน A จึงควรศึกษาการเพิ่มระบบบำบัดต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถบำบัดน้ำให้สามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ ในขณะที่ระบบระเหยของโรงงาน B ให้ผลการบำบัดสมบูรณ์ 100%

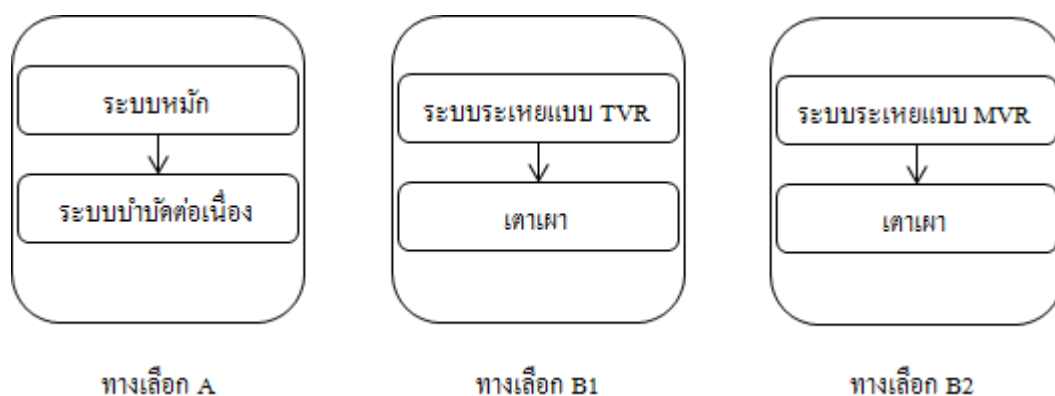
งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาและเปรียบเทียบเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่า โดยการสำรวจข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา และกำหนดขอบเขตการศึกษาาระบบบำบัดน้ำกากส่า คือ 1) สามารถนำพลังงานที่ได้จากระบบบำบัดกลับมาใช้ทดแทนน้ำมันเตาในกระบวนการผลิตได้ และ 2) สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งจนอยู่ในระดับผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 1-5 โดยสามารถสรุปเป็นทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ 3 ทางเลือก ดังนี้

1. ทางเลือก A; ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนและระบบบำบัดต่อเนื่อง
2. ทางเลือก B1; ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)
3. ทางเลือก B2; ระบบระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR)

แผนผังของทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 1-6



รูปที่ 1-5 กระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากสาของโรงงานกรณีศึกษา  
โดยเส้นประ (--) แสดงขอบเขตการศึกษา



รูปที่ 1-6 แผนผังของทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากสากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากสา ระหว่างระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนและระบบระเหยกรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการนำพลังงานที่ได้จากระบบบำบัดกลับมาใช้ทดแทนน้ำมันเตาในกระบวนการผลิต



### 1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1. ศึกษาและเก็บข้อมูลของกระบวนการผลิตสุราและเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าในโรงงานกรณีศึกษา ดังนี้

#### 1.1 โรงงาน A;ผลิตภัณฑ์สุราขาว

เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่า ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม ตั้งอยู่ในจังหวัดบุรีรัมย์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

#### 1.2 โรงงาน B;ผลิตภัณฑ์สุราผสม

เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่า ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)

ตั้งอยู่ในจังหวัดปทุมธานี ภาคกลาง

2. การดำเนินงานเปรียบเทียบเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าระหว่างระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุมและระบบระเหยเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่าที่เหมาะสมให้กับโรงงานผลิตสุราของเครือข่ายที่ศึกษา จะพิจารณาทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานเท่านั้น

3. ศึกษาภายใต้ขอบเขตที่โรงงานกรณีศึกษาสามารถอนุเคราะห์ข้อมูลได้ กรณีข้อมูลความลับของบริษัทที่ไม่สามารถเปิดเผยหรือให้ข้อมูลได้จะอ้างอิงจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้และงานวิจัยและเอกสารที่ได้รับการตีพิมพ์เป็นที่ยอมรับ

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตสุราและข้อมูลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งมีเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่า ดังนี้
  - 1) ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม
  - 2) ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)
2. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานกรณีศึกษา
  - 1) ประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของระบบบำบัดน้ำกากส่าในรูปสมการความสัมพันธ์
  - 2) ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่า
  - 3) ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการบำบัดของระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน

3. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
  - 1) ปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่า
  - 2) ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่า
  - 3) วิเคราะห์ข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ ผลพลอยได้จากการบำบัดของทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่า
4. ประเมินผลการดำเนินงานของทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
5. วิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ และความไวของโครงการสำหรับทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
6. อภิปรายผลการดำเนินงานทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
7. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. โรงงานผลิตสุราเกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
2. เป็นทางเลือกให้กับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการผลิตสุราในการเลือกใช้เทคโนโลยีในการกำจัดของเสียจากกระบวนการผลิต (น้ำกากส่า)
3. มีการดำเนินการที่สอดคล้องกับการรณรงค์ และสนับสนุนด้านการอนุรักษ์พลังงาน และสิ่งแวดล้อมขององค์กร

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อุตสาหกรรมผลิตสุรา

สุราเป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการผสมแอลกอฮอล์ น้ำ และส่วนผสมอื่นๆ เพื่อให้มีรสชาติและสีแตกต่างกันไป สุราสามารถแบ่งตามประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้ 3 ประเภท คือ (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2551)

1. สุราที่ผลิตจากเมล็ดธัญพืช (Grain Distilleries) ได้แก่ สุราประเภท สก๊อตวิสกี้ (Scotch Whiskey) ผลิตจากเมล็ดธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวบาเลย์ เป็นต้น
2. สุราที่ผลิตจากผลไม้ (Fruit Distilleries) เช่น สับปะรด องุ่น เป็นต้น ได้แก่ สุราประเภท ไวน์ (Wine) บรันดี (Brandy) แชมเปญ (Champagne)
3. สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล (Molasses Distilleries) เช่น สุราขาว สุราผสม รัม (Rum) เป็นต้น

โดยในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาอุตสาหกรรมผลิตสุราประเภทที่ 3 คือ สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ

##### 2.1.1 สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล

กากน้ำตาล (Molasses) มีลักษณะข้นเหนียวสีน้ำตาลปนดำ เป็นผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลและแยกออกจากผลึกน้ำตาลโดยกลวิธี เช่น แยกด้วยหม้อปั่นในขั้นสุดท้าย ส่วนประกอบของกากน้ำตาลขึ้นอยู่กับพันธุ์อ้อยและกรรมวิธีการผลิตน้ำตาลสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้ (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2544)

1. Blackstrap Molasses หมายถึง กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาว (Plantation white sugar) จะมีน้ำตาลเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 50 ถึง 60
2. Refinery Molasses หมายถึง กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (Refine sugar) โดยปกติจะมีน้ำตาลเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 48
3. Invert Molasses หมายถึง กากน้ำตาลที่ได้จากการทำบางส่วนของน้ำอ้อยแปรสภาพ (Invert syrup) ให้ข้นขึ้นโดยการระเหย มีส่วนประกอบเป็นน้ำตาลอินเวอร์ทร้อยละ 77 น้ำร้อยละ 14 และสารอื่นๆร้อยละ 9

กากน้ำตาลประกอบด้วยน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ เช่น น้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุคโทส และองค์ประกอบอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-1 | ซึ่งถือเป็นแหล่งอาหารและพลังงานที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่เป็นสารอาหารที่สำคัญสำหรับพืชในประเทศไทยจึงนิยมใช้ประโยชน์จากกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการหมักหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมการผลิตแอลกอฮอล์เพื่อการผลิตสุราและการผลิตเอทานอล กรดมะนาว กรดน้ำส้ม กรดแล็กติก ยีสต์ขนมปัง และยีสต์อาหารสัตว์ หรือนำไปหมักใช้ทำน้ำสกัดชีวภาพและปุ๋ยน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากกากน้ำตาลมีราคาถูกและเหมาะสมกว่าเมื่อเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของกากน้ำตาล

องค์ประกอบของกากน้ำตาล	ปริมาณ (%)	ปริมาณเฉลี่ย (%)
Water	17-25	20
Sucrose	30-40	35
Dextrose (glucose)	4-9	7
Levulose (Fructose)	5-12	9
Other Reducing Substances	1-5	3
Other Carbohydrates	2-5	4
Ash	7-15	12
Nitrogeneous Compounds	2-6	4.5
Non-nitrogeneous acids	2-8	5
Wax, Sterols and Phospholipids: 1-triacontanol, Phytosterol, Stigmasterol	0.1-1	0.4
Pigment: Chlorophyll, tannins, anthocyanins vitamins	-	-

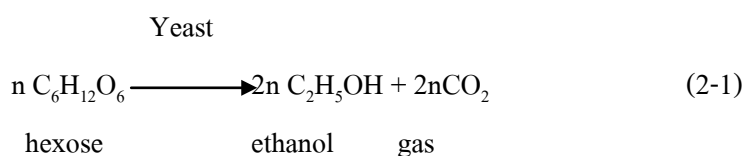
ที่มา: ธีรศ ศรีสถิตย์, 2551

### 2.1.2 กระบวนการผลิตสุรา (ศุภัญญา ชนชนะภัย, 2550)

กระบวนการผลิตสุราสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2-1

### 1. การหมักกากน้ำตาล (Fermentation)

กากน้ำตาลมีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก อัตราความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมในการหมักประมาณร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการหมักจึงต้องเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำ 3 เท่า แล้วจึงใส่เชื้อหมัก (Yeast) และสารเคมีที่จำเป็น เช่น แอมโมเนียมฟอสเฟต การหมักเกิดขึ้นในสภาพที่ไม่ต้องการอากาศ ใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง เชื้อยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ (เอทิลแอลกอฮอล์) ร้อยละ 8-10 โดยปริมาตร ดังสมการที่ 2-1



ส่วนผสมของแอลกอฮอล์ภายหลังการหมักเรียกว่า เมช (Mash) หรือน้ำสำ ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังหอกลั่น

### 2. การกลั่นแอลกอฮอล์ (Distillation)

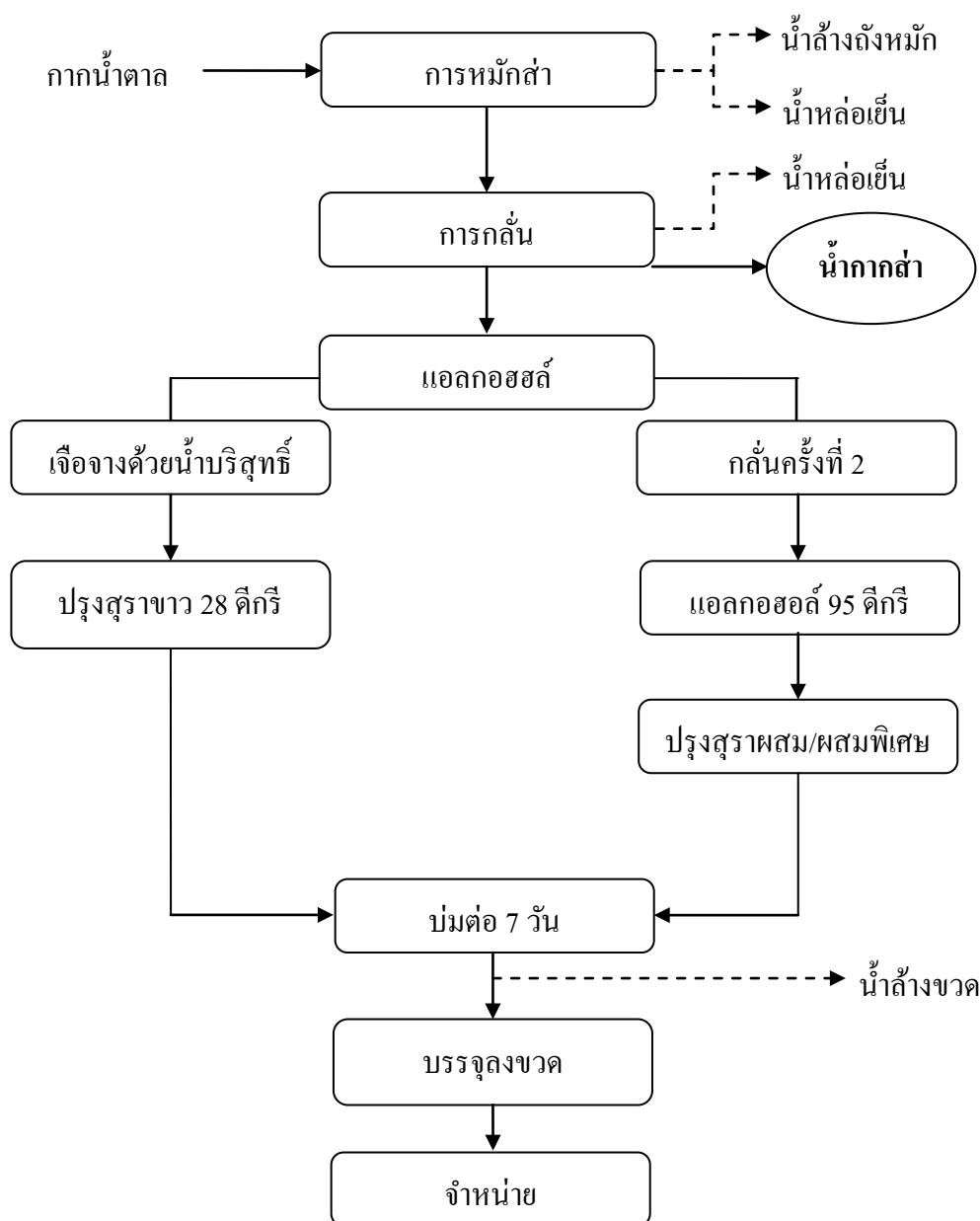
น้ำสำถูกส่งมายังหอกลั่นลำดับที่หนึ่ง เพื่อกลั่นแยกแอลกอฮอล์ออกจากของเหลวรวม โดยจุดเดือดของแอลกอฮอล์อยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 78.5 °C ในขณะที่ของเหลวอื่นหรือน้ำจะมีจุดเดือดที่ 100 °C จึงใช้ไอน้ำให้ความร้อนเพื่อแยกเอาแอลกอฮอล์ออกมา ในการกลั่นครั้งแรกจะได้น้ำผสมแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นแอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 50 ส่วนหนึ่งของที่กลั่นได้นี้ถูกนำไปผลิตสุราขาว และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกลั่นในขั้นต่อไป เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95-97 โดยปริมาตร

### 3. การผลิตสุราขาว (Raw Alcohol Production)

ส่วนหนึ่งของแอลกอฮอล์ร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งแรกจะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 28 โดยปริมาตร หรือ 28° (28 degree) เรียกว่า สุราขาว จากนั้นกรองเศษผงและสิ่งเจือปนออก ปรงให้เหมาะสมและนำมาบ่มต่อประมาณ 7 วัน แล้วนำไปบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

#### 4. การผลิตสุราผสม (Blended Liquor Production)

อีกส่วนของแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งแรกนั้น ไปกลั่นต่อในขั้นที่สองเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์เข้มข้นและบริสุทธิ์ร้อยละ 95-97 จากนั้นนำมาเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 35 โดยปริมาตร หรือ  $35^{\circ}$  (degree) แล้วเติมสีผสมไพร และส่วนประกอบอื่นๆ เพื่อให้ได้กลิ่นหอมและรสชาติตามความต้องการ จากนั้นนำมากรองและบ่มต่อประมาณ 7 วัน ก่อนบรรจุลงขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 2-1 กระบวนการผลิตสุรากลั่นที่มีกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ

## 2.2 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานสุรา

น้ำเสียจากโรงงานสุรา แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

(วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, 2550)

(1) **น้ำเสียที่มีความสกปรกต่ำ** ได้แก่ น้ำล้างขวด น้ำล้างพื้น น้ำเสียจากอาคารสำนักงานและบ้านพัก ส่วนใหญ่ใช้ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) เพียงขั้นตอนเดียวก็สามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

### - น้ำล้างขวด

โรงงานส่วนใหญ่จะนำขวดเก่าที่รับซื้อมาได้มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาทำความสะอาดและน้ำร้อน โดยใช้เครื่องล้างอัตโนมัติ ดังนั้นน้ำเสียจากการล้างขวดจึงมีความสกปรกที่เกิดจากน้ำยาล้างทำความสะอาด เศษฉลาก และสิ่งสกปรกที่ล้างอยู่ภายในขวด

(2) **น้ำเสียที่มีความสกปรกสูง** ได้แก่ น้ำกากสำและน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากสำ จำพวกน้ำล้างถังหมักสำ หอกลิ้น เป็นต้น รวมถึงน้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูง เช่น น้ำจากการพ่นเข้า (Blow Down) เครื่องกำเนิดไอน้ำ และน้ำที่ใช้สำหรับหล่อเย็นในหม้อสำหรับทำให้น้ำกลายเป็นไอ (Condenser) ของเครื่องกลั่นสุรา ต้องเลือกใช้ระบบการบำบัดน้ำกากสำที่เหมาะสมก่อนนำออกนอกโรงงาน

### - น้ำล้างถังหมัก

น้ำล้างถังหมัก เป็นน้ำเสียจากการล้างถังหมักสำซึ่งโรงงานส่วนใหญ่ระบายน้ำล้างถังหมักสำรวมกับน้ำเสียดักสำ ส่วนบางโรงงานจะส่งน้ำล้างถังหมักสำเข้าลิ้นในหอกลิ้นร่วมกับน้ำสำด้วย โดยค่าความสกปรกแตกต่างกันขึ้นกับการเดินระบบและการจัดการผลิต

### - น้ำกากสำ

น้ำกากสำสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ กากสำขาว จากการใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบ และกากสำแดง จากการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ ดังนั้นน้ำกากสำจากกระบวนการผลิตในโรงงานสุราเกือบทุกแห่งในประเทศไทยจึงเป็น **ชนิดกากสำแดง** โดยปกติจะมีปริมาณน้ำกากสำประมาณ 8-10 เท่าของปริมาณสุราที่กลั่นได้ จึงถือเป็นน้ำเสียหลักจากกระบวนการผลิตสุรา มีอุณหภูมิสูงระหว่าง 46-100 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นน้ำเสียที่ระบายทิ้งจากหอกลิ้น และมีสีน้ำตาลเข้มจากปฏิกิริยาที่จำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2551)

### ก. การเกิดคาราเมลไลเซชัน (Caramelization)

เป็นการใช้ความร้อนสูงสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออก (Thermolysis) ได้เป็นน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น ซูโครส (Sucrose) กลูโคส (Glucose) ฟรุคโตส (Fructose) และราฟฟิโนส (Raffinose) ซึ่งเป็นสารประกอบคอปเปอร์รีดิวซ์ (Copper reducing substance) ที่ยีสต์สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ และเกิดพอลิเมอร์เซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น โดยสารสีที่เกิดจากปฏิกิริยานี้จะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เรียกว่า คาราเมล (Caramel) ของน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่มีเหลือในกากน้ำตาลที่ยีสต์ไม่ใช้ในการหมัก ใช้เป็นสารสีในเบียร์หรือเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เกิดจากน้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไปในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย เมื่อละลายน้ำจะได้สารคอลลอยด์ที่มีประจุลบเล็กน้อยและมีพีเอชประมาณ 3-4

### ข. การเกิดปฏิกิริยามเมลลาร์ด

เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซ์กับหมู่เอมีนที่อยู่ในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโนหรือโปรตีน เป็น carbonyl-amine reaction โดยผ่านกระบวนการปฏิกิริยาบราวน์นิ่ง (Browning reaction) โดยไม่อาศัยเอนไซม์หรือปฏิกิริยามเมลลาร์ด พัฒนาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง สารนี้เป็นสารที่ถูกลอยสลวยได้ยาก เป็นปัญหาในการกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

## 2.2.1 การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า

น้ำกากส่า จัดเป็นน้ำเสียเข้มข้นที่เป็นอินทรีย์สารสูง มีสารประกอบไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร (เกรียงไกร สีปานมัน, 2555) รายงานผลความเป็นไปได้ในการนำน้ำกากส่ากลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

1. ใช้ทำปุ๋ยหมักโดยอาศัยเชื้อจุลินทรีย์ โดยนำน้ำกากส่าดังกล่าวพ่นลงบนกองกากอ้อยที่ได้จากโรงงานน้ำตาลหลังจากที่ตากกองกากอ้อยให้แห้งแล้วกลับกองกากอ้อยด้วยรถแทรกเตอร์แล้วพ่นน้ำกากส่าลงบนกากอ้อยดังกล่าวอีกทำสลับกันไป ก็จะได้ปุ๋ยหมักตามที่ต้องการ

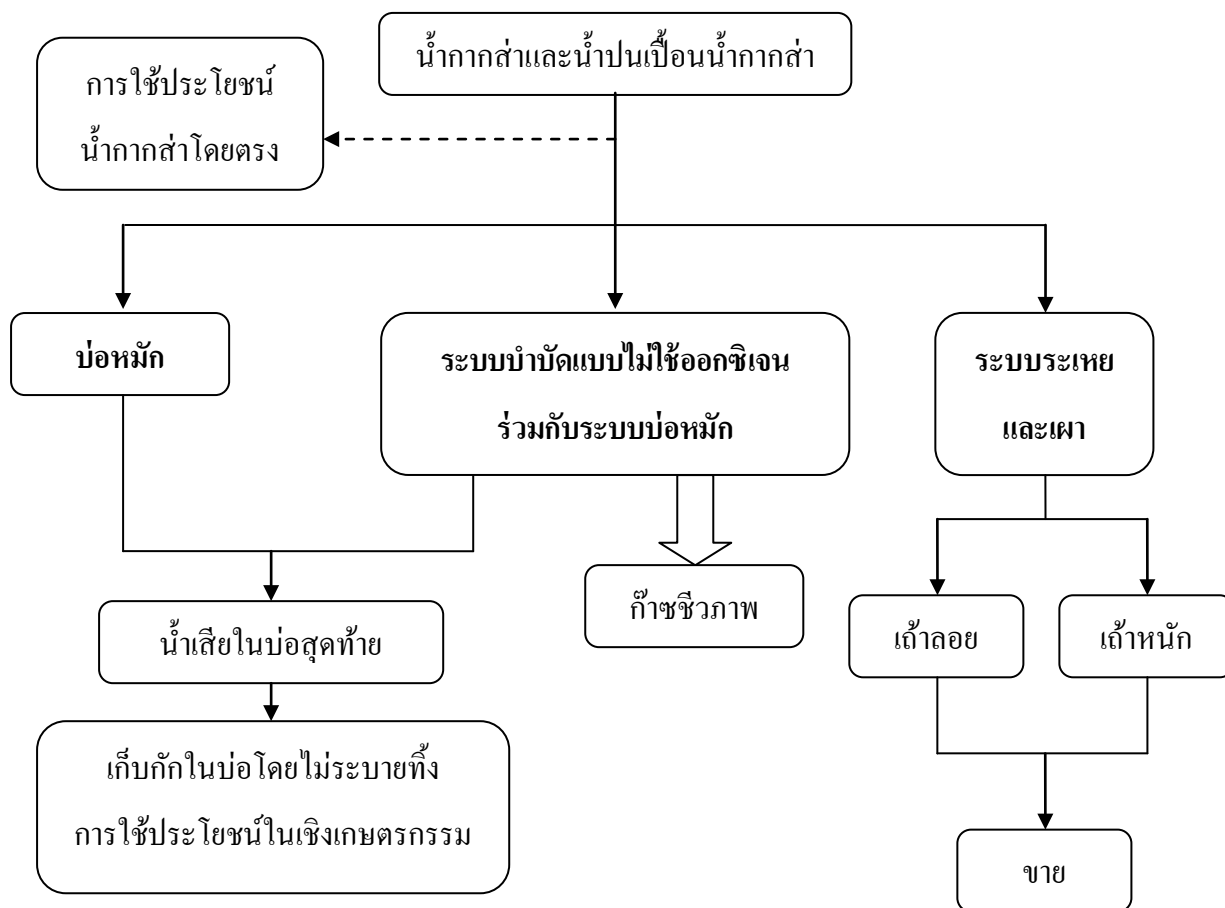


2. ใช้เลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียว เนื่องจากในน้ำกากสำมีน้ำตาลฟรุคโตสเหลืออยู่ ซึ่งมียีสต์หลายชนิดสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโตได้ การนำน้ำกากสำมาเลี้ยงยีสต์ดังกล่าวเพียงแต่เติมแหล่งไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต ยีสต์ก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี หลังจากแยกยีสต์ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนออกไปแล้ว พบว่าน้ำกากสำดังกล่าวมีค่าบีโอดีและซีโอดีลดลง จึงเป็นการช่วยลดมลภาวะในน้ำกากสำได้
3. ใช้ราดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น (Road Spray) พบเห็นทั่วไปในเขตใกล้เคียงที่มีโรงงานผลิตสุราตั้งอยู่ ข้อจำกัดคือสามารถใช้ได้ในฤดูแล้งเท่านั้น เนื่องจากในช่วงฤดูฝนน้ำกากสำเหล่านั้นจะถูกน้ำฝนชะล้างไป
4. ใช้ในการเลี้ยงปลา (Fish Farming) ข้อจำกัดคือใช้ได้ปริมาณที่จำกัด หากใช้ในปริมาณที่มากเกินไปแล้วจะเป็นอันตรายต่อปลาได้ เนื่องจากระดับออกซิเจนในน้ำจะลดลง
5. ใช้ในการเลี้ยงกุ้งเพื่อปรับสภาพน้ำ โดยใช้ประโยชน์จากกลุ่มจุลินทรีย์บาซิลลัสในน้ำกากสำช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ทำให้ไม่เกิดการเน่าเสียของเศษอาหารอันเป็นสาเหตุให้สภาพแวดล้อมในบ่อเสื่อมโทรม กุ้งอ่อนแอและเป็นที่มาของโรคกุ้ง และเป็นการปรับพีเอชในบ่อให้คงที่ ช่วยทำให้เกิดแพลงตอน เลนกันบ่อน้อยและช่วยสลายสารต่างๆที่ตกค้างในดิน

ทั้งนี้ข้อควรระวังในการใช้ประโยชน์จากน้ำกากสำ คือ 1) การนำน้ำกากสำของโรงงานสุราไปใช้ประโยชน์ภายนอกโรงงานต้องขออนุญาตจากอุตสาหกรรมจังหวัดหรือกรมโรงงานอุตสาหกรรมก่อน 2) ควรใช้น้ำกากสำในปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์และลดการใช้น้ำกากสำในช่วงฤดูฝน 3) กรณีนำน้ำกากสำไปรดฝุ่นถนน ควรจัดให้มีคูรองรับน้ำจากถนนเพื่อไม่ให้มีการระบายน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากสำออกสู่แหล่งน้ำภายนอก

### 2.2.2 ระบบบำบัดน้ำกากสำ

ระบบบำบัดน้ำกากสำของโรงงานสุราที่มีการใช้งานกันอยู่ในประเทศไทย ปัจจุบันแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, 2550)



รูปที่ 2-2 ระบบบำบัดน้ำกาฬของโรงงานสุราที่มีการใช้งานในประเทศไทย

### 1. ระบบบ่อหมัก

ระบบบ่อหมัก เป็นบ่อเปิดจำนวน 2-4 บ่อเรียงกันแบบอนุกรม โดยน้ำกาฬถูกปั๊มเข้าบ่ออย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำกาฬมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ (พีเอชเป็นกรด) โรงงานส่วนใหญ่จึงสูบน้ำจากบ่อเก็บกักบ่อสุดท้าย (บ่อปรับสภาพ) ซึ่งมีค่าพีเอชสูงหมุนเวียนมาที่จุดระบายน้ำเสียเข้าระบบบำบัดเพื่อปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็นกลางทำให้ประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิ บีโอดี ซีโอดีดีขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียในบ่อสุดท้ายพบว่า ยังมีค่า บีโอดี ซีโอดี และสารแขวนลอยสูงมากเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง น้ำเสียจึงไม่สามารถระบายสู่สิ่งแวดล้อมได้และถูกเก็บกักในบ่อ ซึ่งในฤดูแล้งเกษตรกรที่มีพื้นที่เพาะปลูกใกล้เคียง โรงงานจะขนน้ำเสียในบ่อสุดท้ายไปใช้ในการเกษตร ส่วนในฤดูฝนน้ำเสียในระบบบำบัดก็มีโอกาสไหลล้นออกสู่สิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน ถ้าไม่มีการป้องกันที่ดี

## 2. ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ร่วมกับระบบบ่อหมัก

ในปัจจุบันโรงงานสุราส่วนใหญ่จะใช้ระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งมีขนาดความลึกของบ่อตั้งแต่ 4.0-9.0 เมตร เพื่อนำเอาก๊าซชีวภาพที่ได้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดนี้ยังคงมีความสกปรกสูงมากจึงต้องบำบัดด้วยระบบบ่อหมัก ความลึกของบ่อประมาณ 2 เมตร ซึ่งน้ำเสียในบ่อสุดท้ายยังคงมีสีดำเข้มและค่าซีโอดีสูงมาก ทำให้ไม่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ โรงงานจึงเก็บกักในบ่อบำบัดและนำน้ำเสียบางส่วนไปใช้ในการทำปุ๋ยหมักและนำไปแจกจ่ายให้เกษตรกรใช้เพื่อการเกษตร

## 3. ระบบระเหยและกำจัดโดยเตาเผา

มีโรงงานเพียง 1 แห่ง ที่ใช้เตาเผาในการกำจัดน้ำกากส่า เมื่อน้ำกากส่าออกจากหอกลั่นแล้ว จะถูกทำให้เข้มข้นโดยการระเหยน้ำออก จากนั้นจึงส่งเข้าเตาเผา เพื่อผลิตไอน้ำไปใช้กระบวนการผลิตต่อไป น้ำที่ระเหยได้จะสามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตได้อีก และการเผาไหม้น้ำกากส่าในเตาเผาจะได้ผลพลอยได้เป็นเถ้าลอยและเถ้าหนักที่ก้นเตา ซึ่งเถ้าทั้งสองประเภทสามารถขายเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรมต่อไป

สำหรับโรงงานที่ใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนและระบบบ่อหมักจะมีโอกาสที่น้ำกากส่าปนเปื้อนไปสู่ดิน แหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินในบริเวณข้างเคียงได้ ส่งผลกระทบต่อประชาชนหากในบริเวณนั้นมีการใช้ประโยชน์จากน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินได้ เช่น

- ในกรณีปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำ ลำคลอง จะทำให้น้ำมีค่าบีโอดีสูง ส่งผลให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสีย ส่งกลิ่นเหม็น ประชาชนไม่สามารถใช้ประโยชน์จากน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่มีการปนเปื้อนได้
- ในกรณีที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน หรือน้ำบาดาล และประชาชนในบริเวณโรงงานมีการใช้น้ำบาดาล หากมีการปนเปื้อนในชั้นน้ำที่ชาวบ้านใช้ประโยชน์แล้ว จะทำให้น้ำมีการปนเปื้อนสีแดงจากน้ำกากส่า ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้อุปโภคและบริโภค

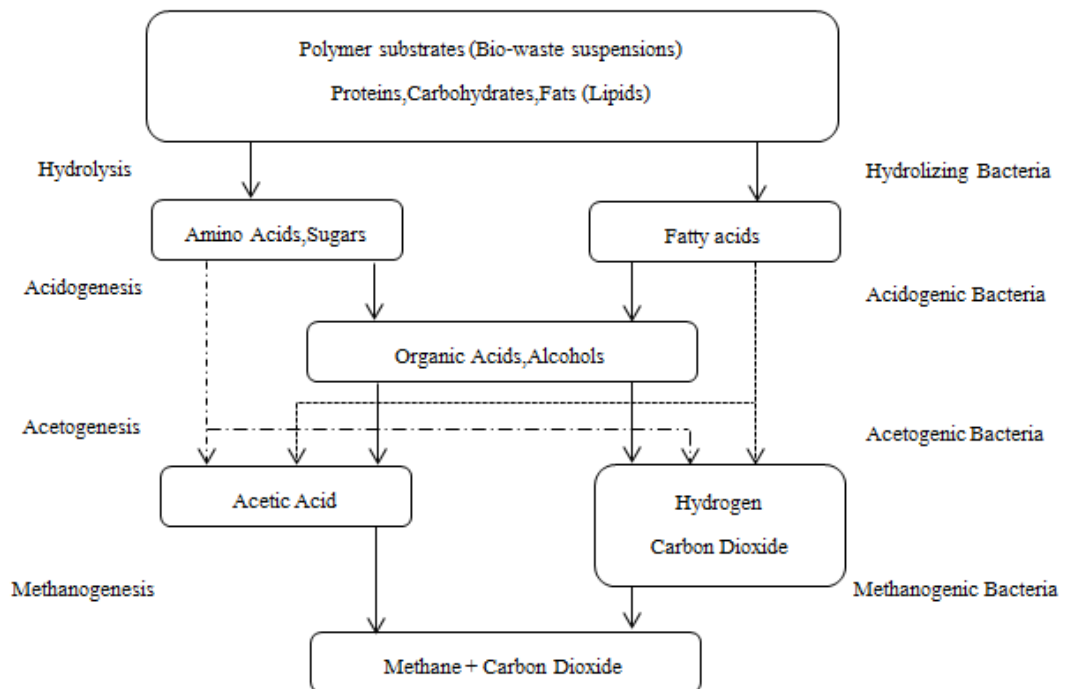
ปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากน้ำกากส่า ส่วนใหญ่เป็นปัญหาน้ำเสียล้นบ่อเก็บกัก ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในฤดูฝนในกรณีที่มีปริมาณน้ำฝนมากและโรงงานไม่มีมาตรการเตรียมการ เช่น การปรับปรุงฝายกั้นขอบบ่อบำบัดน้ำเสียและขุดลอกตะกอนก้นบ่อเพื่อเพิ่มความจุของบ่อ ซึ่งผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสกปรกของน้ำเสียที่เก็บกักอยู่ในบ่อที่อาจไหลล้นสู่สิ่งแวดล้อม

## 2.3 ระบบบำบัดน้ำกากส่าที่ใช้งานในโรงงานกรณีศึกษา

### 2.3.1 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือแบบแอนแอโรบิก เป็นระบบที่อาศัยการดำรงชีพของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอาหารเปลี่ยนเป็นเซลล์ใหม่และก๊าซชีวภาพ มักใช้ในการบำบัดน้ำที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง เนื่องจากระบบย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนมีค่าใช้จ่ายสำหรับการบำบัดต่ำกว่าแบบใช้ออกซิเจนมาก สารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ข้อเสียที่สำคัญคือ แบคทีเรียที่ใช้ในระบบบำบัดเจริญเติบโตช้า ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบยาวนานมาก

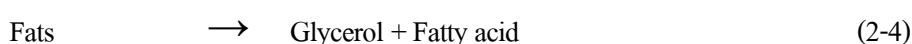
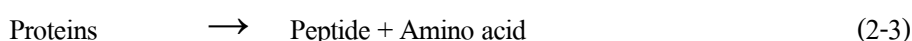
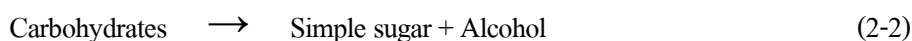


รูปที่ 2-3 ขั้นตอนของปฏิบัติการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ขั้นตอนของปฏิบัติการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังแสดงในรูปที่ 2-3 อธิบายแต่ละขั้นตอน ดังนี้

### ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

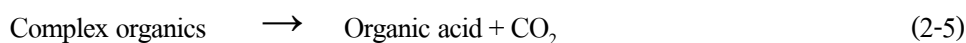
กระบวนการนี้ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระบวนการการย่อยสลายพอลิเมอร์ (Polymer Breakdown) เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ให้มีขนาดโครงสร้างโมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กลีเซอรอล ดังสมการที่ 2-2 ถึงสมการที่ 2-4 เป็นต้น



ผลจากปฏิกิริยาการย่อยสลายนี้ได้เป็นก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งแอลกอฮอล์ ทำให้สภาพในบ่อหมักมีความเป็นกรด (ค่าพีเอชต่ำ) และแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพความเป็นกรดจะทำหน้าที่ต่อไป ซึ่งกระบวนการนี้เป็นเพียงการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนไปเป็นสารอินทรีย์อย่างง่ายเท่านั้น ยังไม่มีการลดค่าซีโอดีในขั้นตอนนี้ อัตราการเกิดปฏิกิริยา ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง, ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียและองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์

### ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรดอะซิติก (Acidogenesis)

การย่อยสลายในขั้นตอนนี้ ใช้สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของการย่อยในขั้นตอนแรกที่ละลายได้แล้วเป็นสารตั้งต้น ถูกแบคทีเรียนำเข้าไปย่อยด้วยเอนไซม์ภายในเซลล์ และขับออกมาภายนอกได้เป็นสารพวกกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก ดังสมการที่ 2-5 เช่น กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids, VFAs) แอลกอฮอล์ กรดแลคติก (Lactic acid) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ก๊าซไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ )



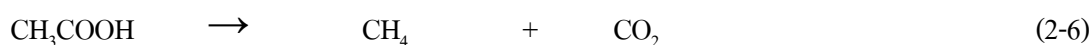
### ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติกโดยแบคทีเรียสร้างกรด (Acetogenesis)

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างมีเทน ปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาสำคัญในการลดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย และไฮโดรเจน หากมีปริมาณที่สูงพอจะยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนได้ โดยแบคทีเรียสร้างกรดจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน

#### ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

เป็นกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจากกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane forming bacteria) การสร้างก๊าซมีเทนเกิดได้ 2 แบบ คือ เกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการที่ 2-6 โดยคิดเป็นร้อยละ 70 ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบและเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการที่ 2-7

ขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จำกัดควบคุมการหมักย่อยของทั้งระบบ ซึ่งสามารถผลิตขึ้นได้ทั้งจาก อะซิเตท และก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่ใช้ อะซิเตท (Acetotrophic Bacteria) และไฮโดรเจนเป็นอาหาร (Hydrogenotrophic Bacteria) แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนจากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เจริญเติบโตได้ดีกว่าพวกที่ใช้อะซิเตท ดังนั้นการผลิตมีเทนจากอะซิเตทจึงอาจเป็นส่วนที่จำกัดการผลิตมีเทนในภาพรวมทั้งหมดด้วย



##### 2.3.1.1 สภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจำเป็นต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดที่เจริญเติบโตร่วมกัน ดังนั้นในการเริ่มต้นเดินระบบ จึงต้องมีสภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่เหมาะสม หากสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป ทำให้แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนไม่เจริญเติบโต จะทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย จนอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ สภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย ดังนี้

## 1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน อุณหภูมิที่แบคทีเรียเจริญเติบโตได้เป็นอุณหภูมิที่มีผลต่อองค์ประกอบของเซลล์และกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์ ซึ่งสามารถแบ่งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมได้ 3 ช่วง คือ

ก. Psychrophilic เป็นช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 °C

ข. Mesophilic เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-45 °C

ค. Thermophilic เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 °C

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้นในระบบได้ดี คือ ช่วง 30-38 °C และ ช่วง 48-57 °C แต่การเดินระบบที่ช่วงอุณหภูมิสูงมีข้อเสียที่ Thermophilic Bacteria ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่ากับ Mesophilic Bacteria จึงมีความเสี่ยงต่อการล้มเหลวของระบบสูง และการเดินระบบที่อุณหภูมิสูงยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ ดังนั้นจึงนิยมเดินระบบที่ช่วง Mesophilic มากกว่า Thermophilic

## 2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของกรดระเหย (Volatile acid)

เมื่อการหมักเข้าสู่สภาพคงที่แล้ว จะทำให้เกิดสมดุลของความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ไบคาร์บอเนต ( $\text{CO}_2\text{-HCO}_3$ ) และเกิดแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3\text{-NH}_4$ ) ทำให้สารละลายในบ่อหมักมีค่าพีเอชระหว่าง 7.0-8.5 ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ในสารละลายในบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ทำงานเป็นปกติ

### 2.1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ในระบบการบำบัดชนิดนี้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างเกิดขึ้นอยู่เป็นประจำ โดยมีสาเหตุมาจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ กรณีมีการป้อนเข้าในปริมาณมากเกินไป จะทำให้แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด ผลิตกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณมากจนแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนไม่สามารถใช้ได้ทัน จึงเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบ ส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบลดลง ซึ่งถ้าค่าพีเอชของสารละลายในบ่อหมักลดลงต่ำกว่า 6.2 จะหยุดยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน เป็นผลทำให้การผลิตก๊าซมีเทนลดลงหรือไม่มีการผลิตเลย ดังนั้น ระบบจะต้องมีความสามารถในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ดี หากระบบมีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ที่มากพอ ก็จะสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบได้

## 2.2) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity: Alk)

ค่าที่บอกถึงปริมาณบัฟเฟอร์ (Buffering Capacity) ของระบบ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง และยังเป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของระบบ กล่าวคือ ถ้าระบบมีค่าความเป็นด่างสูง แสดงว่าระบบมีปริมาณบัฟเฟอร์สูง สามารถรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน โดยไม่เกิดการแปรปรวนเมื่อมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเพิ่มขึ้นในระบบ โดยพบว่าค่าความเป็นด่างภายในระบบ ควรมีอยู่ในช่วง 1,000-3,000 mg/L as CaCO<sub>3</sub>

## 2.3) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acids: VFA)

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบบำบัดน้ำเสีย หากพบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีมากขึ้น เป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบในสภาวะปกติ ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายภายในถังปฏิกรณ์ไม่ควรเกิน 2,000 mg/L as CH<sub>3</sub>COOH และการควบคุมระบบที่ดีที่สุดควรให้มีค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่างไม่ควรเกิน 0.3-0.4 วิธีการแก้ไขให้ระบบกลับสู่สภาพสมดุล ทำได้ดังนี้

- ก. ตรวจสอบที่มาของการป้อนสารอินทรีย์ที่มากเกินไป
- ข. การลดการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบและควรมีบ่อเก็บน้ำเสียสำรอง
- ค. กรณีฉุกเฉินถ้าต้องการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมกับระบบ อาจจะใช้วิธีการเติมสารเคมี เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO<sub>3</sub>) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซเดียมคาร์บอเนต (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) เป็นต้น ไม่ควรใช้ปูนขาว Ca(OH)<sub>2</sub> เนื่องจากอาจจะทำให้เกิดการอุดตันในระบบได้

## 3. อัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic loading rate: OLR)

อัตราการรับสารอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด (Feeding Rate) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการรักษาเสถียรภาพของระบบให้คงที่ มีหน่วยเป็นน้ำหนักของซีโอดีที่อยู่ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดต่อปริมาตรของบ่อบำบัดต่อวัน (kg COD/m<sup>3</sup>.day) ในทางปฏิบัตินิยมเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดโดยมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดให้สัมพันธ์กับระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสกันระหว่างแบคทีเรียกับสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อให้ระบบบำบัดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

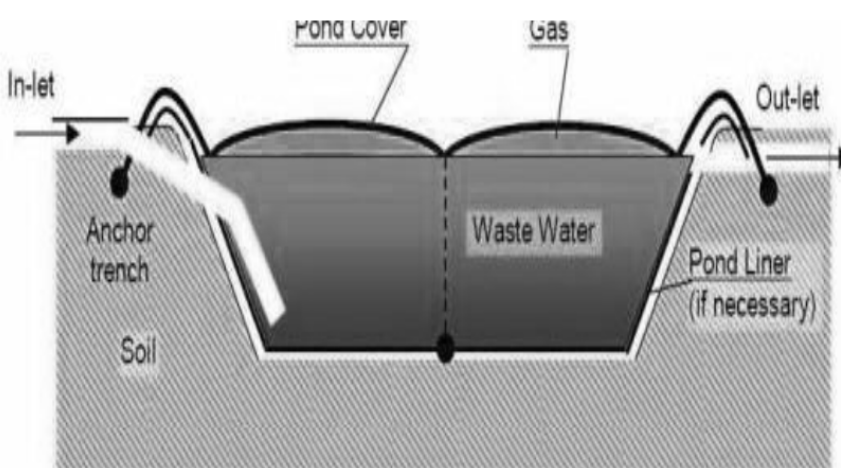


#### 4. ความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมัก (Substrate Solids content)

ความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมักแบบมีการเติมสารอินทรีย์อย่างสม่ำเสมอ ควรมีค่าระหว่าง 5-10% และมีค่าประมาณ 25% สำหรับบ่อหมักแบบเติมสารอินทรีย์เพียงครั้งเดียว สามารถแบ่งตามแบบการเติมสารหมัก (สารอินทรีย์กับน้ำ) คือ

- ก) แบบเติมครั้งเดียว (Batch Operation) โดยการเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว แล้วปล่อยให้ถูกย่อยสลายจนหมดแล้วจึงเอาออก และเติมสารอินทรีย์ลงใหม่ ข้อเสียของการเติมสารหมักประเภทนี้ ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซต่ำ และปริมาณก๊าซไม่คงที่
- ข) แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous Operation) โดยการเติมสารอินทรีย์เป็นประจำ ปริมาณการเติมขึ้นอยู่กับสภาพสารอินทรีย์ที่มี และขนาดของบ่อหมัก ผลที่ได้มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแรก ปริมาณก๊าซที่ได้ค่อนข้างคงที่
- ค) แบบต่อเนื่อง (Continuous Operation) เป็นการเติมสารอินทรีย์เข้าและเอาสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกอยู่ตลอดเวลาด้วยอัตราการไหลเข้าและออกคงที่ ประสิทธิภาพของระบบนี้จะสูงสุด เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่อยู่ตลอดเวลา

##### 2.3.1.2 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม



รูปที่ 2-4 บ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม (Anaerobic Covered Lagoon) มีถึงปฏิกรณ์ลักษณะเป็นบ่อดินขุดขนาดใหญ่ โดยปกปิดบ่อควรมีความลึกไม่ต่ำกว่า 6 เมตรและปิดคลุมด้วยแผ่นพลาสติกทำด้วย PVC หรือ HDPE ที่ด้านบน เพื่อเก็บกักก๊าซชีวภาพภายใต้ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย (ทำให้แผ่น โป่งขึ้น) ตัวผนังและพื้นบ่อดินจะมีการปูพื้นเพื่อป้องกันน้ำเสียปนเปื้อนสู่หน้าใต้ดิน วัสดุที่ใช้ปูพื้น เช่น พลาสติกทำด้วย PVC หรือ HDPE เป็นต้น

การดำเนินระบบง่ายไม่ซับซ้อนโดยน้ำเสียจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบจากด้านล่างของบ่อและเกิดการตกตะกอนที่บริเวณก้นบ่อ รวมทั้งเกิดการย่อยเป็นกรดอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ซึ่งแขวนลอยจะสัมผัสกับน้ำเสียและใช้สารอาหารจากน้ำเสียในการเจริญเติบโตและผลิตก๊าซชีวภาพตามลำดับ แล้วน้ำจะไหลออกด้านตรงข้ามเพื่อให้ระยะเวลาเก็บกักเก็บน้ำเสียหรือระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในบ่อนานที่สุด

ปัญหาสำคัญที่มักเกิดขึ้นในการใช้งานระบบ ได้แก่

#### 1) ปัญหาก๊าซรั่วซึม

มักเกิดขึ้นตามรอยต่อของวัสดุคลุมบ่อ เช่น รอยต่อของพลาสติก รอยต่อบริเวณขอบบ่อ ซึ่งการคลุมบ่อแบบนี้มีวิธีการเก็บพลาสติกขอบบ่อ 2 แบบ คือ แบบที่ฝังพลาสติกลงไปใต้ดิน (ฝังใต้ดิน) เพื่อใช้แรงอัดของดินกันไม่ให้ก๊าซรั่วออกนอกระบบ และแบบที่ติดตั้งของพลาสติกไว้ใต้น้ำ (ฝังใต้น้ำ) เพื่อใช้น้ำเป็นตัวกันไม่ให้ก๊าซชีวภาพหลุดออกนอกระบบ (Water Sealed) โดยการยกขอบบ่อขึ้นในลักษณะเป็นรางคอนกรีต ทำให้ต้นทุนการก่อสร้างระบบสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระบบแบบบ่อปิดคลุมนี้มักมีขนาดใหญ่และมีพื้นที่หน้าตัดมาก การฝังใต้น้ำจะมีค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นมาก ดังนั้นการฝังพลาสติกไว้ใต้ดินโดยตรงจึงเป็นที่นิยมมากกว่า

#### 2) ปัญหาน้ำขังบนพลาสติกคลุม

เนื่องจากลักษณะถึงปฏิกรณ์เป็นแบบบ่อดินขุดขนาดใหญ่ ทำให้พื้นที่หน้าตัดรองรับน้ำฝนสูงตามไปด้วย เมื่อฝนตกจึงเกิดการขังตัวของน้ำบนพลาสติกก่อให้เกิดปัญหาการฉีกขาดของพลาสติกได้ และอาจส่งผลเสียต่อการกระจายตัวของก๊าซ ทำให้มีบางบริเวณที่ไม่สามารถสูบลไปใช้งาน โดยทั่วไปมักแก้ปัญหาด้วยการติดตั้งเครื่องสูบน้ำไว้ สำหรับสูบน้ำที่ขังบนพลาสติกคลุมบ่อออก

### 3) ปัญหาการสะสมของตะกอนภายในบ่อ

การสะสมตะกอนภายในบ่อจะทำให้ปริมาตรของบ่อลดลง ประสิทธิภาพการทำงานลดลง และอาจทำให้เกิดการกีดขวางการไหลของน้ำ เนื่องจากบ่อมีพื้นที่หน้าตัดมาก ทำให้ความเร็วไหลขึ้นของก๊าซ (Gas upflow velocity) และการกวนผสมต่ำ และถ้าเกิดฝ้าหรือตะกอนลอย (Scum) จะทำให้มีการกีดขวางการไหลของน้ำและส่งผลต่อการดึงก๊าซออกจากระบบ

ทั้งนี้สามารถสรุปข้อดีและข้อจำกัดของระบบบำบัดไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุมได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบบำบัดไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม

ข้อดี	ข้อจำกัด
ก่อสร้างได้ง่าย รวดเร็ว และเงินลงทุนต่ำ	ต้องการพื้นที่ก่อสร้างมาก ไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีราคาที่ดินสูง
ระบบมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์หรือสารพิษ เมื่อน้ำเสียที่ป้อนเข้ามีการเปลี่ยนแปลงสมบัติอย่างรวดเร็ว เช่น COD, SS, pH หรือสารพิษและความเข้มข้นสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น (Organic shock load) จึงทำให้ได้รับผลกระทบต่ำ	การกวนผสมในระบบและการกระจายของน้ำเสียเข้าในบ่อไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากใช้การกวนเป็นไปโดยธรรมชาติ (อาศัยก๊าซที่เกิดขึ้น)
เหมาะกับน้ำเสียหรือของเสียที่มีความเข้มข้นของแข็งสูง หรือของเสียที่มีสิ่งที่เป็นพิษเจือปน ซึ่งโดยปกติจะใช้กันในกรณีที่เป็นของเสียจากฟาร์ม น้ำเสียจากเอทานอล (ที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ)	การใช้งานบ่อไม่เต็มประสิทธิภาพ ควบคุมระบบได้ยาก โดยมีโอกาสที่มีการไหลลัดวงจรของน้ำเสียสูงจากการกวนผสมของตะกอน ทำให้เกิดบริเวณที่เป็น Dead Zone ได้มาก หากการกวนผสมไม่ดี
ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบสูง (โดยเฉพาะของแข็งแขวนลอย)	หากไม่มีการตรวจวิเคราะห์ระบบสม่ำเสมอ กรณีการระบบล้มเหลวหรือความเข้มข้นของมีเทนลดลง การรับรู้และแก้ไขระบบกลับสู่สภาวะปกติทำได้ช้า

### 2.3.2 ระบบระเหยกากส่า

เนื่องจากการบำบัดน้ำกากส่าด้วยวิธีนี้ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายในประเทศไทย ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาและรวบรวมรายงานการวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับระบบระเหยกากส่า และกำจัดโดยการเผา Cortez (1997) มีความเห็นว่าวิธีการกำจัดน้ำกากส่าโดยการเผาเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ให้ผลพลอยได้ด้านพลังงานและการใช้ประโยชน์จากชี้เถ้าจากการเผาไหม้ จึงตั้งสมมติฐานทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำกากส่ากับน้ำมันเตาที่สัดส่วนแตกต่างกัน โดยอ้างอิงข้อมูลประกอบจากรายงานการวิจัยที่ได้มีการศึกษาก่อนหน้า ดังนี้

Reich (1945) ทดลองนำน้ำกากส่ามาระเหยใน 4-Effect Evaporator ให้มีความเข้มข้น 70-80% Solids แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 343 °C ได้เป็นชี้เถ้าซึ่งมีโพแทสเซียมผสมอยู่มาก โดยมีรายงานว่าโรงกลั่นและผลิตสุราในประเทศอินเดียและบราซิลได้ทดลองนำหลักการนี้ไปใช้ในการบำบัดน้ำกากส่าแต่ก็ต้องล้มเลิกไปเนื่องจากความไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

Kujala (1976) รายงานว่าแนวคิดการระเหยน้ำกากส่าแล้วนำไปเผานั้นมีมาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 หลังจากที่มีการพัฒนาเตาเผาโดย Whitaker และบริษัท U.S Industrial Chemicals ซึ่งแม้ว่าจะมีงานวิจัยที่กล่าวถึงความสำเร็จของการใช้เตาเผาเพื่อการจัดน้ำกากส่า แต่ปัจจุบันยังคงขาดแคลนข้อมูลในการสนับสนุนเทคโนโลยีนี้เพื่อประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา น้ำกากส่าได้อย่างแท้จริง

ปัจจุบันมีรายงานความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของระบบระเหยกากส่าและกำจัดโดยการเผา ใน The ISSCT Coproducts workshop 2012, Praj ประเทศอินเดีย นำเสนอแนวคิดการใช้ระบบระเหยให้เป็นส่วนหนึ่งในการกำจัดของเสียอุตสาหกรรม โดยกล่าวถึงความเป็นไปได้ในการลดการใช้พลังงานไอน้ำ และการบำบัดน้ำเสียให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เพื่อให้สอดคล้องกับหลักการไม่ทิ้งน้ำ (Zero Liquid Discharge) ซึ่งเริ่มมีการใช้งานแพร่หลายในต่างประเทศ ทั้งนี้จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมามองเห็นได้ว่าก่อนการนำไปใช้ประโยชน์ต้องมีการระเหยน้ำกากส่าให้มีความเข้มข้นมากขึ้น ดังนั้น น้ำกากส่าที่ออกจากกระบวนการกลั่นที่มีความเข้มข้น 15-18 %Solids จึงต้องนำไประเหยให้มีความเข้มข้นประมาณ 60% solids ขึ้นไป

### 2.3.2.1 หลักการระเหย (Chin Shu Chen and Ernesto Hernandez, 1997)

การระเหย (Evaporation) เป็นการถ่ายโอนความร้อนไปยังของเหลวที่กำลังเดือดจนของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ซึ่งการระเหยในอุตสาหกรรมเคมี คือต้องการทำให้สารละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากของเหลวมีสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้น การออกแบบเครื่องระเหยจึงต้องนำสมบัติของเหลวที่ระเหยมาพิจารณา ได้แก่ ความเข้มข้น การเกิดฟอง สภาพไวต่ออุณหภูมิ การเกิดตะกอน และการพิจารณาถึงวัสดุที่ใช้สร้างเครื่องระเหย

**1. ความเข้มข้นของของเหลวที่ป้อนเข้าสู่เครื่องระเหย** อาจมีค่าน้อยหรือมีความเจือจางมากจนมีสมบัติทางกายภาพคล้ายน้ำ เมื่อของเหลวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สารละลายจะเริ่มมีลักษณะเฉพาะตัว ความหนาแน่นและความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น จนกระทั่งสารละลายเริ่มอึดตัวหรือของเหลวมีความหนืดมากเกินไปสำหรับการถ่ายโอนความร้อน ถ้ายังคงดำเนินการต้มสารละลายที่อึดตัวต่อไป จะเกิดการสร้างผลึก ซึ่งต้องกำจัดออกเพื่อป้องกันการอุดตันในท่อ และเมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น จุดเดือดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นมาก ดังนั้นอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลายที่เข้มข้นจะสูงกว่าจุดเดือดของน้ำที่ความดันเดียวกัน

**2. การเกิดฟอง** วิธีป้องกันการเกิดฟองทำได้โดยการใช้สารป้องกันการเกิดฟองหรือสร้างแผ่นกั้นด้านบนของเครื่องระเหยเพื่อให้ฟองที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่ชนและแตกออก สำหรับหยดของเหลวที่เกิดจากการแตกของฟองป้องกันได้โดยกำหนดให้มีช่องว่างเหนือผิวของเหลวให้มากขึ้น ลดความเร็วของไอที่ไหลขึ้นข้างบนและติดตั้งเครื่องดักจับที่ทางออกของเครื่องระเหย

**3. สภาพไวต่ออุณหภูมิ (Temperature Sensitivity)** กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพและคุณสมบัติของสารที่ต้องการระเหย เมื่อได้รับความร้อน เนื่องจากสารเคมีหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์ทางเภสัชกรรม และอาหาร มีสภาพไวต่ออุณหภูมิมาก อาจสูญเสียคุณสมบัติเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นจึงต้องใช้เทคนิคพิเศษเพื่อลดอุณหภูมิของของเหลว และเวลาในการให้ความร้อนกับสารประเภทนี้ เช่น เครื่องระเหยที่กระทำภายใต้ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้ตัวทำละลายเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ

**4. การเกิดตะกอน** ตะกอน (Scale) คือ กลุ่มหินปูนจำพวกเกลือแคลเซียม และแมกนีเซียมหรือซิลิกา ตามปกติพบมากในกลุ่มเกลือแคลเซียม และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{MgCO}_3$ ) เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวอุปกรณ์ถ่ายโอนความร้อน เช่น เครื่องควบแน่นหรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สารละลายบางชนิดเกิดตะกอนเกาะบนพื้นผิวที่ให้ความร้อน ทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนลดลงอย่างต่อเนื่อง

5. การพิจารณาถึงวัสดุที่ใช้สร้างเครื่องระเหย วัสดุที่ใช้ต้องถ่ายโอนความร้อนได้ดี หาง่าย และไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ต้องการระเหย นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติของของเหลวอื่นๆ อีกที่ต้องนำมาพิจารณา เช่น ความร้อนในการทำให้เข้มข้น (Heat of Concentration) จุดเยือกแข็ง แก๊สที่ปล่อยออกมาขณะเดือด ความเป็นพิษ อัตราการระเหย การปล่อยกัมมันตภาพรังสี การเลือกวัสดุเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นการเฉพาะ ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของของเหลวเป็นหลัก

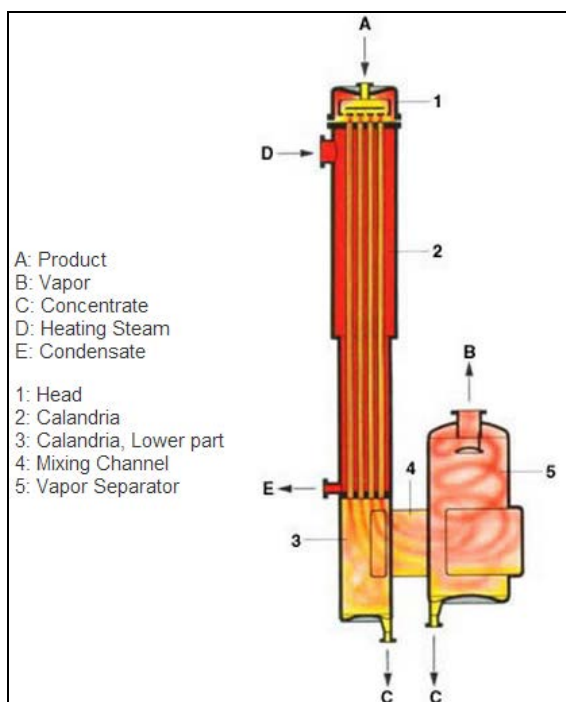
### 2.3.2.2 แบบของเครื่องระเหย (Paul E.Minton, 1986)

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาแบบของเครื่องระเหยที่ใช้ท่อไอน้ำร้อนและเป็นที่ยอมรับใช้กันมากที่สุด 2 ประเภท คือ (1) เครื่องระเหยชนิดของเหลวไหลลงหรือฟิล์มกำลังตก (Falling-Film Evaporator) และ (2) เครื่องระเหยชนิดใช้แรงทำให้เกิดการไหลเวียน (Forced - Circulation Evaporator) ซึ่งสามารถอธิบายหลักการทำงานได้ดังนี้

#### (1) เครื่องระเหยชนิดของเหลวไหลลงหรือฟิล์มกำลังตก (Falling-Film Evaporator)

Falling Film Evaporator มีลักษณะเป็นท่อยาวหุ้มด้วย Steam jacket โดยสารละลายที่ต้องการระเหยถูกป้อนเข้าด้านบน เคลื่อนที่ในแนวตั้งไหลลงเป็นฟิล์มบาง (Falling Film) สัมผัสกับผิวร้อนที่ผนังท่อในทิศทางขนานกันกับไอน้ำ วัตถุประสงค์ของการเคลื่อนที่แบบฟิล์มบาง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำจะระเหยระหว่างการเคลื่อนที่ ส่วนไอที่เกิดจากสารละลายที่ได้รับความร้อน ถูกพาลงมาด้านล่างพร้อมกับสารละลายที่เข้มข้น แล้วไอจะถูกแยกออกทางด้านล่างของเครื่องระเหย ดังแสดงในรูปที่ 2-5

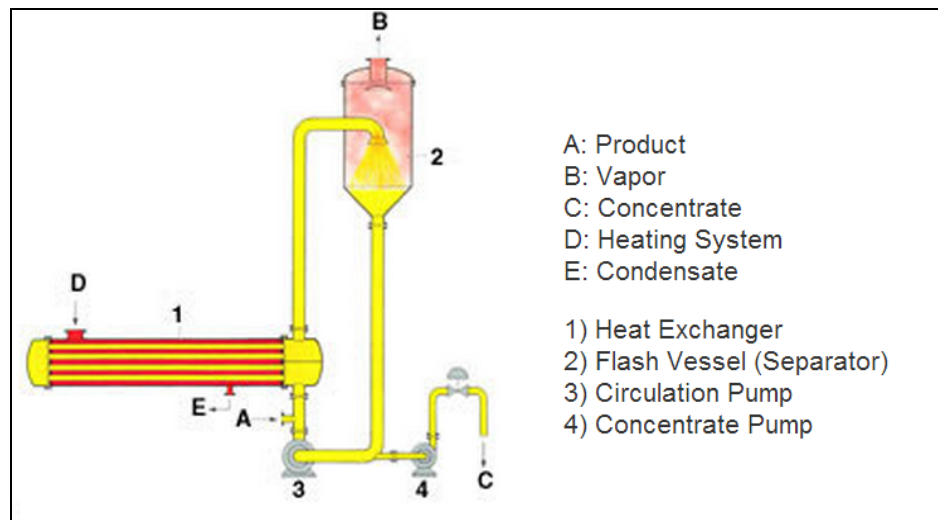
เครื่องระเหยประเภทนี้มีการใช้งานอย่างกว้างขวางสำหรับการทำให้สารละลายมีความเข้มข้น เมื่อสารละลายนั้นไม่คงทนต่อความร้อน เช่น นมหรือน้ำผลไม้ เนื่องจากระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับไอน้ำตามแนวท่ออย่างรวดเร็วมาก เพียงแค่ 2-3 วินาทีเท่านั้น



รูปที่ 2-5 Falling-Film Evaporators (GEA Process Engineering,online)

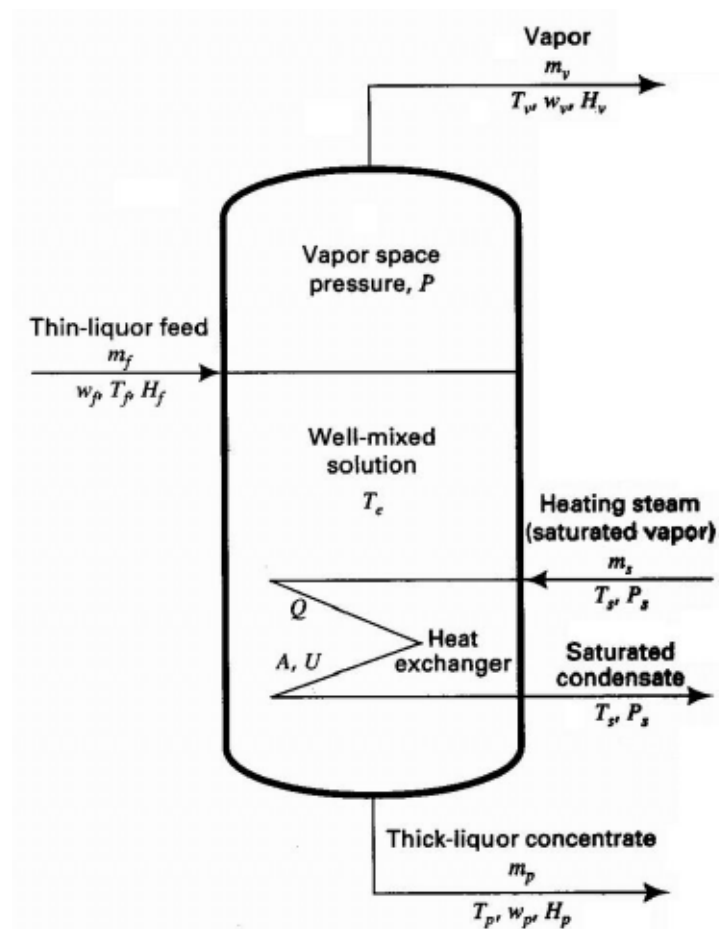
## (2) เครื่องระเหยชนิดใช้แรงทำให้เกิดการไหลเวียน (Forced – Circulation Evaporator)

เครื่องระเหยประเภทนี้ใช้กับสารละลายที่มีความหนืดสูง โดยใช้เครื่องสูบบังคับให้สารละลายไหลขึ้นด้านบนผ่านท่อ เมื่อให้ความร้อนขนาดปานกลางรอบๆท่อที่มีสารละลายอยู่ภายในความดันจะตกลงเพื่อให้แน่ใจว่าของเหลวจะเดือดภายในท่อ ของเหลวจะถูกทำให้ร้อนจัดขณะที่ไหลจากเครื่องให้ความร้อนไปยังบริเวณที่เป็นไอ หลังจากนั้นจะกลายเป็นส่วนผสมของไอและฟองในท่อทางออกจากด้านล่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ก่อนที่จะเข้าสู่ตัวถังของเครื่องระเหย ของผสมของของเหลวและไอดีอยู่บนแผ่นดีฟเลกเตอร์ (Deflector plate) ในบริเวณที่เป็นไอของเหลวไหลกลับ ไปสู่เครื่องสูบของเหลวเข้า เมื่อของเหลวนี้สัมผัสกับของเหลวที่ป้อนเข้ามาใหม่ ส่วนที่เป็นไอดีเคลื่อนที่ไปด้านบนของเครื่องระเหยไปยังเครื่องควบแน่นหรือเครื่องระเหยต่อไป ส่วนของเหลวที่ออกจากเครื่องแยกจะถูกทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 Forced – Circulation Evaporators (GEA Process Engineering,online)

### 2.3.2.3 แบบจำลองเครื่องระเหยทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 2-7 แบบจำลองเครื่องระเหยแบบการไหลต่อเนื่องที่สภาวะคงตัว



ข้อสมมติหลักในการหาสูตรแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องระเหย จำนวน 7 ข้อ มีดังต่อไปนี้

1. ของเหลวเจือจางที่ป้อนเข้าเครื่องระเหยจะต้องมีองค์ประกอบที่ระเหยได้ง่ายเพียงองค์ประกอบเดียวเท่านั้น ในที่นี้คือ น้ำ
2. มีเพียงความร้อนแฝงของไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ  $T_s$  เท่านั้นที่สารละลายสามารถนำมาใช้ เพื่อให้ทำให้สารละลายร้อนและกลายเป็นไอในเครื่องระเหย
3. การเดือดของสารละลายที่ถูกกวนบนพื้นผิวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องระเหยมีอย่างพอเพียง ทำให้เกิดการผสมอย่างสมบูรณ์ขึ้น ดังนั้น อุณหภูมิของสารละลายในเครื่องระเหยจะเท่าอุณหภูมิของสารละลายเข้มข้นที่ออกจากเครื่องระเหย นั่นคือ อุณหภูมิสารละลายระเหย มีค่าเท่ากับ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ไหลออกจากเครื่องระเหย ( $T_c = T_p$ ) และทำให้อุณหภูมิสารละลายระเหยในเครื่องระเหยเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ที่อุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ไหลออกจากเครื่องระเหย ( $T_v = T_p$ )
4. จากสมมติฐานหลักข้อที่ 2 และข้อที่ 3 อุณหภูมิรวมที่เป็นแรงขับเคลื่อนสำหรับใช้ในการถ่ายโอนความร้อน คือ ผลต่างของอุณหภูมิ ( $\Delta T$ ) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ ผลต่างของอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว กับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ( $T_s - T_p$ )
5. ผลต่างของอุณหภูมิมีค่าสูงเพียงพอที่ทำให้เกิดการเดือดและไม่สูงจนทำให้เกิดฟิล์มการเดือด
6. อุณหภูมิส่วนที่เป็นไอที่ออกจากเครื่องระเหย ( $T_v$ ) เท่ากับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ( $T_p$ ) และอุณหภูมิภายในเครื่องระเหย ( $T_c$ ) นั่นคือ  $T_v = T_p = T_c$  เช่นเดียวกับความดันของไอส่วนที่เป็นที่ว่างในเครื่องระเหย
7. ไม่มีการสูญเสียความร้อนจากเครื่องระเหย

จากพื้นฐานสมมติฐานหลักทั้ง 7 ข้อของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย สมดุลมวลรวม, สมดุลมวลตัวละลาย, สมดุลพลังงาน หรือสมดุลเอนทัลปีของสารละลาย และเอนทัลปีของไอน้ำร้อน รวมถึงการหาอัตราการถ่ายโอนความร้อน โดยมีสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$\text{สมดุลมวลรวม : } \dot{m}_f = \dot{m}_p + \dot{m}_v \quad (2-8)$$

$$\text{สมดุลมวลบนตัวละลาย : } w_f \dot{m}_f = w_p \dot{m}_p \quad (2-9)$$

$$\text{สมดุลเอนทัลปีบนสารละลาย : } q = \dot{m}_v H_v + \dot{m}_p H_p - \dot{m}_f H_f \quad (2-10)$$

$$\text{สมดุลเอนทัลปีบนไอน้ำร้อน } q = \dot{m}_s \Delta H_{vap} \quad (2-11)$$

$$\text{อัตราการถ่ายโอนความร้อน } q = UA(T_s - T_p) \quad (2-12)$$

#### 2.3.2.4 การใช้พลังงานของระบบระเหยภาค้ำ (GEA Process Engineering, online)

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบระเหย พบว่า ส่วนใหญ่มาจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับการระเหยหรือการกลั่นตัว โดยในปัจจุบันมีการนำเสนอวิธีการลดการใช้พลังงาน โดยการนำไอน้ำที่เหลือจากกระบวนการกลับมาใช้ โดยแบ่งรูปแบบการใช้พลังงานไอน้ำได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

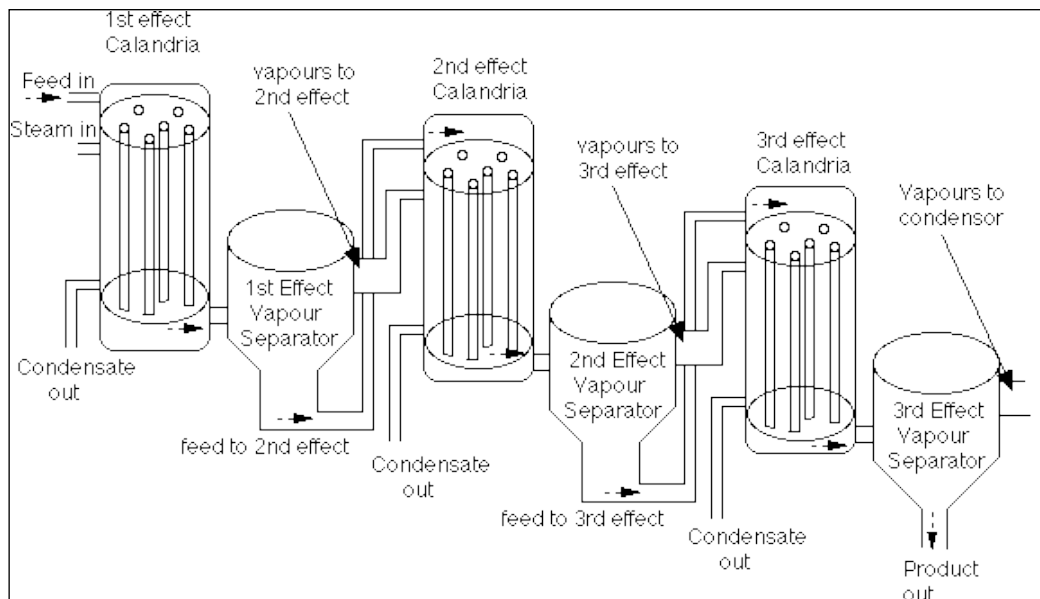
##### 1) การให้ความร้อนโดยตรง (สำหรับแบบ Single หรือ Multiple Effect)

เป็นการใช้ไอน้ำที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไอน้ำโดยตรงหรือความร้อนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการอื่น ๆ มาใช้ประโยชน์ ซึ่งเมื่อพิจารณาสมดุลความร้อนจาก Single-Effect Evaporator เอนทัลปีของไอน้ำที่ระเหยจะมีค่าเท่ากับความร้อนที่เข้าระบบ ซึ่งตามปกติไอน้ำที่ระเหยได้ 0.5 kg/hr ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำได้ 0.5 kg/hr เช่นเดียวกันทั้งนี้เนื่องจากค่าความร้อนจำเพาะของการไอรเหยและไอน้ำที่นำมาใช้แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีค่าเท่ากัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษากรณีระบบเครื่องระเหยผลหลายเชิง (Multiple Effect Evaporator)

##### ระบบเครื่องระเหยผลหลายเชิง (Multiple Effect Evaporator)

กรณีการนำไอน้ำที่ได้จากเครื่องระเหยเครื่องที่หนึ่งถูกป้อนเข้าไปในช่องป้อนไอน้ำเครื่องระเหยเครื่องที่สองเพื่อใช้ไอน้ำส่วนนี้เป็นแหล่งพลังงาน และไอน้ำจากเครื่องระเหยเครื่องที่สองถูกส่งไปในช่องป้อนไอน้ำเครื่องระเหยครั้งที่สาม และต่อๆไป การทำงานแบบนี้จะเรียกว่า

เครื่องระเหยผลหลายเชิง โดยการนำไอน้ำที่เกิดจากการระเหยในเครื่องระเหยก่อนหน้านำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในเครื่องระเหยเครื่องต่อไป ซึ่งสามารถทำเช่นนี้ได้ต่อเมื่อไอน้ำที่ระเหยมาจากเครื่องระเหยก่อนหน้าต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของสารละลายที่อยู่ในเครื่องระเหยที่รับไอน้ำมาเป็นแหล่งพลังงาน กล่าวคือ ความดันภายในเครื่องระเหยเครื่องแรกต้องสูงกว่าความดันภายในเครื่องระเหยเครื่องที่สอง ซึ่งถือเป็นการใช้พลังงานความร้อนอย่างคุ้มค่าและประหยัดค่าใช้จ่าย



รูปที่ 2-8 เครื่องระเหยผลหลายเชิง

อธิบายหลักการทำงาน ดังนี้ เมื่อเดินเครื่องที่สถานะคงตัว อัตราการไหลของของเหลวและอัตราการระเหยเป็นไปในลักษณะที่ไม่มีตัวทำละลายและตัวละลายค้างอยู่ในแต่ละเครื่อง อุณหภูมิ ความเข้มข้น อัตราการไหลของสารป้อนคงตัว ความดันของไอน้ำที่ป้อนเข้าเครื่องควบคุมตามความต้องการ และระดับของของเหลวในแต่ละเอฟเฟกถูกควบคุมเอาไว้ ดังนั้น ความเข้มข้นภายใน อัตราการไหล ความดันและอุณหภูมิจะถูกรักษาให้คงตัวไว้อย่างอัตโนมัติโดยการดำเนินงานของระบบเอง ความเข้มข้นของของเหลวที่เข้มข้น (Thick Liquor) สามารถเปลี่ยนแปลงโดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารป้อนเท่านั้น ถ้าของเหลวที่เจือจางมากๆ ทำให้อัตราการป้อนในเอฟเฟกแรกลดลง และถ้าของเหลวมีความเข้มข้นมากๆ อัตราการป้อนในเอฟเฟกแรกจะเพิ่มขึ้นจนในที่สุดแล้ว ความเข้มข้นในเอฟเฟกสุดท้ายและในของเหลวที่เข้มข้นที่ถูกปล่อย เข้าถึงสถานะคงตัวใหม่ที่ระดับที่ต้องการ โดยอัตราการถ่ายโอนความร้อนในเอฟเฟกแรก ดังแสดงในสมการที่ 2-13

อัตราการถ่ายโอนความร้อนในเอฟเฟลคแรก คือ  $q_1 = A_1 U_1 \Delta T_1$  (2-13)

ถ้าความร้อนส่วนนี้ ถูกนำไปให้ความร้อนกับสารป้อนจนมีอุณหภูมิถึงจุดเดือด ซึ่งในทางปฏิบัติความร้อนทั้งหมดต้องอยู่ในรูปของความร้อนแฝงในไอที่ออกจากเอฟเฟลคแรก อุณหภูมิของของเหลวจากการควบแน่นที่ออกจากเอฟเฟลคที่สองจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิ  $T_1$  ของส่วนที่เป็นไอน้ำจากของเหลวที่เดือดในเอฟเฟลคแรก ดังนั้นที่สถานะคงตัว ความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในการทำให้เกิดไอในเอฟเฟลคแรกต้องถ่ายโอนความร้อนให้กับเอฟเฟลคที่สองใช้โดยไอควบแน่นในเอฟเฟลคที่สอง ดังนั้น การถ่ายโอนความร้อนในเอฟเฟลคสอง แสดงได้ในสมการที่ 2-14

$$q_2 = A_2 U_2 \Delta T_2 \quad (2-14)$$

เนื่องจากอัตราการถ่ายโอนความร้อนในเอฟเฟลคแรก และเอฟเฟลคที่สองมีค่าใกล้เคียงกัน จนถึงว่าเท่ากันได้ ( $q_1 \approx q_2$ ) แสดงได้ในสมการที่ 2-15

$$A_1 U_1 \Delta T_1 = A_2 U_2 \Delta T_2 \quad (2-15)$$

ด้วยเหตุผลในการทำงานเดียวกัน สำหรับเครื่องระเหยสามเอฟเฟลค จึงแสดงได้ในสมการที่ 2-16

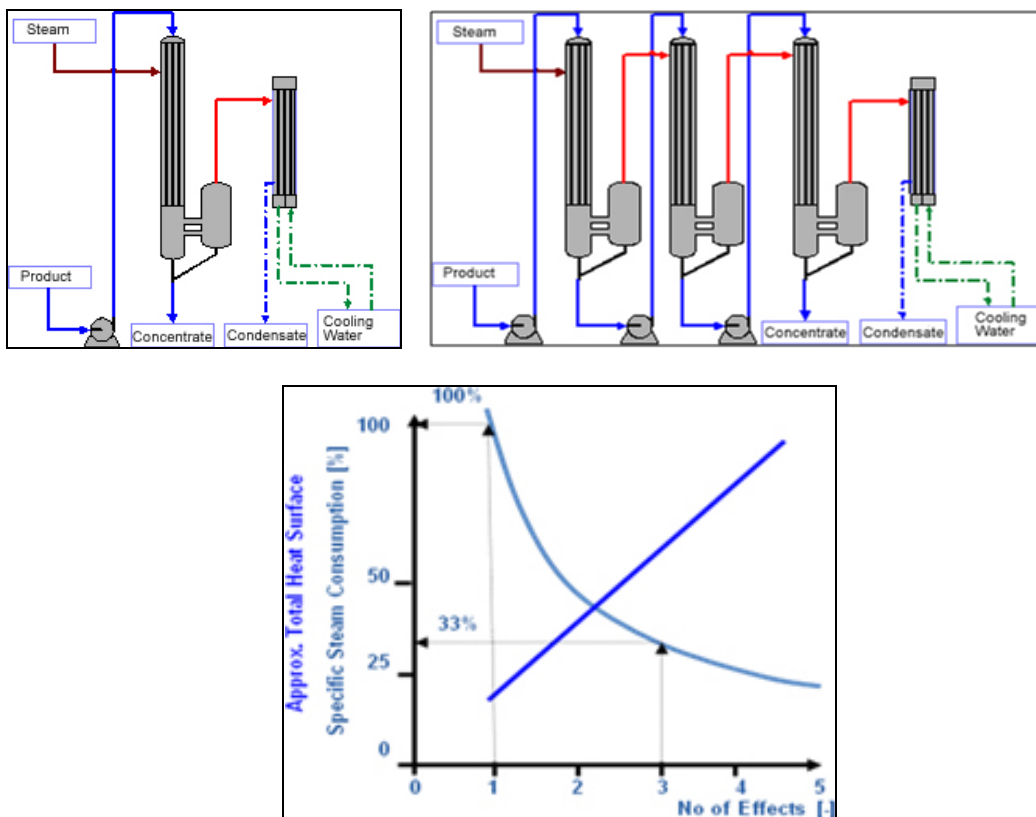
$$A_1 U_1 \Delta T_1 = A_2 U_2 \Delta T_2 = A_3 U_3 \Delta T_3 \quad (2-16)$$

ค่าที่ได้จากสมการที่ 2-15 และ 2-16 เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น ในทางปฏิบัติจะกำหนดให้พื้นที่ให้ความร้อนของแต่ละเอฟเฟลคมีค่าเท่ากันเพื่อความสะดวกและเป็นการประหยัดในการออกแบบ และสร้างเครื่องระเหย ดังนั้น  $A_1 = A_2 = A_3 = A$  เนื่องจาก  $q_1 = q_2 = q_3$  จึงแสดงได้ในสมการที่ 2-17

$$U_1 \Delta T_1 = U_2 \Delta T_2 = U_3 \Delta T_3 = \frac{q}{A} \quad (2-17)$$

จากสมการที่ 2-17 แสดงว่า อุณหภูมิที่ลดลงในเครื่องระเหยผลหลายเชิง จะเป็นสัดส่วนผกผันกับสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน พื้นที่ถ่ายโอนความร้อน ( $A$ ) และเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยประมาณ

พิจารณารูปที่ 2-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเอฟเฟกต์ (Effect) ต่อปริมาณการใช้ไอน้ำในเครื่องระเหย เมื่อเปรียบเทียบระบบระเหยระหว่างแบบ Single Effect Evaporator (1-Effect) กับ Multiple Effect Evaporator (3-Effect) พบว่าการใช้เครื่องระเหย 3-Effect จะใช้ live steam เพียงร้อยละ 33 เท่านั้น เมื่อเทียบกับ 1-effect แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มจำนวน Effect ช่วยให้ประหยัดการใช้ไอน้ำได้มากขึ้นแต่ต้องคำนึงถึงเงินลงทุนด้วย

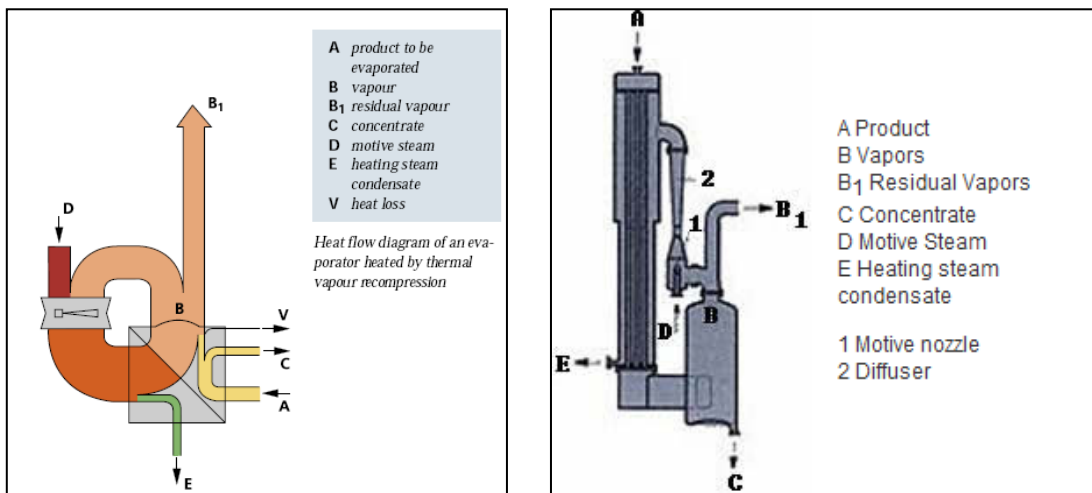


รูปที่ 2-9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน Effect ต่อปริมาณการใช้ไอน้ำในเครื่องระเหย

## 2) Thermal Vapor Recompression (TVR)

หลักการของ Thermal Vapor Recompression (TVR) คือการลดจำนวนการใช้ไอน้ำหรือการประหยัดพลังงานให้เทียบเท่ากับการเพิ่มจำนวน Effect ให้กับเครื่องระเหย โดยการใช้ Steam jet Vapor Compressor ในการอัดไอน้ำ สามารถแสดงลักษณะของระบบและการใช้ไอน้ำดังรูปที่ 2-10 ซึ่งสามารถอธิบายตัวอย่างได้ดังนี้

ระบบระเหยต้องการไอน้ำคงที่ค่าหนึ่งสำหรับการอัดไอ เรียกว่า Motive Steam ในที่นี้ระบบใช้ Motive Steam 0.5 kg/hr จะสามารถเกิดเป็นไอรระเหย 0.5 kg/hr หลังผ่าน Jet Compressor จะได้ Mixed Steam เป็น 1.0 kg/hr ที่สามารถนำไปใช้แลกเปลี่ยนความร้อนและเกิดเป็นไอรระเหยอีก 1.0 kg/hr สำหรับนำไปใช้ในเอฟเฟกถัดไป ทั้งนี้ไอรระเหยในเอฟเฟกสุดท้ายจะควบแน่นร่วมกับผลิตภัณฑ์หรือส่งเข้าเครื่องทำน้ำหล่อเย็นหรือนำไปใช้เป็นน้ำป้อนในหม้อไอน้ำหรืออุ่นลมร้อนได้



**STEAM CONSUMPTION CHART**

Particulars / No. of Effects	1	2	3	4	5	6	7
1. Specific Steam Consumption without TVR	1.1	0.55	0.40	0.30	0.24	0.16	0.12
2. Specific Steam Consumption with TVR over 1st effect	0.40	0.33	0.25	0.20	0.16	0.14	0.12
3. Specific Steam Consumption with TVR over 2nd effect	-	-	0.20	0.17	0.14	0.13	0.11
4. Specific Steam Consumption with TVR over 3rd effect	-	-	-	-	0.13	0.11	0.10
5. Specific Steam Consumption with TVR over 4th effect	-	-	-	-	-	0.10	0.09

รูปที่ 2-10 การใช้ไอน้ำแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)

**3) Mechanical Vapor Recompression (MVR)**

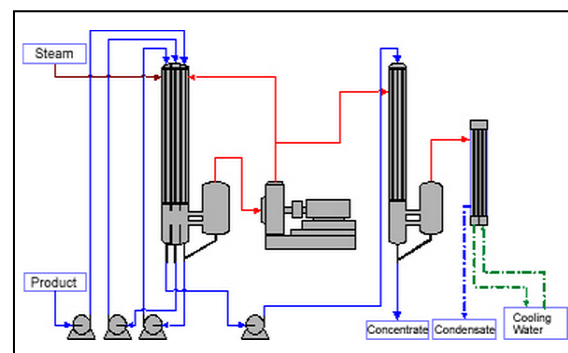
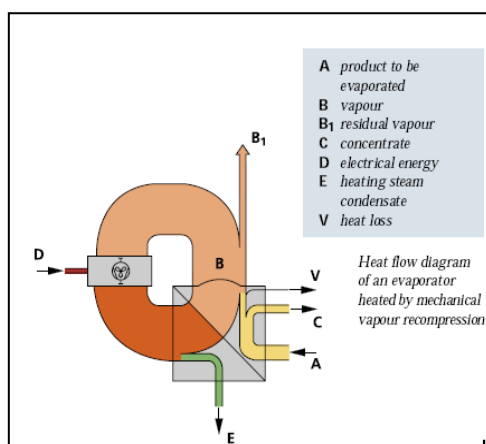
หลักการของ Mechanical-vapor-recompression(MVR) คือ การอัดไอรระเหยให้มีความดันสูงโดยใช้แรงเชิงกล เช่น High Pressure Fans หรือ Centrifugal-Compressors สามารถแสดงลักษณะของระบบและการใช้ไอน้ำ ดังรูปที่ 2-11

ระบบระเหยแบบนี้จะใช้ปริมาณไอน้ำที่เป็น Live Steam เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากไอรระเหยที่ได้จากเอฟเฟลแรกทั้งหมดจะถูกส่งไปอัดไ้อผ่าน MVR เพื่อให้มีความดันสูงทำให้สามารถนำไ้อกลับไปใช้ที่เอฟเฟลแรกได้เช่นเดิม และพลังงานจาก Motive steam จะถูกนำออกไปใช้เป็นพลังงานความร้อนเหลือทิ้งไปใช้ใน Cooling water ต่อไป สามารถอธิบายตัวอย่างได้ดังนี้

สารละลายมีจุดเดือดที่ 50 °C ถูกทำให้ร้อนโดยไอน้ำอุณหภูมิ 70°C ความดันไ้อของสารละลายมีค่าเท่ากับ 12.35 kPa ในขณะที่ความดันไ้อของไอน้ำมีค่าเท่ากับ 31.19 kPa Compressor ต้องอัดไ้อจาก 12.35 kPa ให้มีค่าเท่ากับ 31.19 kPa เพื่อให้สามารถนำกลับไปใช้ได้อีกครั้ง ซึ่งในการเปลี่ยนสถานะจากน้ำให้เป็นไอน้ำ ต้องใช้พลังงาน 2,350 kJ/kg (ขึ้นกับอุณหภูมิไอน้ำที่ต้องการ) ซึ่งในที่นี้ต้องการพลังงานเพียง 5-10% สำหรับการอัดไ้อใหม่ ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของ MVR มีค่าเทียบเท่ากับการใช้ 10-20 Effect Evaporator (William L.Kerr,2007)

ข้อดีของการใช้ MVR คือ ทำให้ใช้ไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำลดลง และเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ต้องใช้มากขึ้นเป็นพลังงานไฟฟ้าแทน แต่บางครั้งอาจต้องใช้ไอน้ำหรือการควบแน่นเพิ่มเติม เพื่อการรักษาสมดุลความร้อนและทำให้การดำเนินระบบอยู่ในสภาวะคงตัว

ทั้งนี้การเลือกใช้งานเทคโนโลยีการใช้ไอน้ำ และกรณีการเลือกจำนวนเอฟเฟลที่ใช้ในการระเหย ขึ้นอยู่กับ ราคาพลังงานของแต่ละท้องถิ่น ความเป็นไปได้ในการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ ต้นทุนในการก่อสร้าง รวมถึงมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่เสียไประหว่างขั้นตอนการทำความสะอาด้วย ซึ่งทุกเทคโนโลยีสามารถทำให้การระเหยมีคุณภาพได้เหมือนกัน ขึ้นกับ ปัจจัยที่เลือกใช้และการออกแบบที่เหมาะสม



รูปที่ 2-11 การใช้ไอน้ำแบบ Mechanical Vapor Recompression(MVR)

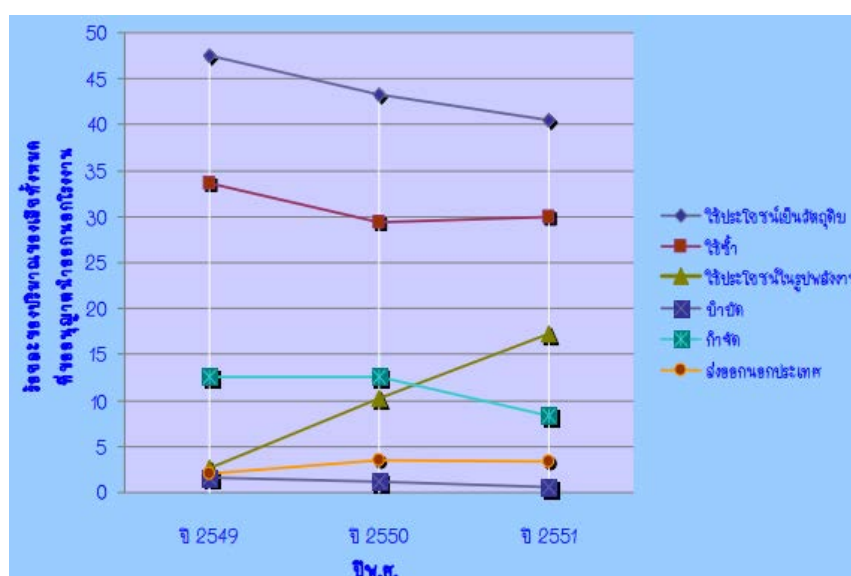
## 2.4 การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการบำบัด

การนำของเสียหรือผลพลอยได้จากการบำบัดไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบใดๆนั้น ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านลักษณะสมบัติของเสียที่ต้องสอดคล้องกับรูปแบบหรือวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และความสามารถในการเก็บรวบรวมก่อนการนำไปใช้ประโยชน์ ตลอดจนผลกระทบจากการนำผลผลิตที่ได้จากของเสียไปใช้ประโยชน์ ฯลฯ

สำหรับประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาเพื่อให้สามารถนำของเสียไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

- องค์ประกอบทางเคมีของของเสียและผลต่อกระบวนการที่นำไปใช้
- คุณค่าทางเศรษฐกิจของของเสียและความคุ้มค่ากับการปรับเปลี่ยนกระบวนการเพื่อให้สามารถนำของเสียนั้นมาใช้ประโยชน์
- ปริมาณความสม่ำเสมอและความสามารถในการรวบรวมของเสียที่จะนำมาใช้ประโยชน์
- ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตและการใช้งานผลผลิต

จากข้อมูลประเภทและปริมาณกากของเสียที่โรงงานอุตสาหกรรมที่ได้ยื่นขออนุญาตนำออกไปบำบัด/กำจัดแต่ละปีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าในช่วงระหว่างปี 2549-2551 มีของเสียที่ขออนุญาตนำไปกำจัดคิดเป็นอัตราร้อยละ 8.4-12.6 ของปริมาณของเสียทั้งหมดที่มีการขออนุญาตนำออกนอกโรงงานในแต่ละปี โดยส่วนใหญ่เป็นการกำจัดโดยวิธีนำไปฝังกลบ ดังรูปที่ 2-12 โดยสังเกตได้ว่า แนวโน้มของการนำกากของเสียไปใช้ประโยชน์ในรูปพลังงานสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่วิธีอื่นๆมีแนวโน้มลดลงหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 2-12 แนวโน้มการใช้ประโยชน์กากของเสีย



### 2.4.1 ก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554)

ก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ประมาณ 50-70 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ประมาณ 30-50 % นอกจากนี้ยังมีก๊าซไฮโดรเจน, ไฮโดรซัลไฟด์, แอมโมเนีย และมีความชื้นปนอยู่เล็กน้อย โดยองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2-3 โดยก๊าซมีเทนบริสุทธิ์มีคุณสมบัติเบากว่าอากาศประมาณครึ่งหนึ่ง (น้ำหนักโมเลกุล 16.04) ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ไม่มีรส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ส่วนก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซผสมอากาศ เป็นก๊าซที่มีกลิ่นเล็กน้อย เกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์

ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบของก๊าซมีเทน

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยปริมาตรแห้ง
มีเทน	60-65
คาร์บอนไดออกไซด์	30-38
ไนโตรเจน	2-5
ออกซิเจน	2-5
ซัลไฟด์, ไฮโดรซัลไฟด์, เมอร์แคปเทน และอื่นๆ	0-1.0
แอมโมเนีย	0.1-1.0
ไฮโดรเจน	0-0.2
คาร์บอนมอนอกไซด์	0-0.2
ก๊าซอื่นๆ	0.01-0.6
อุณหภูมิ, ° F	100-120
ความถ่วงจำเพาะ	1.02-1.06
ความชื้น	Saturated

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม

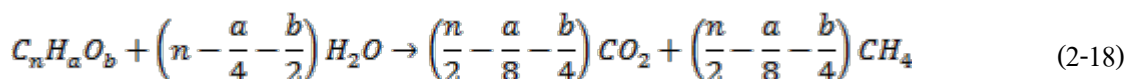
คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่ถูกกำหนดโดยก๊าซมีเทนที่เป็นส่วนประกอบหลัก โดยค่าความร้อนจะขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซมีเทนที่ผสมอยู่ เนื่องจากก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติจุดติดไฟได้ดี จึงสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ โดยต้องพิจารณาว่าโรงงานมีความต้องการพลังงานในกระบวนการผลิตมากน้อยเพียงไร แล้วก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถนำไปทดแทนเชื้อเพลิงได้หรือไม่

ส่วนใหญ่ทางเลือกในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ในรูปแบบการให้ความร้อนโดยตรงนั้น เหมาะสำหรับโรงงานที่มีรูปแบบการใช้พลังงานความร้อนอยู่แล้ว จึงต้องคำนึงถึงปริมาณความต้องการก๊าซชีวภาพเพื่อไปเป็นเชื้อเพลิงมีสูงพอเมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ทั้งนี้เมื่อนำค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 60 จำนวน 1 ลบ.ม. มาเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ จะมีค่าเท่าเทียมกับ

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

#### ก.) ปริมาณของก๊าซชีวภาพ

(สุธรรม ปทุมสวัสดิ์, 2545) ปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายสัมพันธ์กันโดยตรงกับ ปริมาณของก๊าซมีเทนที่ได้ โดยทั่วไปปริมาณของก๊าซชีวภาพสามารถประมาณได้จากสมการเคมีจาก องค์ประกอบทางเคมีของอินทรีย์สาร ดังแสดงในสมการที่ 2-18



ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียภาคสา นิยมวัดด้วย ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) เมื่อ ค่าซีโอดี หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำ ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยใช้หลักการว่าสารประกอบอินทรีย์เกือบทุกชนิดจะถูก ออกซิไดซ์ด้วย Strong Oxidizing Agents ( $K_2Cr_2O_7$ ) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ซึ่งค่าซีโอดีนิยมใช้มาก ในการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและใช้ในการสำรวจออกแบบเพื่อพิจารณาและ ควบคุมเกี่ยวกับระบบท่อน้ำเสีย เนื่องจากใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 3 ชั่วโมง จึงสามารถแก้ไข ข้อผิดพลาดได้ทันที

#### ข.) ทฤษฎีการเกิดก๊าซชีวภาพ (DEDE,online)

$$\text{จาก } 1 \text{ g COD ที่ถูกกำจัด} = 0.35 \text{ L } CH_4 \quad (\text{ที่ } 0^\circ\text{C, 1atm}) \quad (2-19)$$

$$\text{หรือ } 1 \text{ g COD ที่ถูกกำจัด} = 0.395 \text{ L } CH_4 \quad (\text{ที่ } 35^\circ\text{C, 1atm}) \quad (2-20)$$

จากสมการที่ 2-19 และ 2-20 สามารถแสดงสูตรที่ใช้ในการคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพได้  
ดังแสดงในสมการที่ 2-21

สูตรที่ใช้ในการคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ

$$\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้} = \left( \frac{Q \times \text{COD}}{1000} \right) \times \left( \frac{0.58 \times 0.395}{0.60} \right) \quad (2-21)$$

(m<sup>3</sup>/day)

โดยที่ Q = อัตราการไหลของน้ำเสียกากส่า (m<sup>3</sup>/day)

COD = ค่าซีโอดีของน้ำเสียกากส่าที่ตรวจวัดได้ (mg/L)

COD Removal = 58%

COD convert to CH<sub>4</sub> = 0.395

ก๊าซชีวภาพ 1 m<sup>3</sup> มีปริมาณ Methane = 60%

ทั้งนี้ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงจะน้อยกว่าที่ได้จากสมการข้างต้น เนื่องจากมีองค์ประกอบอื่นที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยารวมอยู่ด้วย อีกทั้งปริมาณของอินทรีย์สารบางส่วนจะถูกใช้ไปในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ โดยประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสุรา ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสุรา

จังหวัด	อัตราน้ำเสีย (m <sup>3</sup> /d)	COD (mg/l)	COD loading KG (COD/m <sup>3</sup> d)	ประสิทธิภาพ การกำจัด COD (%)	ประสิทธิภาพ การผลิตก๊าซ ชีวภาพ (m <sup>3</sup> /day)
บุรีรัมย์	90	155,000	4.62	58	3,967
เชียงใหม่	65	135,000	2.94	54	3,224
กาญจนบุรี	104	90,000	3.16	63	2,798
สุราษฎร์ธานี	66	127,000	7.18	61	4,059

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ดังนั้น องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพที่ควรตรวจสอบ มีดังนี้

- 1) ปริมาณของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ (% Methane) ที่มีผลต่อการจุดติดไฟในหม้อไอน้ำ
- 2) ก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) ต้องควบคุมไม่ให้มีปริมาณเกิน 1% เพื่อป้องกันการระเบิดภายในท่อลำเลียง ถ้าเกินต้องปิดวาล์ว ทั้ง 2 ข้าง แล้วใช้  $N_2$  ไล่ออก  $O_2$  ออกให้หมดก่อน
- 3) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า ( $H_2S$ ) เมื่อรวมตัวกับน้ำหรือความชื้นจะเกิดเป็นกรดไฮโดรซัลฟิวริก (Hydrosulphuric acid) ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรงต่อวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่สัมผัสกับก๊าซชีวภาพ เมื่อมีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะเกิดเมือก เป็นต้น
- 4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) เป็นก๊าซที่ทำให้ค่าความร้อนในก๊าซชีวภาพลดลงจนเป็นเชื้อเพลิงที่ด้อยคุณภาพ ก๊าซชีวภาพจะติดไฟยากขึ้นและลุกไหม้ช้าลงจนเป็นเหตุให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมดภายในห้องเผาไหม้ เป็นก๊าซที่รับความร้อนจากการเผาไหม้และพาความร้อนไปทิ้งทางปล่องไอเสีย เมื่อก๊าซนี้รวมตัวกับน้ำหรือความชื้นจะเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ( $H_2CO_3$ ) ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่สัมผัสกับก๊าซชีวภาพ
- 5) ความชื้นหรือละอองน้ำ ทำให้เกิดการสะสมของน้ำในท่อบริเวณจุดต่ำสุดของท่อส่งก๊าซ ทำให้ปิดกั้นการไหลของก๊าซชีวภาพ ทำให้เกิดเมือก ตะกอน โฟม ทำให้อุปกรณ์ความปลอดภัยหยุดตัน ทำให้เกิดกรดคาร์บอนิก และกรดอันเกิดจากการแตกตัวของซัลไฟด์ไอออน ทำให้เชื้อเพลิงจุดไม่ติด หรือติดแต่กระพือดับ เป็นต้น

นอกจากนี้ยังควรคำนึงถึงการส่งจ่ายก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปยังหม้อไอน้ำด้วย เนื่องจากส่วนใหญ่ปัญหาที่พบเมื่อใช้ก๊าซชีวภาพที่ไม่มีการปรับปรุงองค์ประกอบของก๊าซที่เหมาะสม เช่น การจุดเตาไม่ติด, การระเบิดในห้องเผาไหม้ในขณะที่จุดเตาหรือในขณะที่เดินเครื่อง, กำลังผลิตของหม้อน้ำหรือหม้อน้ำมันร้อนไม่ได้ตามข้อกำหนด (Specification) ของเครื่องจักร, อุปกรณ์ทุกชนิดที่สัมผัสกับก๊าซชีวภาพชำรุดง่ายและมีอายุการใช้งานสั้น, การเกิดไฟไหม้จากการแตกตัวของระบบสูบส่งก๊าซ เป็นต้น

#### 2.4.2 น้ำกากส่าเข้มข้นจากระบบระเหย

(Cortez, 1997) ได้มีการอ้างอิงข้อมูลการใช้ประโยชน์น้ำกากส่าเข้มข้นโดยการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา มีรายงานว่า Gupta (1968) ทดลองการเผาไหม้ใน Fluidized bed combustion unit นำน้ำกากส่าที่มีความเข้มข้น 30-40 % BRIX นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยและเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 700 °C ต่อมา Dubey (1974) ได้ทดลองใช้น้ำกากส่า 60% Solids ผสมกับขานอ้อยเผาไหม้ในเตาเผา ระบบเชื้อเพลิงร่วม นอกจากนี้ Sheehan และ Greenfield (1980) พบว่าการเผาไหม้ของน้ำกากส่า

เข้มข้น 21%Solids ร่วมกับน้ำมันเตาได้ประโยชน์จากการใช้ Flue gas เป็นแหล่งพลังงานความร้อน และนำจี้เข้าไปใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม โดยบริษัท Hollandse Constructive Group B.V ใน ประเทศฮอลแลนด์ พบว่า จะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์เมื่อนำน้ำกากส่าที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 60%Solids ขึ้นไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Steam Generator) ที่มีการออกแบบมา โดยเฉพาะ

รายงานการวิจัยของ Cortez ได้อ้างอิงการหาล่องค์ประกอบน้ำกากส่าโดยใช้หลักการเดียวกับ โรงกลั่น Shepherd Oil โดยศึกษาองค์ประกอบของน้ำกากส่าจากกากน้ำตาลของประเทศบราซิล ออสเตรเลีย อินเดียและรัฐหลุยส์เซียนา สหรัฐอเมริกา ดังแสดงในตารางที่ 2-5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบของน้ำกากส่าจะมีความแตกต่างกันขึ้นกับแหล่งที่มาของกากน้ำตาล รวมถึงกระบวนการผลิตน้ำตาลและการกลั่นแอลกอฮอล์

พิจารณาองค์ประกอบน้ำกากส่าเพื่อตรวจสอบความสามารถในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้หรือไม่ โดยการทดสอบคุณภาพวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ดังนี้

1. Proximate Analysis ได้แก่ การหาปริมาณความชื้น ถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว
2. Ultimate Analysis ได้แก่ การหาปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน กำมะถัน และเถ้า
3. Calorific value วิเคราะห์หาค่าความร้อนเชื้อเพลิง

โดยกำหนดสภาพของตัวอย่างและวิธีการคำนวณตามมาตรฐาน American Society for Testing and Material,ASTM) สำหรับในงานวิจัยมีการเปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพตัวอย่างและวิธีการคำนวณตาม ASTM D3180 2 แบบ ได้แก่

1. As-received basis เป็นค่าที่คำนวณจากตัวอย่างที่มีความชื้นตามสภาพของตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการได้รับ โดยไม่ผ่านขบวนการเตรียมตัวอย่างหรือขบวนการอื่นๆ
2. Dry Basis เป็นค่าที่คำนวณได้จากตัวอย่างที่ปราศจากความชื้น โดยการนำค่าความชื้นที่วิเคราะห์ตาม ASTM D3173 มาแปลงค่าจาก as-determined basis ไปเป็น dry basis

ทั้งนี้ Cortez ได้รายงานผลการทดสอบวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำกากส่าที่สภาพตัวอย่าง As-received และ Dry-basis การทดสอบ Ultimate Analysis และ Proximate Analysis ของน้ำกากส่า ฐานอ้อยและถ่านหิน พบว่า องค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ทำการวิเคราะห์ มีส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) คือ สารระเหย (%Volatile Matter) และคาร์บอนคงที่ (%Fixed Carbon) มากเพียงพอที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ และมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์จากอ้อยและน้ำตาล ดังแสดงในตารางที่ 2-6 ถึงตารางที่ 2-8 ตามลำดับ

ตารางที่ 2-5 การเปรียบเทียบน้ำกากส่าจากกากน้ำตาลของประเทศต่างๆ

Vinasse origin	Composition (%wt)						Total Solids %	Organic Solids %	pH
	K	P	N	Ca	Mg	Ash			
บราซิล	0.48	0.01	0.04	0.07	0.02	1.95	46.47	4.63	4.8
ออสเตรเลีย	0.86	0.002	0.31	0.11	0.15	3.2	n.a.	n.a.	n.a.
อินเดีย	0.4-1.2	0.5-1.5	0.1-0.12	n.a.	n.a.	n.a.	6-8	n.a.	4.3-5.3
หลุยส์เซียนา	0.89	0.0001	0.015	0.014	0.006	5.0	n.a.	n.a.	4.5

ตารางที่ 2-6 องค์ประกอบน้ำกากส่าที่สภาพตัวอย่าง As-received และ Dry-basis

	As Received	Dry Basis
Solids, %	29.79	n.a.
Ash, %	13.31	18.95
Sulphur, %	0.08	0.12
Volatile Matter, %	48.67	69.31
Fixed Carbon, %	8.24	11.73
Carbon, %	n.a.	39.72
Hydrogen, %	n.a.	8.60
Nitrogen, %	n.a.	1.65

ตารางที่ 2-7 การทดสอบ Ultimate และ Proximate analysis ของน้ำกากส่า ชานอ้อยและถ่านหิน

การทดสอบ	องค์ประกอบ	น้ำกากส่า	ชานอ้อย	ถ่านหิน
Proximate	Fixed Carbon, %	39.72	6.1	16-93
	Volatile Matter, %	69.31	40.2	3-50
Ultimate	C, %	39.72	23.8	50.95
	H, %	8.60	2.8	2-5.5
	O, %	n.a.	20.1	2-40
	S, %	0.12	Trace	0.5-7
	N, %	1.65	Trace	0.5-3
	Ash, %	18.95	1.7	2-30
	Moisture, %	>0	52.0	>0

ตารางที่ 2-8 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์จากอ้อยและน้ำตาล

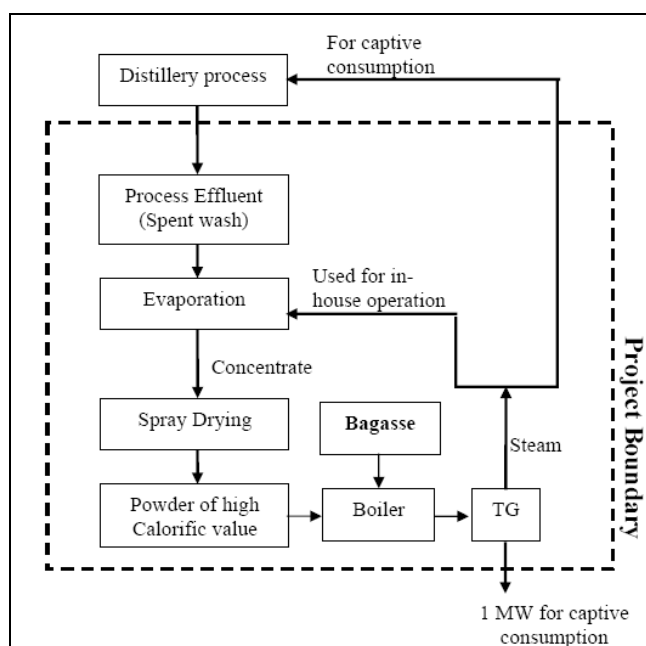
Product/By-product	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง, kJ/kg
เอทานอล (96%)	27,837
ชานอ้อย (dry)	18,600-20,935
ชานอ้อย 60% dry solids	10,410
น้ำกากส่า (dry)	12,560-15,070
น้ำกากส่า 60% dry solids	7,600

นอกจากนี้ ในรายงานการวิจัยดังกล่าวยังศึกษาความเป็นไปได้ในการเผาไหม้ น้ำกากส่าแบบเป็นเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำกากส่าและน้ำมันเตา เมื่อศึกษาสมบัติการไหลของเชื้อเพลิงผสมดังกล่าวที่อุณหภูมิ 90 °C ใน Brookfield Rotary Viscometer พบว่ามีสมบัติการไหลใกล้เคียงกับการไหลของน้ำมันเตาเพียงอย่างเดียว และเมื่อนำไปเผาไหม้โดยใช้เตาเผาแบบเชื้อเพลิงร่วมระหว่างน้ำกากส่ากับน้ำมันเตา พบว่า การทำให้ น้ำกากส่ามีความเข้มข้นมากกว่า 50% ขึ้นไป จะทำให้มีค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่เพียงพอต่อการเผาไหม้ และสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด คือ การใช้ น้ำมันเตา 75-95% และใช้น้ำกากส่า 5-25% โดยมีข้อควรระวังในการเลือกใช้เผาไหม้ น้ำกากส่า ดังนี้

1. การคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำกากส่าที่มีความเข้มข้นเพียงพอต่อการเผาไหม้
2. การเกิด Foaming ในเครื่องระเหยที่ระดับความเข้มข้นน้ำกากส่าที่ 75% ขึ้นไป
3. การเกิดเกลือภายในเครื่องระเหย ส่งผลต่อการไหลภายในระบบ
4. เนื่องจากซีเมนต์มีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิ 700 °C ทำให้เกิดเถ้าที่ไม่สามารถนำไปขายต่อได้
5. ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ขึ้นกับ ความเข้มข้นของน้ำกากส่า, อุณหภูมิที่ Nozzle, ความดันและอุณหภูมิของน้ำกากส่า

ทั้งนี้ (Deshpande, 1990) ศึกษาการอนุรักษ์พลังงานในโรงกลั่นสุรา โดยใช้น้ำกากส่าที่ออกจากระบวนการกลั่นระเหยให้มีปริมาณของแข็ง 60% แล้วนำไปเผาผลิตพลังงานความร้อนและนำเกลือโพแทสเซียมจากการเผาไหม้ไปใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม ปริมาณไอน้ำและพลังงานที่ผลิตได้จากกระบวนการระเหยแล้วนำไปเผาสามารถประหยัดพลังงานได้ดีกว่าการผลิตพลังงานจากก๊าซมีเทนได้ 2.4 เท่า

ปัจจุบันมีการนำน้ำกากส่าเข้มข้นระเหยให้เป็นผงด้วยวิธีพ่นฝอย (Spray dried) ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าร่วมกับเชื้อเพลิงอื่นๆ เช่น ชานอ้อย หรือถ่านหิน เพื่อผลิตไอน้ำและพลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2-13 โดยนับเป็นหนึ่งในกลุ่มการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism) และถูกจัดสิทธิบัตรเป็นให้เทคโนโลยีไม่ทิ้งน้ำ (Zero Liquid Discharge) โดย Dr. B. B. Paul, Chairman ประธาน Octaga Green Power and Sugar (OGPSCL)



รูปที่ 2-13 ตัวอย่างการนำน้ำกากส่าเข้มข้นไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงานทดแทน (UNFCCC, 2010)

## 2.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

การตัดสินใจของผู้บริหารเกี่ยวกับการลงทุน ต้องเลือกและพิจารณาอย่างรอบรอบถึงผลตอบแทน(Benefit) และความเสี่ยง(Risk) ที่จะเกิดขึ้นจากโครงการลงทุนต่างๆ มีดังนี้

### 2.5.1 ลักษณะการลงทุน

งบประมาณการลงทุน (Capital Budgeting) หมายถึง กระบวนการในการตัดสินใจเกี่ยวกับการลงทุนระยะยาว ซึ่งสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาของการลงทุนสำคัญได้ 5 ประเภท ได้แก่ (อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์, 2554)



1. การลงทุนในผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่หรือการลงทุนเพื่อขยายผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่เดิม  
(New products or Expansion of existing products)
2. การจัดหาอุปกรณ์ทดแทนของเก่าหรือสร้างอาคารทดแทนอาคารเดิม  
(Replacement of equipment or buildings)
3. โครงการวิจัยและพัฒนา (Research and Development)
4. โครงการสำรวจ (Exploration)
5. โครงการอื่นๆ (Others) เช่น โครงการลงทุนเพื่อเช่าสินทรัพย์ เป็นต้น

ในการจัดทำงบประมาณลงทุน ต้องกำหนดรายละเอียดที่เกิดขึ้นตลอดโครงการให้ครบถ้วน และทำการตัดสินใจเลือกโครงการจากงบประมาณกระแสเงินสด (Cash Flow) ที่เกิดขึ้นของแต่ละโครงการ และทำการประเมินความเหมาะสมรวมถึงผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุน โดยใช้เทคนิคและวิธีการต่างๆ ในการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจ และเมื่อดำเนินโครงการแล้วขั้นสุดท้ายจะเป็นการติดตามและประเมินผลโครงการ ซึ่งถือเป็นการควบคุม (Control) โครงการลงทุนดังกล่าว

การประมาณผลตอบแทนเพื่อตัดสินใจลงทุนนั้นจะไม่นำผลตอบแทนในรูปของกำไรสุทธิ (Net Income) มาพิจารณา เนื่องจากกำไรสุทธิเป็นรายการจากเกณฑ์คงค้าง การตัดสินใจจึงจัดทำงบประมาณกระแสเงินสดรับจ่ายของโครงการลงทุน เพื่อแสดงผลตอบแทนที่เป็นเงินสดจากโครงการ เนื่องจาก

1. เงินสดถือเป็นสิ่งสำคัญในการตัดสินใจของธุรกิจ
2. ธุรกิจจ่ายเงินลงทุนไปในขณะนี้โดยมุ่งหวังจะได้รับเงินสดกลับมาในอนาคตมากกว่าจำนวนที่จ่ายลงทุนในปัจจุบัน
3. เงินสดที่ได้รับจากการลงทุนเท่านั้นที่สามารถนำไปใช้หรือนำไปลงทุนในโครงการใหม่

### 2.5.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลตอบแทนจากพิจารณารายละเอียด ดังนี้

1. การพิจารณาแหล่งเงินทุนที่เป็นไปได้สำหรับนำมาใช้ลงทุนในโครงการ
2. การพิจารณารายได้และค่าใช้จ่ายของโครงการ เพื่อใช้พิจารณากระแสเงินสดหมุนเวียน (Cash Flow Stream) ตลอดอายุโครงการ
3. การพิจารณากำหนดค่าดัชนีด้านการเงินที่เหมาะสม เพื่อใช้เปรียบเทียบการวิเคราะห์สำหรับแนวทางการลงทุน

4. ข้อกำหนดด้านการเงินที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์
5. การวิเคราะห์ด้านการเงิน โดยอาศัยแบบจำลองด้านการเงินที่เหมาะสม เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาหาผลตอบแทนจากการลงทุน
6. การวิเคราะห์ความไวของโครงการ เนื่องจากสถานะความไม่แน่นอนของปัจจัยด้านการเงินประเภทต่างๆ

#### ก. การพิจารณาแหล่งเงินทุน (รุ่งฤดี บุญคู่, 2551)

การพิจารณาแหล่งเงินทุนของโครงการ มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาถึงแนวทางการลงทุนที่มีความเป็นไปได้ของโครงการ โดยทั่วไปสามารถพิจารณาแหล่งเงินทุนได้เป็น 2 ประเภท คือ

##### 1. เงินทุน

การลงทุนโครงการโดยใช้เงินทุน หมายถึง เงินทุนของผู้ลงทุนโครงการ โดยมิได้มีการกู้ยืมจากแหล่งเงินทุนอื่นให้เสียดอกเบี้ย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มภาระด้านการลงทุนของโครงการ การลงทุนโครงการด้วยเงินสดอาจลงทุนเป็นบางส่วนหรือทั้งหมด ซึ่งในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะเป็นการลงทุนด้วยเงินสดเป็นบางส่วนของมูลค่าของโครงการทั้งหมด ตัวอย่างเช่น การลงทุนโดยบริษัทเอกชนผู้รับสัมปทานโครงการ จะมีการระดมทุนจากผู้ถือหุ้นเพื่อนำเงินที่ได้มาลงทุนโครงการบางส่วน นอกเหนือจากการขอการสนับสนุนจากแหล่งเงินทุนประเภทต่างๆ

สำหรับกรณีการลงทุนด้วยเงินสดทั้งหมด เป็นการศึกษาเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อนำผลไปใช้ในการประเมินค่าอัตราผลตอบแทนด้านการเงินของโครงการ โดยไม่มีภาระด้านการเงินเพิ่มเติมจากการกู้ยืมจากแหล่งเงินทุนเพิ่ม

##### 2. เงินกู้ยืมมีดอกเบี้ย

โดยทั่วไปวิธีการลงทุนโครงการโดยใช้เงินกู้ยืมบางส่วน เป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติมาก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการลงทุนในโครงการขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนสูงมาก ผู้ลงทุนส่วนใหญ่จึงไม่มีเงินทุนเพียงพอสำหรับดำเนินโครงการดังกล่าวเพียงลำพัง จำเป็นต้องอาศัยเงินกู้จากแหล่งเงินทุนประเภทต่างๆ เพื่อให้สามารถดำเนินโครงการได้ โดยยอมเสียดอกเบี้ยให้แก่เจ้าของแหล่งเงินทุน ซึ่งจะเป็นภาระด้านการเงินแก่โครงการเพิ่มขึ้น ประเภทของเงินกู้ยืมมีดอกเบี้ยที่ใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านการเงิน เช่น เงินกู้เงินผ่อนปรน เงินกู้ธนาคารพาณิชย์ การออกพันธบัตรรัฐบาล

## ข. การประเมินความเหมาะสมทางการเงิน

ในการวิเคราะห์ด้านการเงิน ได้คำนวณหาดัชนีชี้วัดทางการเงิน ดังต่อไปนี้

1. **มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV)** คือ ดัชนีที่แสดงถึงผลต่างของมูลค่าปัจจุบันของรายได้ หรือผลประโยชน์ของโครงการ และมูลค่าปัจจุบันของค่าลงทุนโครงการ ณ อัตราคิดลดที่กำหนด ดังแสดงในสมการที่ 2-22 และสมการที่ 2-23 ตามลำดับ โดยการลงทุนที่ให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิต่ำกว่าศูนย์จะเป็นการลงทุนที่มีความเป็นไปได้ไปทางการเงิน

$$NPV = \sum_{k=0}^N A_k (1+i)^{-k} \quad (2-22)$$

หรือ

$$NPV = A_0(1+i)^0 + A_1(1+i)^{-1} + A_2(1+i)^{-2} + \dots + A_N(1+i)^{-N} \quad (2-23)$$

โดยที่	NPV	=	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ
	$A_k$	=	กระแสเงินสดสุทธิของโครงการ ในปีที่ k
	i	=	อัตราผลตอบแทน
	N	=	อายุของโครงการ

2. **อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return; IRR)** คือ ดัชนีที่แสดงถึงอัตราผลตอบแทนเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของรายได้หรือผลประโยชน์ของโครงการ มีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าลงทุนโครงการ ดังแสดงในสมการที่ 2-24 โดยอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่มีค่ามากกว่าอัตราเงินกู้หรืออัตราคิดลดของโครงการ จะแสดงถึงการลงทุนที่มีความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการ

$$IRR = \sum_{k=0}^N A_k (1+i^*)^{-k} = 0 \quad (2-24)$$

โดยที่	IRR	=	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (ในกรณีการหา IRR จะกำหนด NPV ให้เป็นศูนย์)
	$A_k$	=	กระแสเงินสดสุทธิของโครงการ ในปีที่ k
	$i^*$	=	อัตราผลตอบแทน (IRR)
	N	=	อายุของโครงการ

3. **ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PB)** คือ ดัชนีที่แสดงถึงระยะเวลาที่ขายได้หรือผลประโยชน์ของโครงการสะสม มีค่าเท่ากับค่าการลงทุนโครงการสะสม ดังแสดงในสมการที่ 2-25

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนจากการลงทุนรายปี}} \quad (2-25)$$

**ค. การวิเคราะห์ความไวของโครงการ (สราวุธ ศรีศักดิ์, 2546)**

เนื่องจากตัวแปรที่ใช้ในการวัดมูลค่าผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการได้มาโดยกำหนดล่วงหน้าว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต และกำหนดให้ตัวแปรเหล่านั้นมีค่าแน่นอน ซึ่งในความเป็นจริงการคาดการณ์เกี่ยวกับอนาคตนั้นจะต้องพิจารณาถึงความไม่แน่นอนที่อาจจะเกิดขึ้นและจะทำให้การวิเคราะห์มีโอกาสผิดพลาดได้ ถ้าหากโครงการต้องเกี่ยวข้องกับตัวแปรที่กำหนดขึ้นล่วงหน้า ดังนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อดูว่าจะเกิดอะไรขึ้นถ้าหากเหตุการณ์ต่างๆตามที่กำหนดไว้ได้เปลี่ยนแปลงไป มีปัจจัยหลายชนิดที่จะทำให้โครงการมีความเสี่ยงเกิดขึ้น ปัจจัยที่ควรให้ความสนใจ มีดังนี้

- 1) **ผลผลิตของโครงการ** ซึ่งเป็นที่มาของผลประโยชน์ของโครงการ อาจจะมีการคาดการณ์ของผลผลิตไว้ในปริมาณที่สูง ในกรณีเช่นนี้จะต้องมีการพิจารณาว่า หากผลผลิตเปลี่ยนแปลงไปจากที่คาดการณ์ไว้ จะมีผลต่อมูลค่าผลผลิตที่ได้จากโครงการอย่างไรบ้าง
- 2) **ต้นทุนของโครงการ** อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ
- 3) **ราคา** เนื่องจากราคาที่นำมาใช้ประเมินต้นทุนของโครงการจะใช้ราคาปัจจุบันคงที่ ซึ่งในความเป็นจริงราคาปัจจัยการผลิตที่ใช้ประเมินย่อมจะไม่คงที่ตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการ

## 2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาน้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรมที่ปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ เช่น สีนํ้าที่เปลี่ยนไป กลิ่น รบกวนชุมชน ส่งผลถึงคุณภาพชีวิตที่แย่งลง หน่วยงานภาครัฐจึงออกมาส่งเสริมและมุ่งเน้นเรื่อง สิ่งแวดล้อมมากขึ้น อาทิ กระทรวงอุตสาหกรรม มีการประกาศ “มาตรการควบคุมปริมาณความสกปรกของน้ำทิ้งจากภาคอุตสาหกรรม เพื่อฟื้นฟูคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา พ.ศ. 2551” เพื่อป้องกันและอนุรักษ์แม่น้ำเจ้าพระยาที่เป็นแม่น้ำสายหลักของประเทศ โดยมีผลบังคับใช้ในเขตพื้นที่ 9 จังหวัดที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา สำหรับโรงงานสร้างใหม่หรือโรงงานที่ต้องการขยายกำลังการผลิต

กรมโรงงานอุตสาหกรรม ดำเนินการศึกษาดูแลบริหารจัดการน้ำภายในโรงงานอุตสาหกรรม ภายใต้โครงการศึกษาเทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมหลักการไม่ทิ้งน้ำ (Zero Discharge : แนวทางการจัดการน้ำใช้และน้ำเสียภายในโรงงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพ และไม่มีการระบายน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วออกสู่แหล่งน้ำ) โดยเริ่มจากกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำมาก ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมฟอกย้อม กระดาษ และอาหาร(เครื่องดื่ม) ทั้งนี้ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียว่ามีความเหมาะสมในการนำกลับไปใช้ซ้ำ (Reuse/Reduce/Recycle) มากน้อยเพียงใด และนำเสนอแนวทางในการจัดการน้ำภายในโรงงานตลอดจนแนวทางให้มีการลดปริมาณน้ำทิ้งให้ได้มากที่สุด

เมื่อตรวจสอบกฎหมายสิ่งแวดล้อมจากกฎระเบียบของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า อุตสาหกรรมผลิตสุรา ถูกจัดประเภทหรือชนิดของโรงงานตามบัญชีท้ายกฎกระทรวง (พ.ศ. 2535) อยู่ในลำดับที่ 16 ต้ม ถังนํ้า หรือผสมสุรา (ทุกขนาด) ต้องจัดทำรายงานการศึกษามาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย (EIA) และต้องจัดทำรายงานชนิดและปริมาณสารมลพิษที่ระบายออกจากโรงงาน โดยอ้างอิงเกณฑ์กำหนดตามกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมได้ ดังนี้

**ด้านมลพิษทางน้ำ** อ้างอิงตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน (ตารางที่ 2-9)

**ด้านมลพิษทางอากาศ** อ้างอิงตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ.2549 และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำของโรงงาน พ.ศ. 2549 (ตารางที่ 2-10)

ด้านมลพิษทางดิน อ้างอิงตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ข้อ 10 โรงงานต้องส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตรายให้กับผู้รวบรวมและขนส่งหรือผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเท่านั้น ในกรณีที่จะใช้บริการของผู้อื่นในการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยต้องแจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับชนิด ปริมาณ และลักษณะคุณสมบัติ และสถานที่เก็บสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้นๆ พร้อมทั้งวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์ กำจัด ทั้ง ฝัง เคลื่อนย้ายและขนส่งตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักนำผลพลอยได้จากการบำบัดนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงเกษตรกรรม จึงเลือกศึกษา ประกาศกรมวิชาการ เกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 เพื่อรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกรในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดินเพิ่มคุณค่าของธาตุอาหารพืช (ตารางที่ 2-11)

ตารางที่ 2-9 เกณฑ์มาตรฐานคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน อ้างอิงตามประกาศ  
กระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติ  
โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

ดัชนีที่ตรวจวัด	ค่ามาตรฐาน
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5 – 9.0
อุณหภูมิ (Temperature )	< 40 °C
ของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved solids ,TDS)	ก. ไม่มากกว่า 3,000 mg/l หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนด ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่เกิน 5,000 mg/l ข. น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็มมากกว่า 2,000 mg/l TDS ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่า TDS ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 mg/l
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids , SS)	ไม่มากกว่า 50 mg/l หรือ อาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่เกิน 150 mg/l
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand ,COD)	< 400 mg/l
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand ,BOD)	< 60 mg/l
สังกะสี (Zinc ,Zn)	< 5.0 mg/l
ทองแดง (Copper ,Cu)	
แมงกานีส (Manganese ,Mn)	< 5.0 mg/l
แคดเมียม (Cadmium ,Cd)	< 0.03 mg/l
ตะกั่ว (Lead ,Pb)	< 0.2 mg/l
สี	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
กลิ่น	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
Pesticide	ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 2-10 เกณฑ์มาตรฐานกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน  
อ้างอิงตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนใน  
อากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ.2549

ดัชนีที่ตรวจวัด (หน่วย)	แหล่งมลพิษ	ค่ามาตรฐาน	
		ไม่มีการเผาไหม้ เชื้อเพลิง	มีการ เผาไหม้เชื้อเพลิง
ฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate, TSP) (mg/m <sup>3</sup> )	ก. แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ น้ำมัน/น้ำมันเตา	-	240
	ถ่านหิน	-	320
	เชื้อเพลิงชีวมวล	-	320
	เชื้อเพลิงอื่นๆ	-	320
	ข. การถลุง หลอม รีด ผลิต อลูมิเนียม	300	240
	ค. การผลิตทั่วไป	400	320
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide) (ppm)	ก. แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ น้ำมัน/น้ำมันเตา	-	950
	ถ่านหิน	-	700
	เชื้อเพลิงชีวมวล	-	60
	เชื้อเพลิงอื่นๆ	-	60
	ข. การผลิตทั่วไป	500	-
ออกไซด์ของไนโตรเจน Oxides of nitrogen (ppm)	ก. แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ น้ำมัน/น้ำมันเตา	-	200
	ถ่านหิน	-	400
	เชื้อเพลิงชีวมวล	-	200
	เชื้อเพลิงอื่นๆ	-	200
คาร์บอนมอนอกไซด์ Carbon monoxide (ppm)	การผลิตทั่วไป	870	690



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำของโรงงาน พ.ศ. 2549 ระบุว่า อากาศที่ระบายออกจากปล่องหม้อน้ำโรงงานที่มีขนาดกำลังการผลิตไอน้ำตั้งแต่ 1 ตัน/ชั่วโมง ขึ้นไป ต้องมีเขม่าควันเจือปนอยู่ในปริมาณที่ทำให้เกิดค่าความทึบแสง เมื่อตรวจวัดด้วยแผนภูมิเขม่าควันของริงเกิลมานน์ไม่เกิน 10% แต่ไม่รวมถึงหม้อน้ำที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas) หรือก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) เป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2-11 เกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะสารปรับปรุงดิน อ้างอิงตามประกาศ  
กรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
ขนาดของปุ๋ย	< 12.5 x 12.5 mm
ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ย่อยได้	< 35% โดยน้ำหนัก
ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 mm ไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก
พลาสติก แก้ว วัสดุเคมี และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30% โดยน้ำหนัก
ค่าความเป็นกรด ต่าง (pH)	5.5-8.5
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20:1
ค่าการนำไฟฟ้า (EC:Electrical Conductivity)	< 6 ds/m
ปริมาณธาตุอาหารหลัก	
- ไนโตรเจน (Total N)	ไม่น้อยกว่า 1.0 % โดยน้ำหนัก
- ฟอสฟอรัส (Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก
- โพแทสเซียม (Total K <sub>2</sub> O)	ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก
การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80%
สารหนู (Arsenic)	< 50 mg/kg
แคดเมียม (Cadmium)	< 5 mg/kg
โครเมียม (Chromium)	< 300 mg/kg
ทองแดง (Copper)	< 500 mg/kg
ตะกั่ว (Lead)	< 500 mg/kg
ปรอท (Mercury)	< 2 mg/kg

การผลิตสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ ทำให้เกิดน้ำเสียหลักจากกระบวนการ คือน้ำกากสำ ปริมาณมากเป็น 10-15 เท่าของปริมาณผลผลิตสุรา สีน้ำตาลเข้ม อุณหภูมิสูงประมาณ 70-80 °C มีความเป็นกรด ปริมาณอินทรีย์สารสูงเกินกว่ามาตรฐานตามกฎหมาย ไม่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้โดยตรง โดยโรงงานผลิตสุรามีวิธีการกำจัดน้ำกากสำได้หลายวิธี เช่น การนำน้ำกากสำให้กับเกษตรกร เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงเกษตรกรรม ทศนิยม ดิจูกรมล (2552) ศึกษาผลกระทบของน้ำกากสำร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อความอุดมสมบูรณ์ของชุดดินน้ำพองและการเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลัง พบว่า น้ำกากสำมีอิทธิพลต่อการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชที่สำคัญในดิน โดยเฉพาะโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ทำให้มันสำปะหลังเจริญเติบโตได้ดีขึ้น และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทน (เอทานอล) ได้มากขึ้น พร้อมทั้งเสนอให้มีการวิจัยและพัฒนา น้ำกากสำให้เป็นปุ๋ยชนิดน้ำ และสนับสนุนให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์มากขึ้นเพื่อลดต้นทุนการผลิตของตนและลดมลพิษสิ่งแวดล้อมให้กับโรงงานสุราได้ โดยทศนา บุญประจำ (2553) ศึกษาอิทธิพลของน้ำกากสำต่อการเจริญเติบโตระยะแรกของอ้อยปลูกโดยใช้ตำรับการทดลอง 3 แบบ คือ ตำรับไม่ใส่ปุ๋ยเคมี, ตำรับน้ำกากสำ, ตำรับที่ผสมน้ำกากสำ 5, 10 ,15 ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งพบว่า คุณสมบัติของดินหลังใส่ น้ำกากสำก่อนทำการปลูกอ้อยมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าดิน, ปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นตามสถิติตามอัตราการใส่ที่มากขึ้น

กรณีการนำน้ำกากสำผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสีย มีวิธีการบำบัดทั้งทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และกายภาพ-เคมี โดยมุ่งเน้นวัตถุประสงค์ในการบำบัดต่างกันไป เช่น การมุ่งเน้นการลดความเข้มข้นของสีของน้ำกากสำ ลิวลี โปร่งทอง (2541) พบว่า การใช้เพอร์คลอไรด์และปูนขาวนั้นมีความเหมาะสมในการลดความเข้มข้นสีน้ำกากสำได้ อีกทั้งการเติมอากาศและเชื้อจุลินทรีย์จะช่วยให้เกิดการตกตะกอนเคมีได้ดีขึ้น ทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถดูดซับซีโอดีเข้าไปในเซลล์และเกิดการย่อยสลายได้ดี หรือการมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้จากการบำบัด Sarayu และคณะ (2009) ศึกษาเทคโนโลยีและศักยภาพในการบำบัดน้ำกากสำในโรงงานผลิตสุรา พบว่า เทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือการผลิตแก๊สชีวภาพ ที่ยังมีการวิจัยอย่างต่อเนื่องในการพัฒนาวิธีการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อลดค่าซีโอดีในน้ำเสียขั้นสุดท้าย ส่วนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน โดยอาศัยเชื้อแบคทีเรีย นั้น ใช้ในการกำจัดสีของน้ำกากสำ ทั้งนี้ระบบนี้มีข้อเสียคือ ใช้สารเคมีมาก ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาสูง และมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก โดยทั่วไปไม่สามารถใช้ระบบเพียงระบบเดียวในการบำบัดได้ ดังนั้น ระบบอุดมคติที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าที่สุด คือ การผลิตแก๊สชีวภาพ , ระบบเคมีกายภาพ และการบำบัดแบบใช้อากาศ ทำให้ได้ผลในสามด้าน ได้แก่ การรักษาสีสิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์พลังงาน และได้ผลผลิตที่มีค่ามากขึ้น ซึ่ง Sheehan และ Greenfield

(1980) ศึกษาโรงงานผลิตสุราของประเทศออสเตรเลีย พบว่า การใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับแบบใช้ออกซิเจน มีความเหมาะสมด้านการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งปริมาณของพลังงานที่ได้จะขึ้นกับลักษณะของน้ำกากสาคั่วด้วย ในขณะที่ อังสนา ทองอำไพ (2550) ศึกษาประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศของโรงงานกลั่นสุราจากกากน้ำตาลในประเทศไทย 12 แห่ง แบ่งเป็นแบบ UASB 11 แห่ง และแบบถังย่อยสลับผิ 1 แห่ง พบว่ามีประสิทธิภาพของระบบเพียง 47-70% จากการออกแบบ ทำให้ผู้ประกอบการขาดความเชื่อมั่นในศักยภาพของระบบบำบัดแบบไร้อากาศในการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งแนวโน้มนำการลงทุนก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นได้ต่อเมื่อมีต้นแบบการลงทุนที่ดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และกำหนดระยะเวลาการคืนทุนที่ชัดเจนได้ ทั้งนี้ อาจเป็นสาเหตุมาจากในปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐมุ่งเน้นการบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพให้ได้ปริมาณมากเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเป็นหลักมากกว่าการบำบัดให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดี ซึ่งในเชิงวิศวกรรม ยังจำเป็นต้องหาระบบเพิ่มเติมเพื่อรองรับน้ำเสียต่อจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เพื่อให้ น้ำที่ออกมา มีคุณภาพดี และมีก๊าซชีวภาพใช้ทดแทนได้เต็มที่

สำหรับระบบระเหยกากสาคั่ว มีรายงานการวิจัยของ Fred Brotherton (2002) ศึกษาการนำแอลกอฮอล์กลับมาใช้ใหม่จากระบบ Falling Film Evaporators ในขั้นตอนการแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ พบว่า เมื่อทดลองใช้ระบบระเหยดังกล่าวแบบห่อเดี่ยว และห่อคู่ แล้วสามารถนำแอลกอฮอล์และสารระเหยออกจากของเสียได้ โดยใช้หลักการการถ่ายเทความร้อนแบบ Short contact ภายใต้ระบบสุญญากาศ เกิดการย่อยสลายทางความร้อนกลายเป็นไอน้ำมากขึ้นในระบบ ทำให้ลดปริมาณการผลิตไอน้ำลงได้ ซึ่งระบบนี้สามารถพัฒนาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตเหล้าหรือเบียร์เพื่อลดการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตได้ โดยนำน้ำกากสาคั่วที่ออกจากกระบวนการกลั่นที่มีปริมาณของแข็ง 4% ระเหยให้มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 40% ด้วยระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR) และมีผลวิจัยพบว่า ระบบที่มีความน่าเชื่อถือในเชิงเทคนิคมากที่สุด คือ ระบบระเหยน้ำกากสาคั่ว ที่นำน้ำกากสาคั่วเข้มข้นไปเผาเพื่อให้ได้ขี้เถ้า ใช้เป็นปุ๋ยในดินต่อไป ซึ่งในงานวิจัยยังไม่คำนึงถึงความคุ้มค่าของการลงทุน

ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากการระเหยกากสาคั่วเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและนำไปประยุกต์ใช้เป็นเทคโนโลยีการบำบัดน้ำกากสาคั่วแบบ Zero Liquid Discharge มากขึ้น โดยมีรายงานผลวิจัยจากต่างประเทศ เช่น ในประเทศสวีเดนใช้ระบบระเหยแบบ Rising film plate evaporator ในการระเหยน้ำกากสาคั่วให้มีความเข้มข้น 40% Solids จากนั้นใช้ Forced circulation evaporator ภายในประกอบด้วย 3-effect with Thermal Vapour Recompression ระเหยน้ำกากสาคั่วความเข้มข้น 40% Solids ให้เป็น 60% Solids ที่สามารถนำไปเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำได้แต่ต้องใช้เชื้อเพลิง

สนับสนุน ซึ่งบริษัท Bannari Amman ในประเทศอินเดียได้นำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยใช้อัตราป้อนน้ำกากส่าเข้มข้น (55-60% Solids) 8.8 ตันต่อชั่วโมง และมีถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงสนับสนุน (ประมาณ 10-15%) ในหม้อไอน้ำ จะผลิตไอน้ำเติมกำลังการผลิตได้ 23.4 ตันต่อชั่วโมงผลิตไฟฟ้าได้ 1.6 MW

ทั้งนี้การออกแบบเครื่องจักรหลักและอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของน้ำกากส่าด้วย Chaudhari S. เห็นว่าน้ำกากส่าที่ผ่านระบบระเหยจะมีความหนืดสูง และสามารถเกิดฟองและตะกอนภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้ง่าย ดังนั้นการออกแบบเครื่องระเหย จึงต้องคำนึงถึงต้นทุนของสารเคมีที่ใช้, ความถี่ในการทำความสะอาดและเทคโนโลยีที่ใช้กำจัดสารเคมีในการทำความสะอาด อีกทั้งของเสียจากการเผาไหม้น้ำกากส่าเข้มข้นเป็นจีเถ้าปริมาณมาก ส่งผลต่อพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน และปริมาณคลอรีนที่มีสมบัติการกัดกร่อนได้ที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นการออกแบบเตาเผาจึงควรออกแบบให้มีช่องสำหรับเปิดเอาจีเถ้าออกหลายช่องทาง (Multi-pass design) หรือใช้แรงเชิงกลช่วยในการกำจัดเถ้าและเขม่าจากการเผาไหม้ จะเห็นว่า การใช้งานของเครื่องระเหยและเตาเผาที่ใช้ในการบำบัดน้ำกากส่าควรมีการทำความสะอาดอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายของอุปกรณ์และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรได้อีกด้วย

ทั้งนี้ Nagaraj and Kumar (2005) ได้ศึกษาความคุ้มค่าการลงทุนในการบำบัดน้ำกากส่าตามแนวทาง Zero Discharge 3 วิธี คือ การระเหยน้ำกากส่าแล้วกำจัดโดยเตาเผาอุตสาหกรรม, การบำบัดแบบไร้อากาศที่มีการนำก๊าซชีวภาพกลับมาใช้และบำบัดด้วยอากาศ, การบำบัดแบบออกซิเดชันและบำบัดด้วยอากาศ โดยให้พิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ประกอบด้วย คุณภาพของกากน้ำตาล, สมบัติของน้ำกากส่า, สภาพภูมิอากาศ, ที่ตั้งของโรงงาน, ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า และเชื้อเพลิง, ตลาดที่รองรับของเสียจากการบำบัด และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ

## บทที่ 3

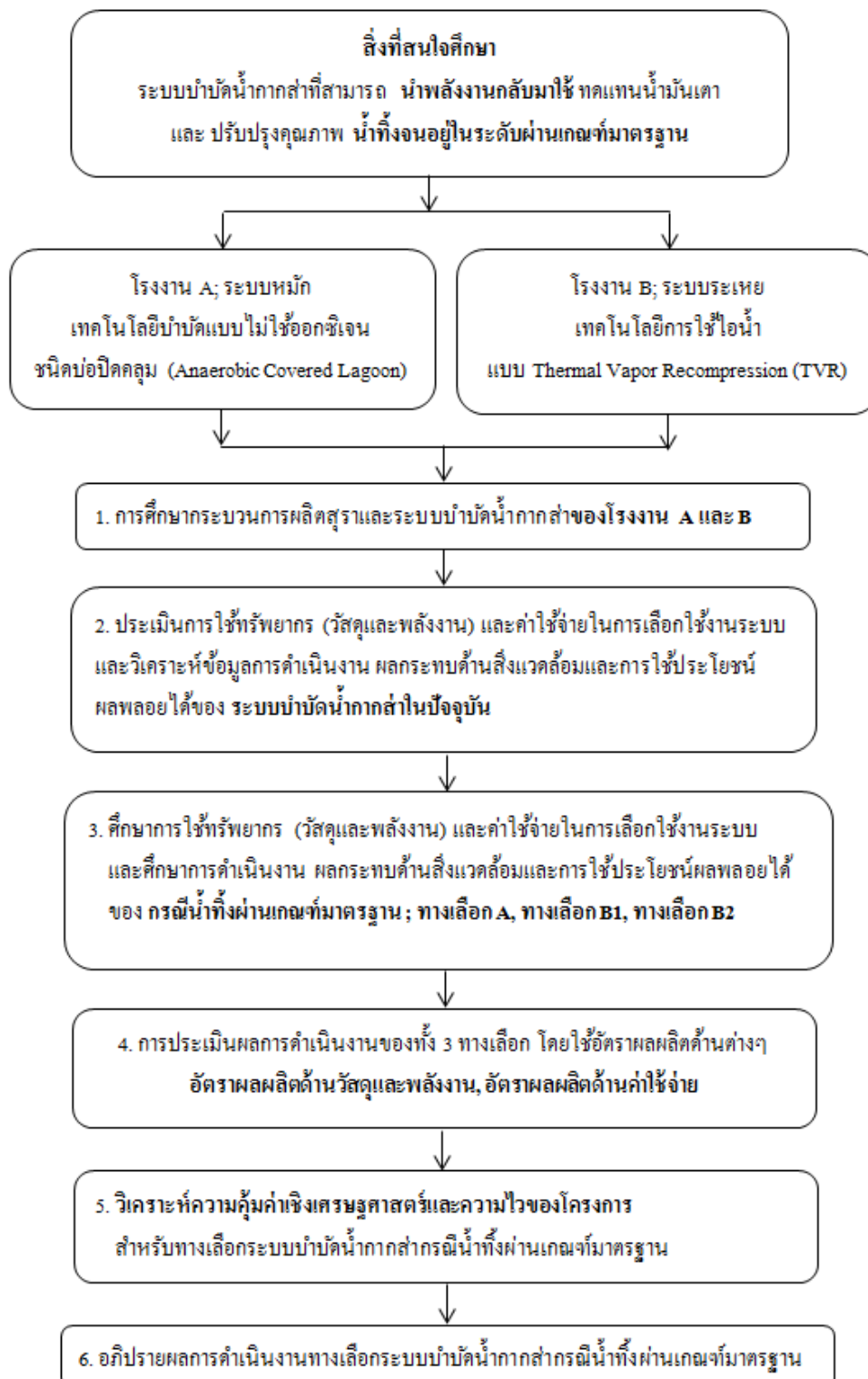
### วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและเปรียบเทียบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำกากส่า โดยกำหนดขอบเขตสำหรับการศึกษาระบบบำบัดน้ำกากส่า คือ 1) สามารถนำพลังงานที่ได้จากระบบบำบัดกลับมาใช้ทดแทนน้ำมันเตาในกระบวนการผลิตได้ และ 2) สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งจนอยู่ในระดับผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม โดยการศึกษาจากระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B ประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบ วิเคราะห์ข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับการพิจารณาทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีสามารถบำบัดน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 3 ทางเลือก ได้แก่ (1) ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง (2) ระบบระเหยแบบ TVR (3) ระบบระเหยแบบ MVR แล้วประเมินผลการดำเนินงานของทางเลือกดังกล่าวโดยใช้อัตราผลผลิตด้านต่างๆ รวมถึงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการสำหรับทางเลือกทั้งสาม อภิปรายและสรุปผลการดำเนินงานทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1) ขั้นตอนการศึกษากระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B
- 2) ขั้นตอนการประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) และค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบ วิเคราะห์ข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้ของระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน
- 3) ขั้นตอนการศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) และค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ได้แก่
  1. ทางเลือก A; ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง
  2. ทางเลือก B1; ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)
  3. ทางเลือก B2; ระบบระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR)ศึกษาการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้ของระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

- 4) ขั้นตอนการประเมินผลการดำเนินงานของทั้ง 3 ทางเลือก โดยใช้อัตราผลผลิตด้านต่างๆ ได้แก่
  1. อัตราผลผลิตด้านวัสดุและพลังงาน
  2. อัตราผลผลิตด้านค่าใช้จ่าย
- 5) ขั้นตอนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการสำหรับทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากสำกรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
- 6) อภิปรายผลการดำเนินงานทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากสำกรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
- 7) สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ  
โดยสามารถเขียนเป็นแผนภาพสรุปขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

### 3.2 การศึกษากระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B

ศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานกรณีศึกษาที่มีผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าแตกต่างกัน ดังนี้

- 1) โรงงาน A;ผลิตภัณฑ์สุราขาว  
เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่า ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม ตั้งอยู่ในจังหวัดบุรีรัมย์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- 2) โรงงาน B;ผลิตภัณฑ์สุราผสม  
เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่า ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR) ตั้งอยู่ในจังหวัดปทุมธานี ภาคกลาง

ในที่นี้ศึกษาและเปรียบเทียบที่มาและองค์ประกอบของน้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่าโดยใช้พารามิเตอร์จากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

### 3.3 การประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน

ศึกษาข้อมูลการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำกากส่าและการใช้พลังงานความร้อนของโรงงานกรณีศึกษา ดังนี้

- 1) ศึกษาข้อมูลปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) เฉลี่ยราย 12 เดือนของระบบบำบัดน้ำกากส่า และจัดทำในรูปของสมการความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า โดยกำหนดค่าความร้อนเชื้อเพลิงสำหรับการคำนวณพลังงาน ได้ดังตารางที่ 3-1 ตารางที่ 3-1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ชนิดของเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน*
พลังงานไฟฟ้า	3.60 MJ/kWh
น้ำมันเตา	39.77 MJ/ลิตร
ก๊าซชีวภาพ	20.93 MJ/Nm <sup>3**</sup>
น้ำกากส่าเข้มข้น (ความถ่วงจำเพาะ = 1.33)	8,441 MJ/Ton

หมายเหตุ \*อ้างอิงจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) และข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา

\*\* Nm<sup>3</sup> หมายถึง Normal Cube โดย Normal แสดงอัตราการไหลของสารที่มีสถานะเป็นก๊าซเทียบกับ

ก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas) เป็นก๊าซที่อุณหภูมิ 273.15 องศาเซลเซียส, ความดัน 1 บรรยากาศ



- 2) ศึกษาค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่า ได้แก่ มูลค่าเทคโนโลยี และค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่า รวมถึงผลพลอยได้จากการบำบัด โดยกำหนดค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) ของทรัพยากรพื้นฐานสำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่าได้

ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) ของทรัพยากรพื้นฐาน

ทรัพยากรพื้นฐาน	ค่าใช้จ่าย
พลังงานไฟฟ้า	3.50 บาท/kWh
น้ำมันเตา	23.50 บาท/ลิตร
ราคาบำบัดของระบบตะกอนเร่ง	7 บาท/m <sup>3</sup>

- 3) ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้ของระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจะศึกษาใน 3 ด้าน ได้แก่ มลพิษทางน้ำ มลพิษทางดิน และมลพิษทางอากาศ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

ประเภทมลพิษ	อ้างอิง
1. มลพิษทางน้ำ	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน
2. มลพิษทางดิน	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว
	ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548
3. มลพิษทางอากาศ	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ.2549
	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำของโรงงาน พ.ศ. 2549

### 3.4 การศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากการศึกษาข้อจำกัดหรือข้อบกพร่องของระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบันและแนวทางการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B ให้สามารถบำบัดน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งจนอยู่ในระดับผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ได้แก่

1. ทางเลือก A; ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง
2. ทางเลือก B1; ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)
3. ทางเลือก B2; ระบบระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR)

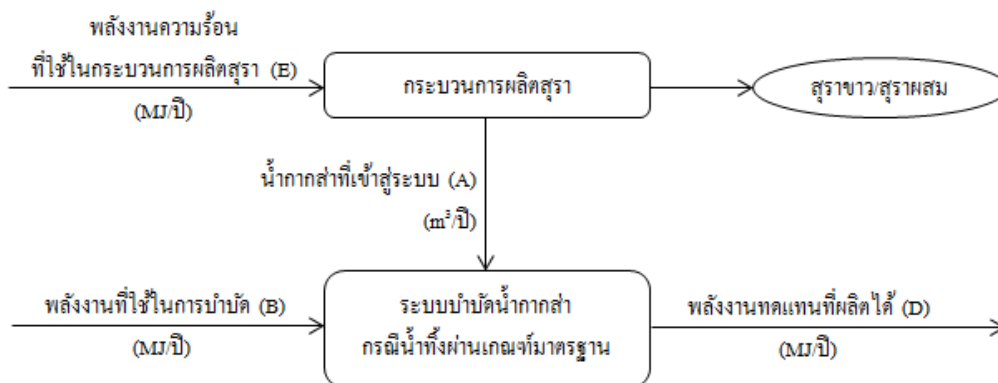
การเปรียบเทียบทางเลือกของระบบบำบัดน้ำกากส่า จะพิจารณาข้อมูลน้ำกากส่าที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B โดยจะกำหนดให้ปริมาณน้ำกากส่าที่เข้าสู่ระบบนั้นมีค่าเท่ากัน จากนั้นศึกษาข้อมูลการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำกากส่าและการใช้พลังงานความร้อนของระบบบำบัดกรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนี้

- 1) การศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน)
- 2) ศึกษาค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่า ได้แก่ มูลค่าเทคโนโลยี และค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่า รวมถึงผลพลอยได้จากการบำบัด

โดยใช้ข้อมูลสมการความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่าและการศึกษาการดำเนินงานผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการบำบัดที่ได้จากหัวข้อ 3.3 ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้องหรือข้อมูลจากบริษัทผู้จำหน่าย (Supplier) ประกอบการพิจารณา

### 3.5 การประเมินผลการดำเนินงานของทั้ง 3 ทางเลือก

ศึกษาข้อมูลการดำเนินงานทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ด้านการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) และด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดดังรูปที่ 3-2 และรูปที่ 3-3 และประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าจาก (1) ถึง (6) ดังสมการที่ 3-1 ถึงสมการที่ 3-7 ตามลำดับ



รูปที่ 3-2 การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของระบบบำบัดน้ำกากส่า

(1) อัตราผลผลิตด้านวัสดุ (Material Productivity;MP)

พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อน้ำกากส่า;

$$MP = \frac{D \text{ (MJ/ปี)}}{A \text{ (m}^3\text{/ปี)}} \quad (3-1)$$

(2) อัตราผลผลิตย่อยด้านพลังงาน (Energy Productivity;EP)

พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อพลังงานที่ใช้ในการบำบัด;

$$EP = \frac{D \text{ (MJ/ปี)}}{B \text{ (MJ/ปี)}} \quad (3-2)$$

(3) อัตราผลผลิตด้านพลังงานโดยรวม (Total Energy Productivity; TEP)

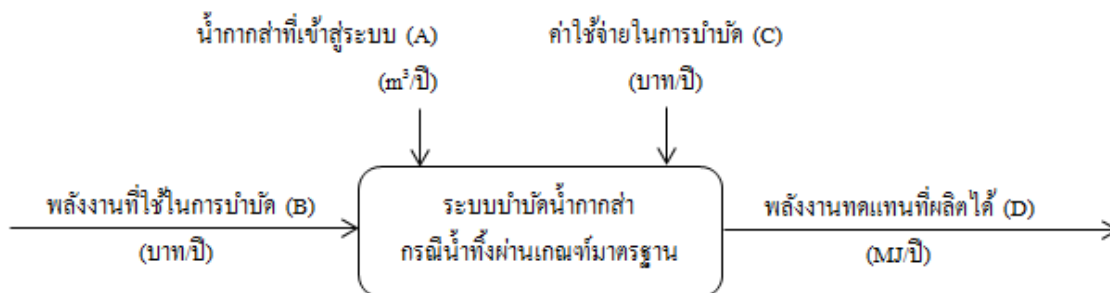
ประสิทธิภาพพลังงานทดแทน;

$$TEP = \frac{D \text{ (MJ/ปี)}}{(B + E) \text{ (MJ/ปี)}} \quad (3-3)$$

โดยกำหนดให้พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตสุรา แบ่งเป็น กระบวนการผลิตสุราขาว เท่ากับ 161,585,280 MJ/ปี และกระบวนการผลิตสุราผสม 475,227,648 MJ/ปี ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตสุรา

	พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตสุรา (MJ/ปี)
กระบวนการผลิตสุราขาว (E1)	161,585,280
กระบวนการผลิตสุราผสม (E2)	475,227,648



รูปที่ 3-3 การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบบำบัดน้ำกากส่า

(4) อัตราผลผลิตต่อด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัด (Operating Expense Productivity; OEP)

4.1 พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายในการบำบัด;

$$\text{OEP} = \frac{D \text{ (MJ/ปี)}}{C \text{ (บาท/ปี)}} \quad (3-4)$$

4.2 พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการบำบัด;

$$\text{OEP} = \frac{D \text{ (MJ/ปี)}}{B \text{ (บาท/ปี)}} \quad (3-5)$$

(5) อัตราผลผลิตด้านค่าใช้จ่ายดำเนินระบบบำบัดโดยรวม

(Total Operating Expense Productivity; TOEP);

$$\text{TOEP} = \frac{D \text{ (MJ/ปี)}}{(B + C) \text{ (บาท/ปี)}} \quad (3-6)$$

(6) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่า (Costs of spent wash Treatment; CT);

$$\text{CT} = \frac{(B + C) \text{ (บาท/ปี)}}{A \text{ (m}^3\text{/ปี)}} \quad (3-7)$$

### 3.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ

ดำเนินการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของการพิจารณาทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีนี้ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 3 ทางเลือก โดยใช้ดัชนีด้านการเงิน ดังนี้

1. กรณีคำนึงถึงมูลค่าของเงิน ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) และ อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return; IRR)
2. กรณีที่ไม่คำนึงถึงมูลค่าของเงิน ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PBP)
3. การวิเคราะห์ความไวของโครงการ โดยกำหนดการเปลี่ยนแปลงไว้ 3 กรณี คือ
  - กรณีที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยี
  - กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตา
  - กรณีที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดิน

โดยกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 พารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ

พารามิเตอร์	อัตรา
อัตราเงินเฟ้อ	ร้อยละ 3
อัตราคิดลด	ร้อยละ 10
ค่าเช่าที่ดินตลอดอายุโครงการ	5,000 บาท/ตรว.
ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร	2,700,000 บาท/ปี
ระยะเวลาโครงการ 15 ปี	
กำหนดให้ 1. โรงงานเป็นผู้ลงทุนโครงการ โดยไม่มีการกู้ยืมจากแหล่งเงินทุนภายนอก 2. ไม่นำระบบภาษีมาพิจารณาในการวิเคราะห์โครงการ	

### 3.7 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่า 3 ทางเลือก คือ (1) ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง (2) ระบบระเหยแบบ TVR (3) ระบบระเหยแบบ MVR ในขอบเขตการศึกษาของระบบบำบัดน้ำกากส่าที่สามารถนำพลังงานที่ได้จากระบบบำบัดกลับมาใช้ทดแทนน้ำมันเตาในกระบวนการผลิต และสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งจนอยู่ในระดับผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานจากโรงงานกรณีศึกษาในการประเมินการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบ รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการบำบัด ในส่วนของการประเมินผลการดำเนินงานของทางเลือกดังกล่าว แบ่งเป็น 2 ช่วงคือ 1) การเปรียบเทียบอัตราผลิตโดยรวมและอัตราผลิตย่อยในด้านวัสดุและพลังงาน และด้านค่าใช้จ่าย เพื่อหาทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่าที่เหมาะสมกับขอบเขตการศึกษามากที่สุด 2) การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ เพื่อหาทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่าที่เหมาะสมในการลงทุนมากที่สุด

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้ได้ถูกกำหนดให้เป็นไปตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในบทที่ 3 จนแล้วเสร็จ กล่าวคือ ศึกษาระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B โดยเปรียบเทียบที่มาและองค์ประกอบของน้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า ประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ในรูปสมการความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบประกอบด้วยมูลค่าเทคโนโลยีและค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่ารวมถึงผลพลอยได้จากการบำบัด เปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน พิจารณาทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่าทั้ง 3 ทางเลือก ได้แก่ (1) ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง (2) ระบบระเหยแบบ TVR (3) ระบบระเหยแบบ MVR ประเมินผลการดำเนินงานของทางเลือกดังกล่าวโดยใช้อัตราผลผลิตโดยรวมและอัตราผลผลิตย่อยด้านวัสดุและพลังงาน และด้านค่าใช้จ่าย รวมถึงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการสำหรับทางเลือกทั้งสาม ซึ่งสามารถแบ่งผลการดำเนินงานออกเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังนี้

#### 4.1 ผลการศึกษากระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่า

##### 4.1.1 โรงงาน A; ผลิตภัณฑสุราขาว

เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่า ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม

##### 4.1.2 โรงงาน B; ผลิตภัณฑสุราผสม

เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่า ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)

##### 4.1.3 การเปรียบเทียบที่มาและองค์ประกอบของน้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า

#### 4.2 ผลการประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน

##### 4.2.1 โรงงาน A; ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม

###### 4.2.1.1 การใช้วัสดุและพลังงานของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A

###### 4.2.1.2 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A

##### 4.2.2 โรงงาน B; ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)

###### 4.2.2.1 การใช้วัสดุและพลังงานของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B

###### 4.2.2.2 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B

4.2.3 การเปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์  
ผลพลอยได้ของระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน

#### 4.3 การศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่า กรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

4.3.1 ทางเลือก A; ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง

4.3.2 ทางเลือก B1; ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression(TVR)

4.3.3 ทางเลือก B2; ระบบระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression(MVR)

4.3.4 การเปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์  
ผลพลอยได้ของระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

#### 4.4 การประเมินผลการดำเนินงานของทั้ง 3 ทางเลือกโดยใช้อัตราผลผลิตด้านต่างๆ

#### 4.5 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการสำหรับทางเลือกระบบ บำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

4.5.1 ผลการประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

4.5.2 ผลการประเมินการวิเคราะห์ความไวของโครงการ

### 4.1 ผลการศึกษากระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่า

#### 4.1.1 โรงงาน A; ผลิตภัณฑ์สุราขาว

##### เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่า ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม

ผลการศึกษากระบวนการผลิตสุรา ที่มาและองค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลิ้น  
ระบบบำบัดน้ำกากส่าและการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้จากการบำบัดของโรงงาน A ได้แสดง  
ในรูปที่ 4-1 โดยโรงงาน A เป็นโรงงานสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ มีกระบวนการผลิตสุรา  
เริ่มต้นจากการนำกากน้ำตาลเจือจางด้วยน้ำ ผสมยูเรียและยีสต์ทำการหมักจนได้น้ำส่าเหล้า  
ความเข้มข้น 10-11 ดีกรีแอลกอฮอล์ แล้วนำมากลั่นลำดับส่วนเพื่อให้ได้สุราความเข้มข้น 70 ดีกรี  
แอลกอฮอล์สำหรับผสมและปรุงสุราขาวเพื่อบรรจุเป็นผลิตภัณฑ์จำหน่าย ส่วนน้ำเสียหลักจาก  
กระบวนการผลิตเกิดจากน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลิ้น (รูปที่ 4-2) มีปริมาตรร้อยละ 90 ของ  
น้ำส่าเหล้าจากถังหมักที่ส่งเข้าหอกลิ้น ลักษณะมีสีน้ำตาลเข้ม อุณหภูมิ น้ำเสีย ณ ถังหอกลิ้น  
ประมาณ 60 องศาเซลเซียส องค์ประกอบของน้ำกากส่าดังแสดงในตารางที่ 4-1 ซึ่งพบว่า ยังมี  
ปริมาณอินทรียสารสูงที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด



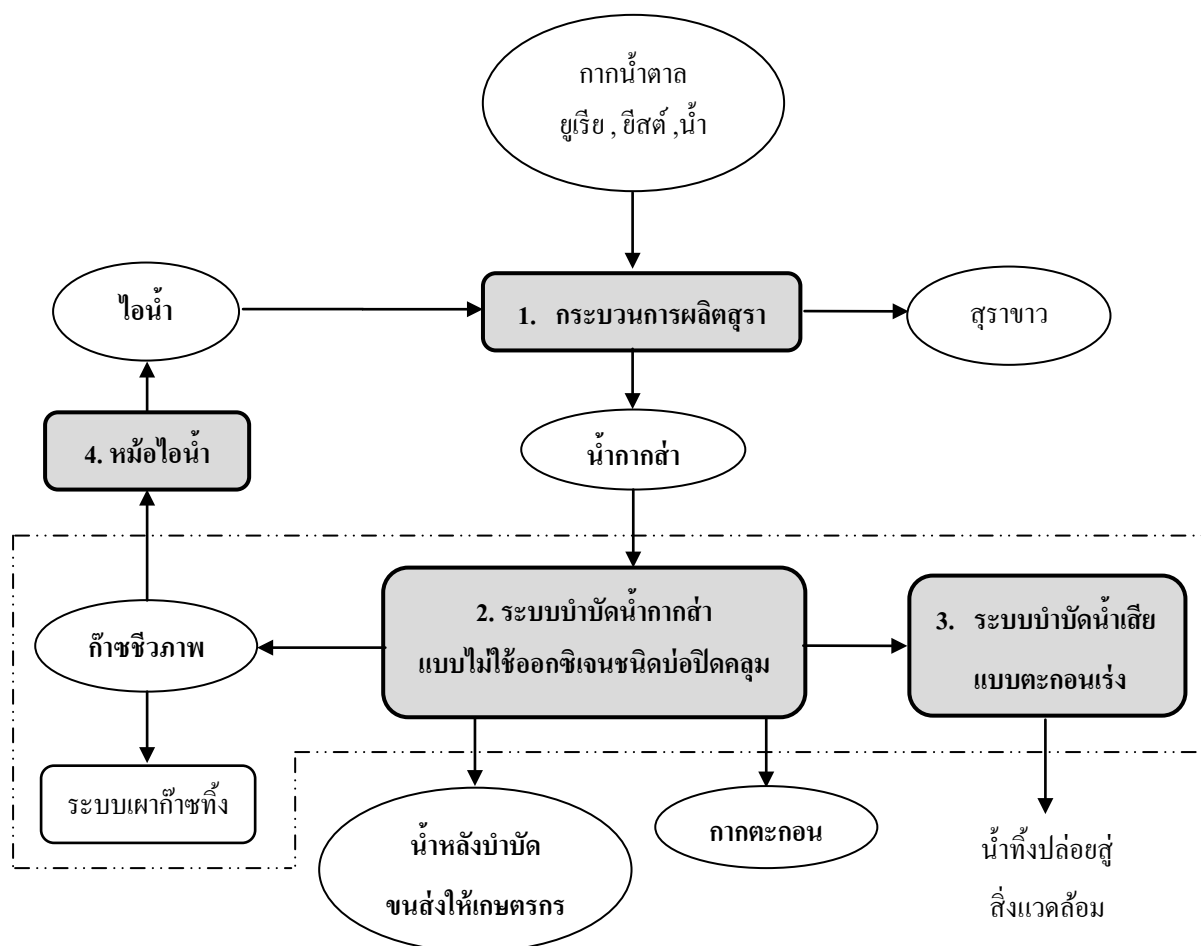
ปัจจุบันโรงงาน A ใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าแบบระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม (Anaerobic Covered Lagoon) มีขั้นตอนการบำบัดดังแสดงในรูปที่ 4-3 โดยน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลั่นต้องมีการปรับสภาพน้ำ ( $Q_1$ ) ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้มีอุณหภูมิ  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ก่อนเข้าสู่บ่อหมักก๊าซชีวภาพ (บ่อบำบัด) เพื่อรักษาและควบคุมสภาวะการดำเนินงานสภาพการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิประมาณ  $35\text{-}40\text{ }^{\circ}\text{C}$  และความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ลักษณะการดำเนินระบบต้องมีการป้อนน้ำกากส่าเข้าสู่ระบบอย่างสม่ำเสมอ แต่เนื่องจากในช่วงปลายเดือนธันวาคมของทุกปี โรงงานจะหยุดการผลิตต่อเนื่องมากกว่า 10 วัน ทำให้ไม่มีน้ำกากส่าป้อนเข้าบ่อบำบัดสำหรับการหมักก๊าซชีวภาพ เมื่อเริ่มการผลิตอีกครั้งในเดือนมกราคม การบำบัดต้องเริ่มเดินระบบใหม่ด้วยการเพิ่มอัตราการป้อนน้ำกากส่า  $50\text{ m}^3$  ทุกๆ 7 วันติดต่อกันเป็นเวลาประมาณ 50 วันจนกระทั่งมีปริมาณเชื้อหมักเพียงพอ จึงจะเริ่มป้อนน้ำด้วยอัตราคงที่ โดยน้ำกากส่าส่วนเกินที่ไม่สามารถป้อนเข้าระบบบำบัดได้ในระหว่างการเริ่มเดินระบบนี้จะถูกป้อนเข้าถังเก็บในลานตาก (บ่อปิดผสม) ( $Q_2$ ) หลังผ่านบ่อปรับสภาพฯ น้ำกากส่าจะถูกป้อนเข้าสู่บ่อบำบัดจากด้านล่างของบ่อ ใช้กากตะกอนของสารอินทรีย์ (Sludge) จากบ่อปิดผสมในการเจริญเติบโตและผลิตก๊าซชีวภาพ มีการควบคุมระดับน้ำในบ่อไว้เพื่อใช้เป็นพื้นที่ในการเกิดก๊าซชีวภาพ กรณีน้ำเข้าระบบมากเกินไปที่ควบคุมไว้จะไหลล้น (Overflow) ออกจากระบบเข้าสู่ระบบตะกอนเร่งต่อไป ส่วนน้ำหลังการบำบัดไหลออกด้านตรงข้ามเพื่อให้ระยะเวลาพักเก็บน้ำอยู่ในบ่อนานที่สุดส่งต่อไปยังบ่อพักเก็บน้ำกากส่าหลังผ่านการบำบัดและผสมกับน้ำกากส่าส่วนเกินในบ่อปิดผสม เพื่อใช้ปรับสภาพน้ำก่อนนำส่งให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงเกษตรกรรม โดยกากตะกอนก้นบ่อปิดผสม มีผู้รับซื้อเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ได้

ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบนี้มีเพียงการใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำกากส่าเข้าสู่แต่ละบ่อเท่านั้น ไม่มีการใช้สารเคมีและพลังงานความร้อน

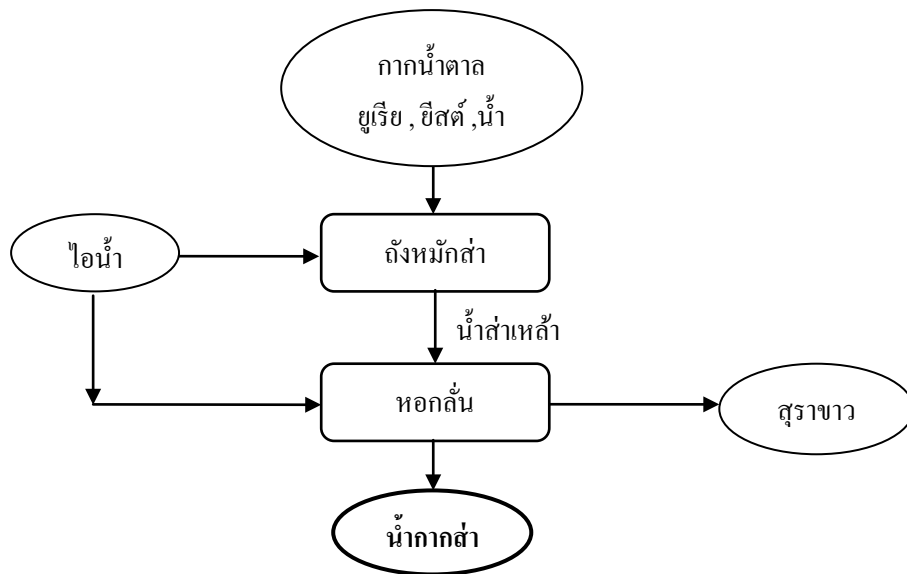
ทั้งนี้ข้อจำกัดของระบบ คือ ช่วงฤดูฝน โรงงานจะขนส่งน้ำหลังบำบัดให้เกษตรกรได้น้อยลง บ่อพักเก็บน้ำกากส่าหลังบำบัดและบ่อปิดผสมจึงถูกควบคุมระดับน้ำภายในบ่อไว้ (ไม่เกิน 0.5 เมตร จากระยะขอบบ่อ) เพื่อรองรับปริมาณน้ำเสียที่ไม่สามารถระบายออกนอกโรงงานได้ ดังนั้น โรงงานจึงต้องลดปริมาณการผลิตและปริมาณน้ำกากส่าที่ไหลเข้าบ่อปิดผสมให้น้อยลงเพื่อให้สอดคล้องกับการขนส่งน้ำหลังบำบัดให้เกษตรกรและความสามารถในการเก็บกักน้ำของบ่อพักเก็บน้ำหลังบำบัดและบ่อปิดผสม

สำหรับก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะส่งจ่ายไประบบหม้อไอน้ำหรือระบบเผาก๊าซที่นั่น ขึ้นกับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ยอมรับได้ของโรงงานและความพร้อมของระบบควบคุมและ

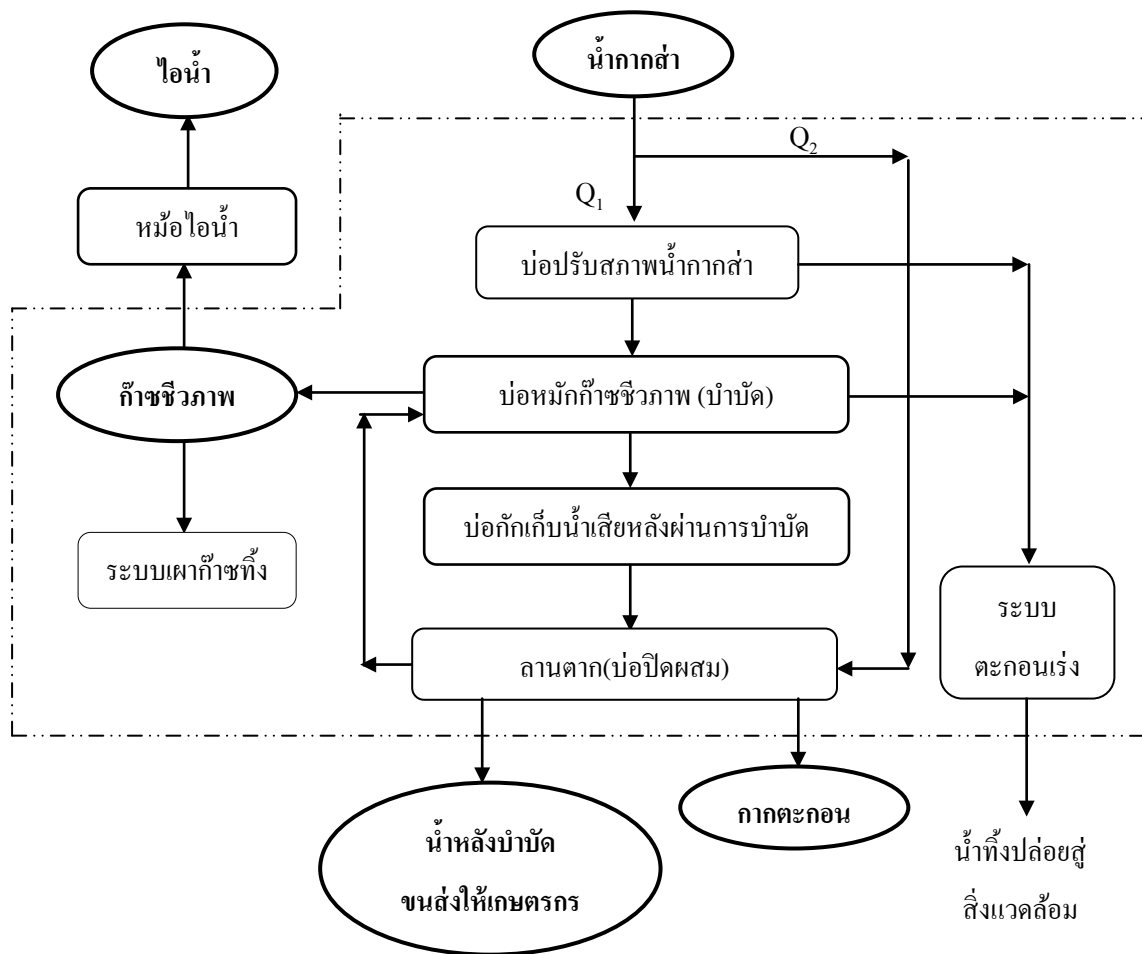
ตรวจสอบสภาพกระบวนการส่งจ่ายก๊าซ ซึ่งคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่โรงงาน A สนใจ คือ ต้องจุดติดไฟได้ โดยสังเกตจากค่าร้อยละของมีเทน ( $\%CH_4$ ) เป็นหลัก ปัจจุบันระบบผลิตไอน้ำของโรงงาน A มีการใช้งานหม้อไอน้ำ (Boiler) เพียงอย่างเดียว โดยใช้เชื้อเพลิงทดแทน คือ ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงหลัก และใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสนับสนุนในกรณีที่ระบบหม้อไอน้ำไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพส่งเข้าหม้อไอน้ำได้ตามความต้องการของระบบ และสาเหตุการเผาก๊าซทิ้ง มาจากการผลิตก๊าซที่ไม่สามารถจุดติดไฟได้, อุปกรณ์ควบคุมความปลอดภัยของระบบลำเลียงก๊าซเสื่อมสภาพ และกรณีการหยุดการผลิตสุรา ก๊าซชีวภาพที่ได้จากบ่อบำบัดจึงถูกส่งไปเผาทิ้งเพื่อลดความดันในบ่อบำบัดและภายในเส้นท่อดำเลียงก๊าซ



รูปที่ 4-1 กระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A  
โดยเส้นประ (---) แสดงขอบเขตการศึกษา



รูปที่ 4-2 แหล่งที่มาของน้ำกากสาที่ออกจากกระบวนการผลิตสุราของโรงงาน A



รูปที่ 4-3 เทคโนโลยีการบ่าบัดน้ำกากสาแบบระบบหมักไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุมของโรงงาน A

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลับของโรงงาน A

องค์ประกอบ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐาน	น้ำกากส่าที่ออกจากหอกลับ โรงงาน A	
<b>เกณฑ์คุณลักษณะน้ำทิ้ง<sup>(1)</sup></b>				
ค่าความหนาแน่น	g/cm <sup>3</sup>	-	1.07	-
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH	5.5-9.0	4.94	X
อุณหภูมิ (Temperature )	°C	< 40 °C	60.0	X
ของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved solids; TDS)	mg/L	<5,000	132,500	X
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS)	mg/L	<150	5,500	X
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)	mg/L	<400	162,875	X
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)	mg/L	<60	66,000	X
สังกะสี (Zinc; Zn)	mg/L	<5.0	12	X
ทองแดง (Copper; Cu)	mg/L	<0.1	2.54	X
แมงกานีส (Manganese; Mn)	mg/L	<5.0	69.8	X
แคดเมียม (Cadmium; Cd)	mg/L	<0.03	0.004	√
ตะกั่ว (Lead; Pb)	mg/L	<0.2	0.022	X
<b>เกณฑ์สำหรับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยตรง<sup>(2)</sup></b>				
สภาพการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity; EC)	ds/m	<6	0.26	√
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)	-	ไม่เกิน 20:1	23.34:1	X
ไนโตรเจน ( Nitrogen; N)	% w/w	> 1.0 % w/w	0.27	X
ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P)	% w/w	> 0.5 % w/w	0.014	X
โพแทสเซียม (Potassium; K)	% w/w	> 0.5 % w/w	1.11	√

หมายเหตุ\* (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน

พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

(2) ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

(3) กำหนด (√) = ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน, (X) = ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน, (-) = ไม่มีเกณฑ์กำหนด

(4) สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) แสดงค่าการนำไฟฟ้าของเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำ มีหน่วยเป็น เดซิซีเมนต่อเมตร (ds/m)

#### 4.1.2 โรงงาน B;ผลิตภัณฑ์สุราผสม

##### เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากสำ ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)

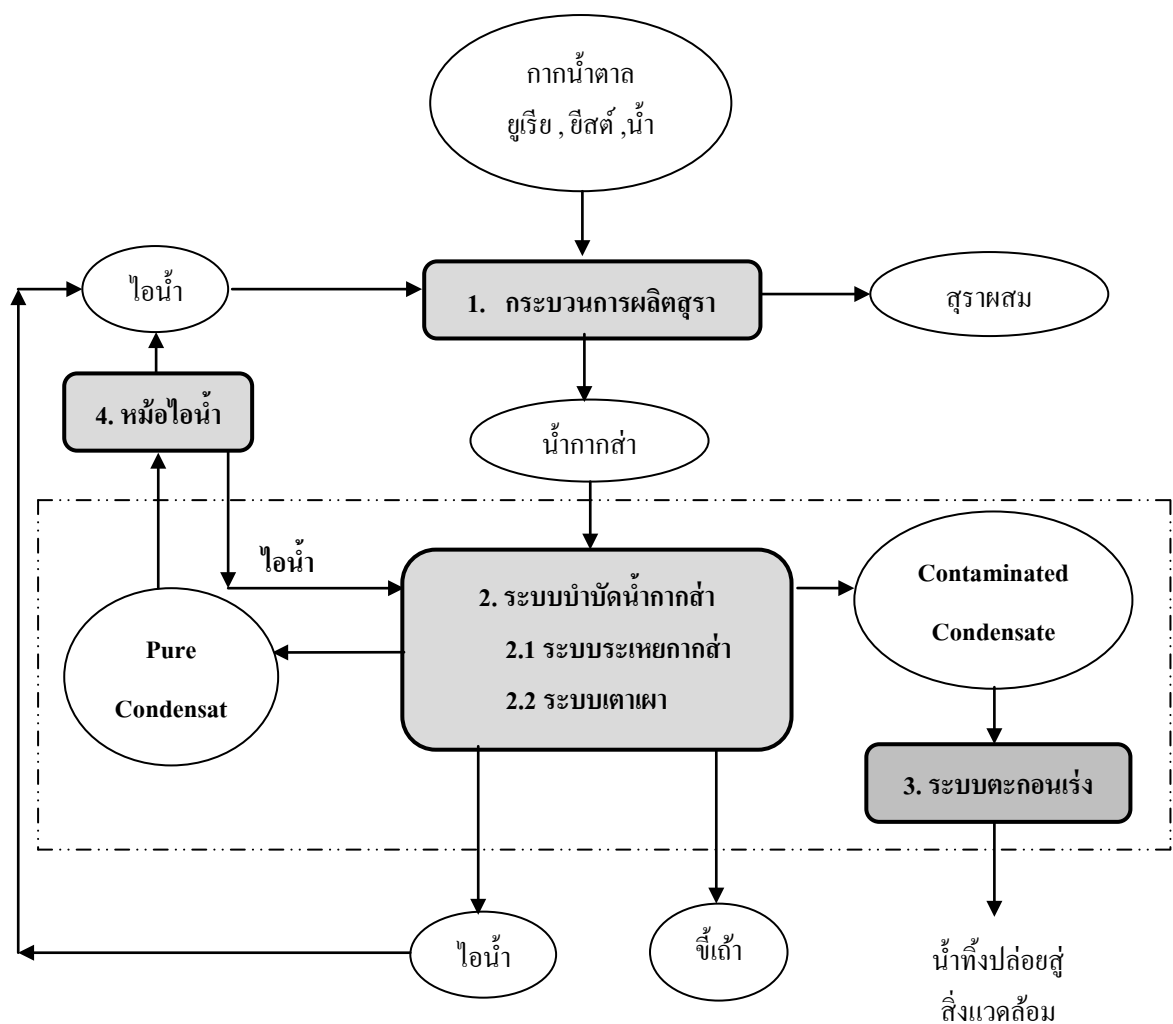
ผลการศึกษาระบวนการผลิตสุรา ที่มาและองค์ประกอบของน้ำกากสำที่ออกจากหม้อกลั่น (ลำดับที่หนึ่ง) ระบบบำบัดน้ำกากสำและการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้จากการบำบัดของ โรงงาน B ได้แสดงในรูปที่ 4-4 โดยโรงงาน B เป็นโรงงานสุรากลั่นที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ มีกระบวนการผลิตสุราเริ่มต้นจากการนำกากน้ำตาลเข้มข้นหมักตามสูตรเฉพาะของผลิตภัณฑ์ผ่าน หม้อกลั่นลำดับที่หนึ่ง (Mash) ได้เป็นสุราขาว 70 ดีกรีแอลกอฮอล์ จากนั้นจึงส่งต่อไปยังหม้อกลั่น ลำดับที่สอง (Rectifying) เพื่อกลั่นเป็นแอลกอฮอล์ ใช้สำหรับผสมและปรุงสุราได้เป็นสุราผสมบรรจุ ผลิตภัณฑ์ต่อไป

ส่วนน้ำเสียหลักจากกระบวนการผลิตเกิดจากน้ำกากสำจากหม้อกลั่นลำดับที่หนึ่ง (รูปที่ 4-5) มีปริมาตรร้อยละ 84 ของน้ำสำเหลือจากถังหมักที่ส่งเข้าหม้อกลั่น ลักษณะมีสีน้ำตาลเข้ม อุณหภูมิ น้ำเสีย ณ ถังหม้อกลั่นประมาณ 103 องศาเซลเซียส นำไปผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำสำ ป้อน (Plate Heat) อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 80 องศาเซลเซียสเข้าสู่ถังพักน้ำกากสำ (Dilute Slops Tank) องค์ประกอบน้ำกากสำดังแสดงในตารางที่ 4-2 ซึ่งพบว่ายังมีปริมาณอินทรีย์สารสูงที่ ยังไม่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด

ปัจจุบันโรงงาน B ใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากสำแบบระบบระเหย มีขั้นตอนการบำบัด ดังแสดงในรูปที่ 4-6 (ก) และรูปที่ 4-6 (ข) โดยน้ำกากสำจากถังพักฯถูกปั๊มเข้าระบบระเหยกากสำ (Evaporative Systems) ภายในประกอบด้วย Effect 1-3 เป็นเครื่องระเหยแบบ Falling-Film และ Effect 4 เป็นเครื่องระเหยแบบ Forced-Circulation ระเหยน้ำกากสำความเข้มข้นประมาณ 12 - 18 % Total Solids (Dilute Slop) จนกระทั่งมีความเข้มข้นเป็น 40% Total Solids (Pre-Concentrate Slop) โดยระหว่าง Effect 3 และ 4 จะมีวาล์วควบคุมการไหลของน้ำกากสำ กรณีที่น้ำกากสำมีความเข้มข้น น้อยกว่าค่าที่ควบคุมไว้ วาล์วจะปิดและส่งน้ำกากสำบางส่วนกลับเข้าสู่ถังพักฯทันที แล้วเคี้ยวน้ำกาก สำที่เหลือภายใน Effect 4 จนกว่าจะมีความเข้มข้นที่ควบคุมไว้จึงจะส่งไปยัง Concentrator ซึ่งเป็น เครื่องระเหยแบบ Forced-Circulation (Effect 5) ระเหยน้ำกากสำจนมีความเข้มข้นเพียงพอต่อการ ใช้ เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ในเตาเผาได้ เรียกว่า น้ำกากสำเข้มข้น (Concencrated Slop) เนื่องจากสมบัติของ น้ำกากสำเข้มข้นไม่สามารถจุดติดไฟได้ด้วยตัวเอง เมื่อส่งเข้าระบบเตาเผา (Incineration) จึงต้องใช้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในการเริ่มเดินระบบและใช้เป็นเชื้อเพลิงสนับสนุนในการเผาไหม้ มีของเสีย จากกระบวนการเผาไหม้คือ ี๊เต้า ซึ่งสามารถนำไปขายให้กับบริษัทผู้รับซื้อ เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบใน การผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ต่อไป ส่วนน้ำคอนเดนเสทแบ่งเป็น น้ำคอนเดนเสทที่ไม่ปนเปื้อนน้ำกาก สำ (Pure Condensate) นำกลับไปใช้เป็นน้ำป้อนในหม้อไอน้ำ (Boiler) ได้ และน้ำคอนเดนเสทที่

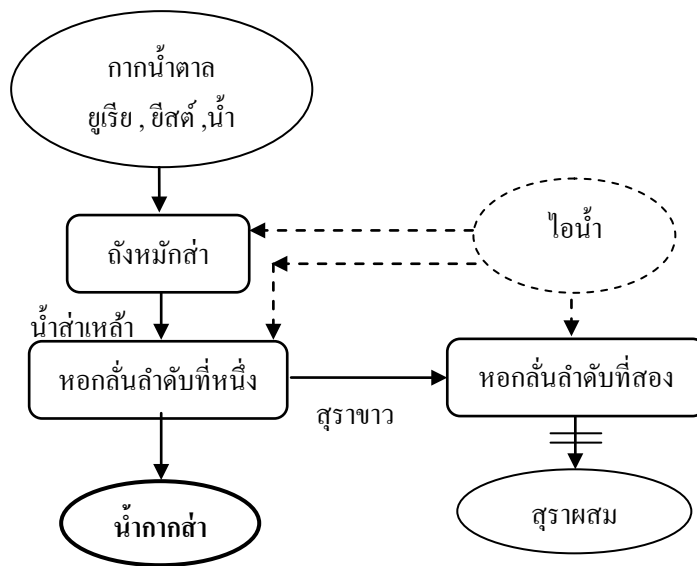
ปนเปื้อนน้ำกากส่า (Contaminated Condensate) จะถูกส่งไปยังระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) เพื่อบำบัดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

ระบบระเหยกากส่าและกำจัดโดยการเผาขึ้นเดินระบบโดยใช้พลังงานไฟฟ้าและใช้ไอน้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยจะใช้ไอน้ำ (Fresh Steam) สำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Effect 1 และ Effect 5 เท่านั้น ส่วนการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในจะใช้หลักการระบบระเหยหลายเชิง (Multiple Effect Evaporator) โดยการนำไอน้ำที่ได้จากเครื่องระเหยเครื่องที่หนึ่ง (Vapor) ป้อนเข้าสู่เครื่องระเหยลำดับถัดไปโดยเทคโนโลยี Thermal Vapor Recompression (TVR)

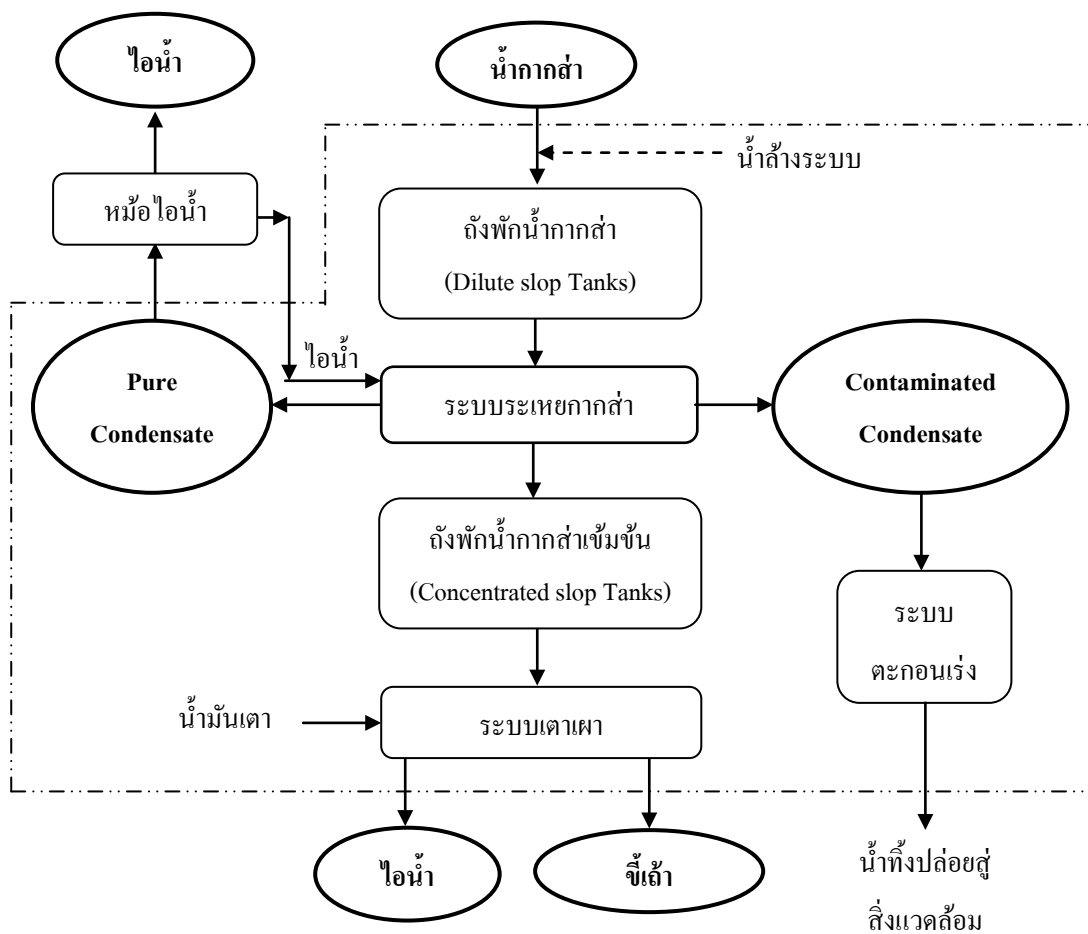


รูปที่ 4-4 กระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B

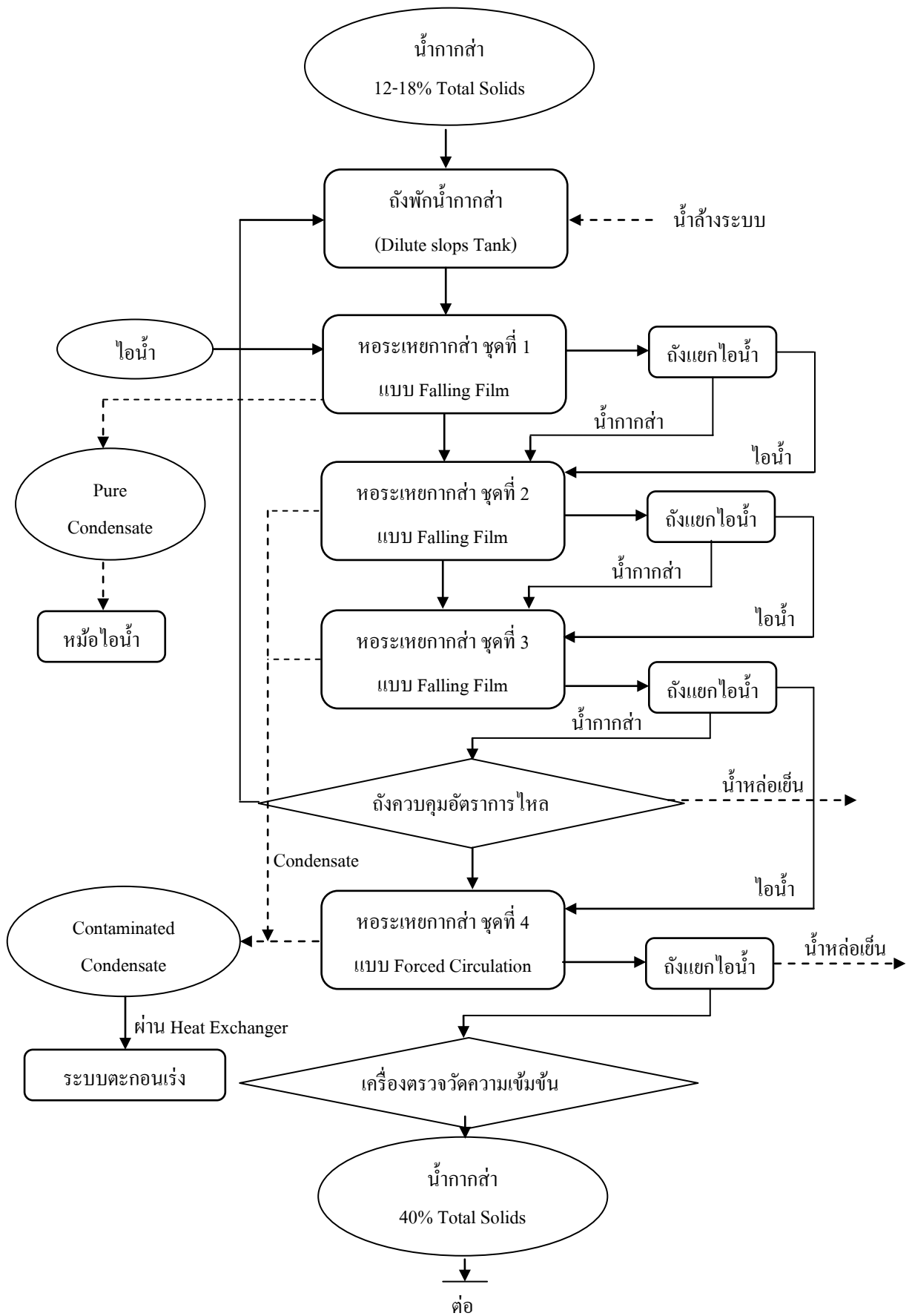
โดยเส้นประ (---) แสดงขอบเขตการศึกษา



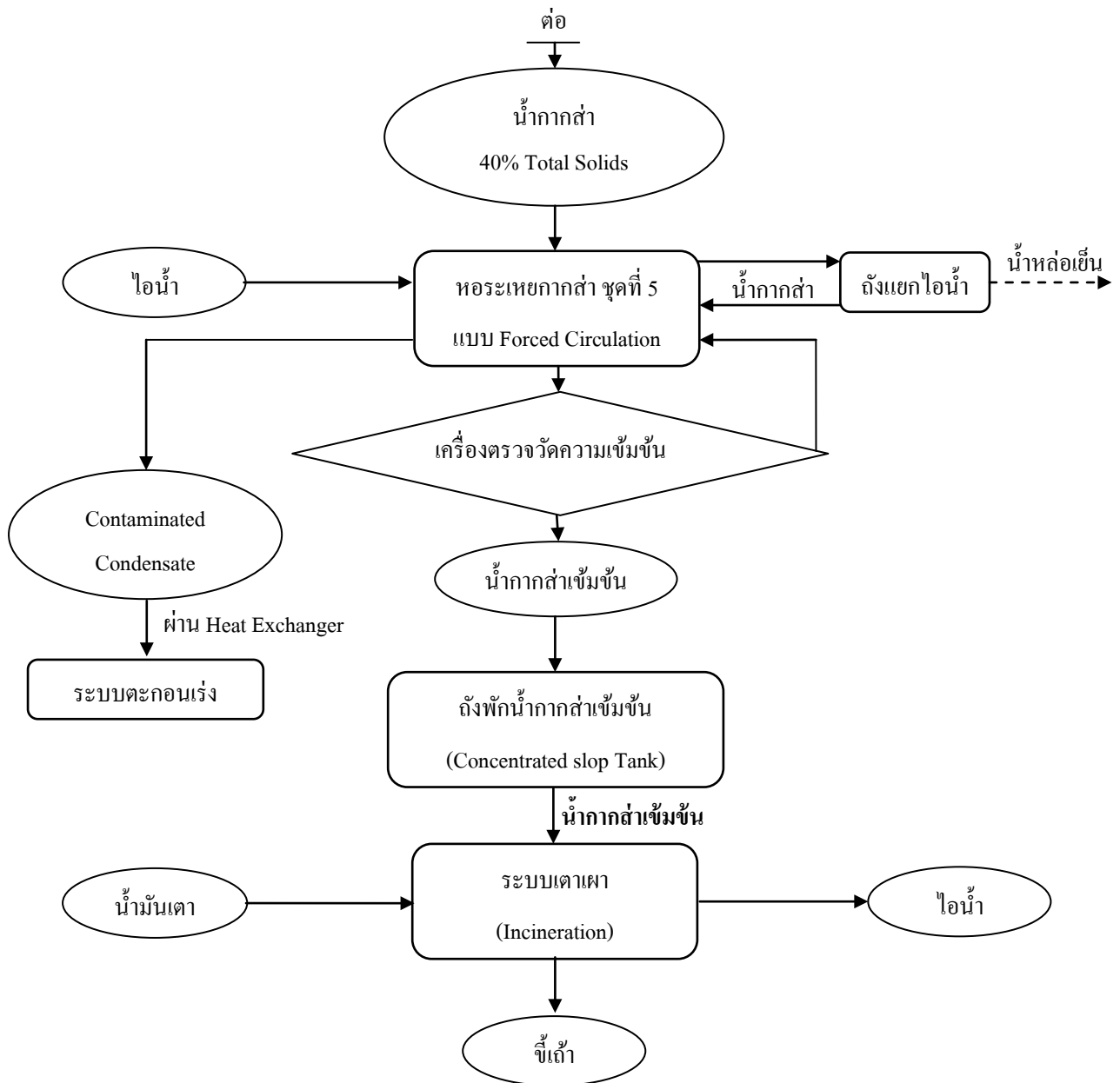
รูปที่ 4-5 แหล่งที่มาของน้ำกากสำที่ออกจากกระบวนการผลิตสุราของโรงงาน B



รูปที่ 4-6 (ก) เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากสำแบบระบบระเหยของโรงงาน B







รูปที่ 4-6 (ข) แผนผังภายในระบบระเหยของโรงงาน B

ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลั่นลำดับที่หนึ่งของโรงงาน B

องค์ประกอบ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐาน	น้ำกากส่าที่ ออกจากหอกลั่น* โรงงาน B	
<b>เกณฑ์คุณลักษณะน้ำทิ้ง<sup>(1)</sup></b>				
ค่าความหนาแน่น	g/cm <sup>3</sup>	-	1.07	-
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH range	5.5-9.0	4.52	X
อุณหภูมิ (Temperature )	°C	< 40 °C	60.0	X
ของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved solids ,TDS)	mg/L	<5,000	142,800	X
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids , SS)	mg/L	<150	20,875	X
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand ,COD)	mg/L	<400	177,863	X
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand ,BOD)	mg/L	<60	55,000	X
สังกะสี (Zinc ,Zn)	mg/L	<5.0	2.60	√
ทองแดง (Copper ,Cu)	mg/L	<0.1	1.12	X
แมงกานีส (Manganese ,Mn)	mg/L	<5.0	41.6	X
แคดเมียม (Cadmium ,Cd)	mg/L	<0.03	ND	√
ตะกั่ว (Lead ,Pb)	mg/L	<0.2	ND	√
<b>เกณฑ์สำหรับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยตรง<sup>(2)</sup></b>				
สภาพการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity ,EC)	ds/m	<6	0.26	√
C/N Ratio	-	ไม่เกิน 20:1	11.29:1	√
Total Nitrogen	% w/w	> 1.0 % w/w	0.40	X
Phosphorus(Total P)	% w/w	> 0.5 % w/w	0.009	X
Potassium (Total K)	% w/w	> 0.5 % w/w	0.93	√

หมายเหตุ\* (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน

พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

(2) ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

(3) กำหนด (√) = ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน, (X) = ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน, (-) = ไม่มีเกณฑ์กำหนด

(4) สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity,EC) แสดงค่าการนำไฟฟ้าของเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำ มีหน่วยเป็น เดซิซีเมนต่อเมตร (ds/m)

(5) ND = Not Detected (ตรวจไม่พบ)

#### 4.1.3 ผลการเปรียบเทียบแหล่งที่มาของน้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า

จากหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 เมื่อศึกษากระบวนการผลิตสุราของทั้ง 2 โรงงาน จะเห็นว่ามีการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบเหมือนกัน เมื่อผ่านกระบวนการกลั่นจากหมักคั้นลำดับที่หนึ่ง (หอ Mash) จะได้เป็นแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70 ดีกรีแอลกอฮอล์ (สุราขาว) เช่นเดียวกัน แต่มีขั้นตอนการปรุงผสมเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน

สิ่งที่สนใจศึกษาจากกระบวนการผลิตสุรา คือ น้ำกากส่าที่ออกจากกระบวนการกลั่นจากหมักคั้นของโรงงาน A และหมักคั้นลำดับที่หนึ่งของโรงงาน B ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบน้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า แสดงในตารางที่ 4-3 พบว่า พารามิเตอร์จากเกณฑ์คุณลักษณะน้ำทิ้ง มีค่าองค์ประกอบแตกต่างกันเท่ากับร้อยละ 9-17 และพารามิเตอร์จากเกณฑ์สำหรับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยตรงมีค่าองค์ประกอบแตกต่างกันเท่ากับร้อยละ 16-36

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาเกณฑ์คุณลักษณะน้ำทิ้งโดยอ้างอิงจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เป็นสำคัญ จึงถือว่าองค์ประกอบของน้ำกากส่าจากทั้ง 2 โรงงานมีค่าความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 20 (ร้อยละ 9-17) สามารถเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่าได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงแหล่งที่มาของน้ำกากส่า

ตารางที่ 4-3 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบน้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า

พารามิเตอร์ ในการเปรียบเทียบ	หน่วย	น้ำกากส่า ที่ออกจากกระบวนการกลั่น		ร้อยละ ความแตกต่าง (%)
		โรงงาน A	โรงงาน B	
<b>เกณฑ์คุณลักษณะน้ำทิ้ง<sup>(1)</sup></b>				
Density	g/cm <sup>3</sup>	1.07	1.07	-
pH	pH	4.94	4.52	9
Electric Conductivity (EC)	ds/m	0.26	0.26	-
Total Solid	mg/L	190,220	168,840	11
Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	162,875	177,863	9
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	66,000	55,000	17
<b>เกณฑ์การใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยตรง<sup>(2)</sup></b>				
Total Nitrogen	%w/w	0.27	0.40	33
Phosphorus (Total P)	%w/w	0.014	0.009	36
Potassium (Total K)	%w/w	1.11	0.93	16

หมายเหตุ\* (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

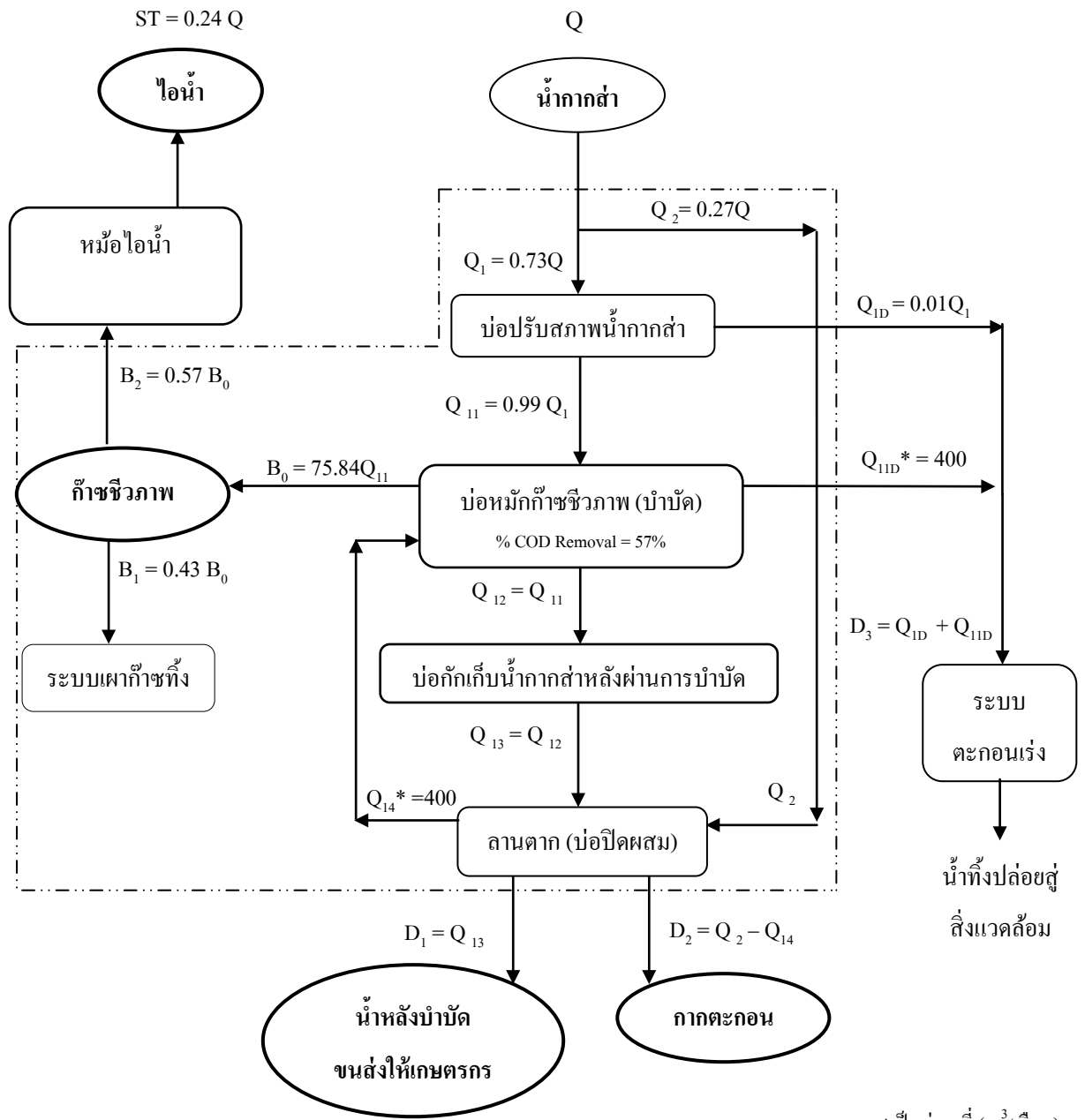
(2) ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

## 4.2 ผลการประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน

### 4.2.1 โรงงาน A; ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม

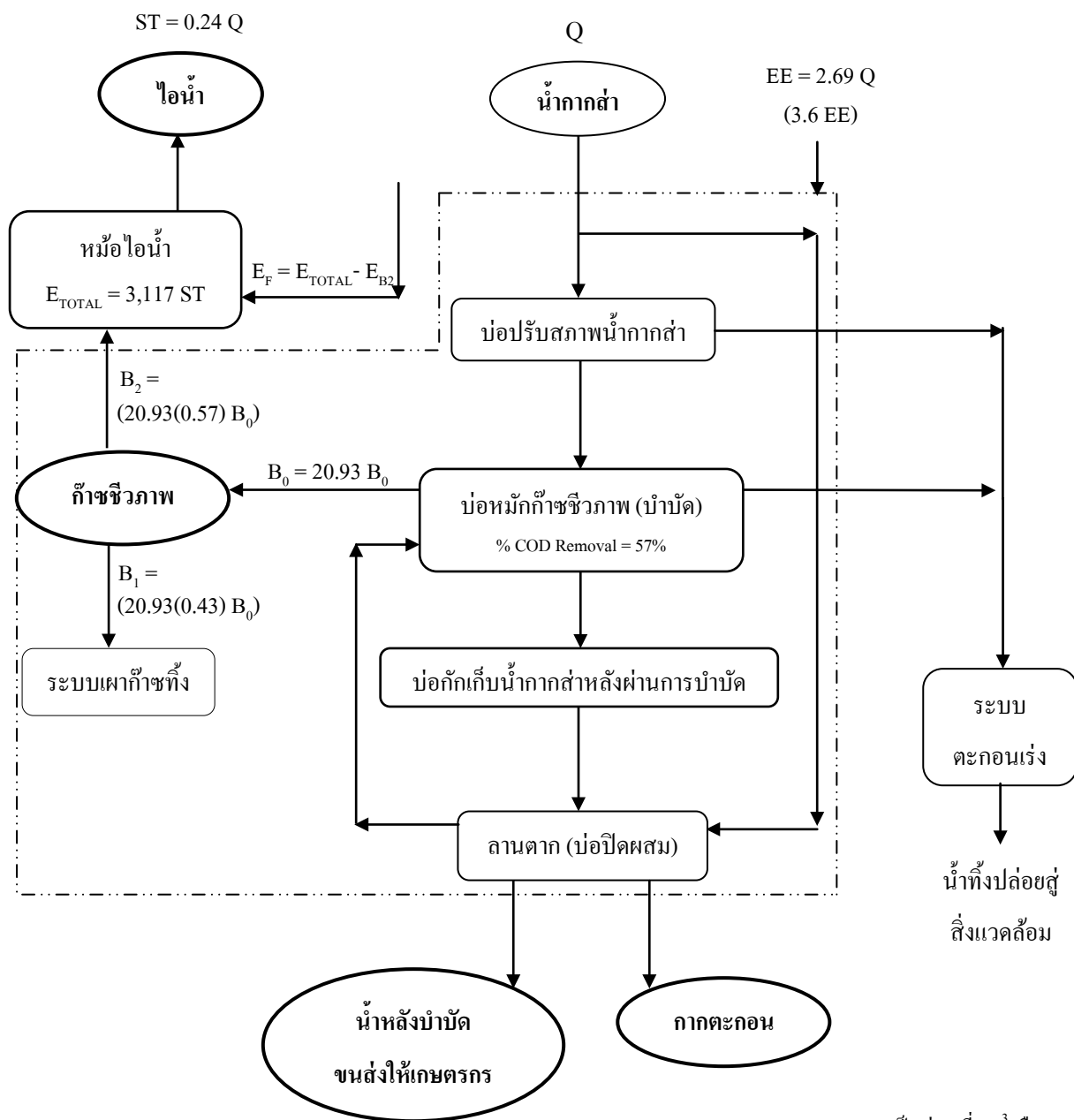
#### 4.2.1.1 การใช้วัสดุและพลังงานของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A

อ้างอิงจากข้อมูลการดำเนินงานของระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม และการใช้พลังงานความร้อนของโรงงาน A โดยศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) เฉลี่ยราย 12 เดือน โดยมีรายงานค่าสถิติ ได้แก่ ค่าสูงสุด-ต่ำสุด(Max-Min), ค่าเฉลี่ย(Mean), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน(C.V) ของข้อมูลสรุปผลการดำเนินงานดังกล่าวในภาคผนวก ก โดยสามารถแสดงปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานได้ดังรูปที่ 4-7 และรูปที่ 4-8 จากสมการความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่าของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A ดังแสดงในตารางที่ 4-4 ตามลำดับ



\*เป็นค่าคงที่ (m<sup>3</sup>/เดือน)

รูปที่ 4-7 ปริมาณการใช้วัสดุที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A



\*เป็นค่าคงที่ (m<sup>3</sup>/เดือน)

รูปที่ 4-8 ปริมาณการใช้พลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบ่าบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A

ตารางที่ 4-4 คำอธิบายตัวแปรและสมการแสดงปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์  
กับปริมาณน้ำอากาศ (Q) ของระบบบำบัดน้ำอากาศของโรงงาน A

ตัวแปร	ความสัมพันธ์	หน่วย	คำอธิบาย
Q	Q	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำอากาศที่ออกจากหอกลั่น
Q <sub>1</sub>	0.73Q	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำอากาศก่อนปรับสภาพ
Q <sub>2</sub>	0.27Q	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำอากาศที่ป้อนเข้าบ่อปิดผสม
Q <sub>11</sub>	0.99Q <sub>1</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำอากาศหลังปรับสภาพที่ส่งเข้าสู่บ่อบำบัด
Q <sub>ID</sub>	0.01Q <sub>1</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำอากาศที่ล้นออกจากบ่อปรับสภาพ
Q <sub>12</sub>	Q <sub>11</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำเสียที่ออกจากบ่อบำบัดฯเข้าสู่บ่อกักเก็บฯ
Q <sub>13</sub>	Q <sub>12</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำเสียหลังบำบัดที่ส่งเข้าบ่อปิดผสม
Q <sub>14</sub> <sup>*(1)</sup>	400	m <sup>3</sup>	ปริมาณ Sludge ที่ใช้เป็นเชื้อหมักส่งเข้าบ่อบำบัดฯ
Q <sub>11D</sub> <sup>*(1)</sup>	400	m <sup>3</sup>	ปริมาณ Sludge ที่เสื่อมสภาพไหลออกจากบ่อบำบัด
D <sub>1</sub>	Q <sub>13</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำหลังบำบัดที่ขนส่งให้เกษตรกร
D <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub> - Q <sub>14</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณกากตะกอนที่ขายให้กับบริษัทผู้รับซื้อ
D <sub>3</sub>	Q <sub>ID</sub> + Q <sub>11D</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง
B <sub>0</sub>	75.84 Q <sub>11</sub>	Nm <sup>3</sup>	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้
	20.93(B <sub>0</sub> )	MJ	พลังงานความร้อนจากก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ทั้งหมด
B <sub>1</sub>	0.43 B <sub>0</sub>	Nm <sup>3</sup>	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ส่งไปเผาทิ้ง
	20.93(0.43 B <sub>0</sub> )	MJ	พลังงานความร้อนของก๊าซชีวภาพที่ส่งไปเผาทิ้ง
B <sub>2</sub>	0.57 B <sub>0</sub>	Nm <sup>3</sup>	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในหม้อไอน้ำ
	20.93(0.57 B <sub>0</sub> )	MJ	พลังงานความร้อนของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในหม้อไอน้ำ
ST	0.24 Q	ton ST	ปริมาณไอน้ำทั้งหมดที่ผลิตได้
E <sub>TOTAL</sub>	3,117 ST	MJ	พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ
E <sub>F</sub>	E <sub>TOTAL</sub> - E <sub>B2</sub>	MJ	พลังงานความร้อนจากน้ำมันเตาที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ
EE	2.69 Q	kWh	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำอากาศ
	3.6 EE	MJ	พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำอากาศ
หมายเหตุ* (1) Q <sub>14</sub> , Q <sub>11D</sub> เป็นค่าคงที่ต่อเดือน			
(2) Nm <sup>3</sup> หมายถึง Normal Cube โดย Normal แสดงอัตราการไหลของสารที่มีสถานะเป็นก๊าซเทียบกับก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas) เป็นก๊าซที่อุณหภูมิ 273.15 องศาเซลเซียส, ความดัน 1 บรรยากาศ			

## พิจารณาผลพลอยได้จากกำบับ

### 1) ก๊าซชีวภาพ

พิจารณาการเกิดก๊าซชีวภาพ พบว่า ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ ( $B_0$ ) แปรผันโดยตรงกับ ปริมาณน้ำกากส่าและอินทรีย์สารที่เข้าสู่ระบบบ่อกำบับ (ค่า  $COD_{Q11}$ ) (รูปที่ 4-9 (ก)) โดยคุณภาพของก๊าซชีวภาพสังเกตจากค่าร้อยละของมีเทน ( $\%CH_4$ ) ทั้งนี้ข้อสังเกต คือ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่อน้ำกากส่า 1 ลบ.ม. แปรผกผันกับปริมาณน้ำกากส่าเข้าระบบ (รูปที่ 4-9 (ข))

ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำและการตรวจสอบปริมาณสารเจือปนและเขม่าควันในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อไอน้ำที่มีการใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ จึงนำรายงานผลการตรวจวัดดังกล่าว แสดงในตารางที่ 4-5 โดยถือว่าคุณภาพอากาศจากปล่องของหม้อไอน้ำยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 4-5 การตรวจสอบปริมาณสารเจือปนและเขม่าควันในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อไอน้ำที่มีการใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ

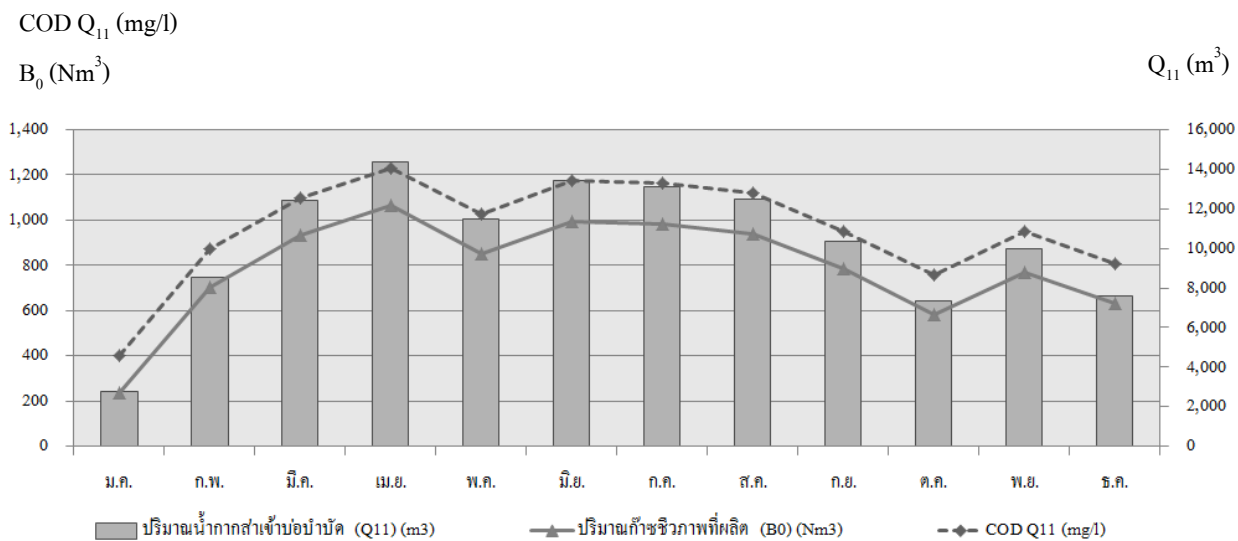
ดัชนีที่ตรวจวัด	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐาน	ผลการตรวจวัด	หมายเหตุ
<b>ค่าปริมาณสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน<sup>(1)</sup></b>				
Total Suspended Particulate (TSP)	mg/m <sup>3</sup>	≤ 320	33.87	✓
Sulfur dioxide (SO <sub>2</sub> )	ppm	≤ 60	16.31	✓
Nitrogen dioxide (NO <sub>x</sub> )	ppm	≤ 200	24.46	✓
Carbon monoxide (CO)	ppm	≤ 690	0	✓
<b>ปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อไอน้ำของโรงงาน<sup>(2)</sup></b>				
ค่าความทึบแสงของเขม่าควัน	%	≤ 10	-	✓

หมายเหตุ\* (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549

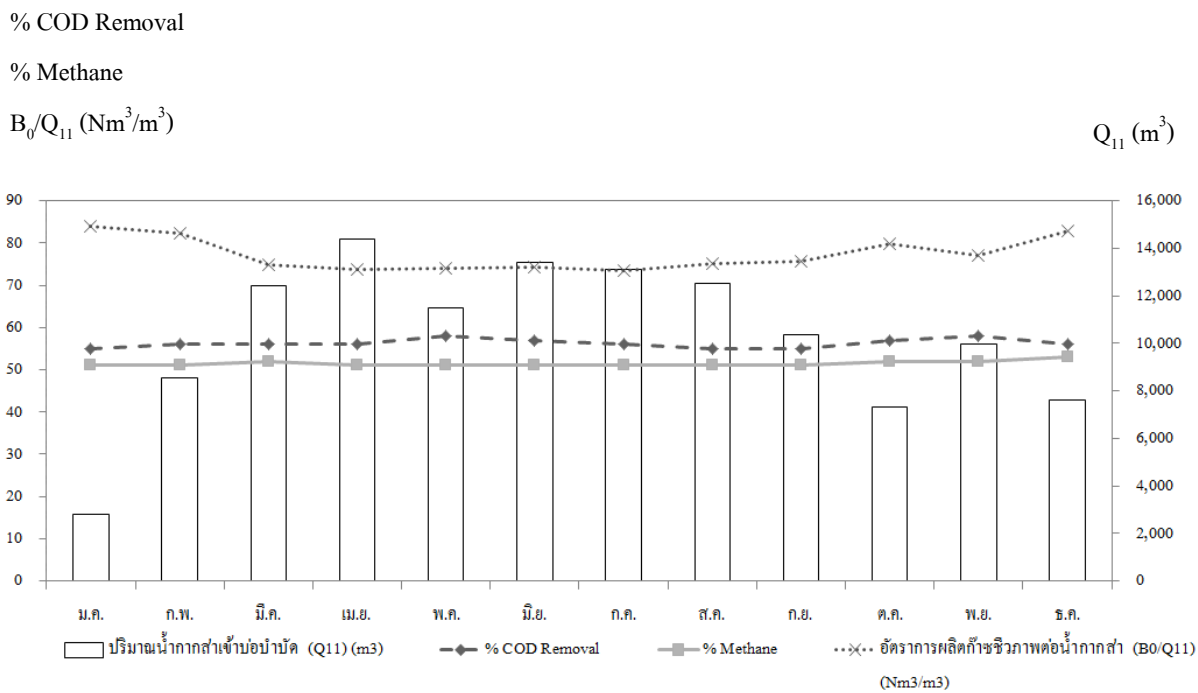
(2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อไอน้ำของโรงงาน พ.ศ. 2549

(3) กำหนด (✓) = ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน, (X) = ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน





(ก)



(ข)

รูปที่ 4-9 ประสิทธิภาพของระบบบ่อบำบัดก๊าซชีวภาพ

## 2) น้ำหลังการบำบัด

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของน้ำกากส่าหลังการบำบัด โดยการเก็บตัวอย่างน้ำกากส่าที่ไหลออกจากบ่อบำบัดเข้าสู่บ่อกักเก็บน้ำกากส่าหลังการบำบัดของโรงงาน ( $Q_{12}$ ) พบว่า ตัวอย่างดังกล่าวยังไม่สามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ แต่มีคุณสมบัติเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เพียงแต่ติดปัญหาด้านกลิ่นของน้ำกากส่า โรงงาน A จึงแก้ปัญหาโดยนำน้ำภายในบ่อกักเก็บน้ำกากส่าหลังการบำบัด ( $Q_{12}$ ) ไปปรับสภาพรวมกับน้ำในบ่อปิดผสม ( $Q_2$ ) และมีองค์ประกอบของน้ำกากส่าสำหรับขนส่งให้กับเกษตรกร ( $D_1$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4-6 พบว่า ค่าที่ได้จากการตรวจวัดผ่านเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตรในหมวดของปุ๋ยอินทรีย์เหลว ซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยเรื่องการนำน้ำกากส่าไปใช้ประโยชน์ในเชิงเกษตรกรรม เพื่อขอขึ้นทะเบียนใช้เป็นสารปรับปรุงดินและขออนุญาตนำสิ่งปลูกปลูกออกนอกโรงงานจากกระทรวงอุตสาหกรรมจึงสามารถนำน้ำกากส่าดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ในการเกษตรได้โดยตรง เพียงแต่ต้องเลือกใช้ปริมาณที่เหมาะสม โดยโรงงาน A มีการควบคุมให้เกษตรกรมีปริมาณการใช้งานไม่เกิน 30 ลบ.ม.ต่อวันต่อไร่

ทั้งนี้เนื่องจากที่ตั้งของโรงงาน A อยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมจึงมีปริมาณความต้องการมากและสม่ำเสมอ ถือเป็นหนึ่งในการกิจกรรมแสดงความรับผิดชอบต่อสังคมของโรงงาน เพื่อดูแลชุมชนบริเวณใกล้เคียงได้ แต่ทางโรงงานเป็นผู้รับผิดชอบภาระค่าใช้จ่ายในการขนส่งทั้งหมดและต้องลดปริมาณการขนส่งลงในช่วงฤดูฝน

## 3) กากตะกอน

กากตะกอนก้นบ่อของบ่อดานตาก (บ่อปิดผสม) มีบริษัทผู้รับซื้อเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ หรือปุ๋ยได้

ตารางที่ 4-6 องค์ประกอบของน้ำกากส่าในบ่อปิดผสมสำหรับขนส่งให้กับเกษตรกร

รายการทดสอบ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐาน	Q <sub>12</sub>		D <sub>1</sub>	
<b>เกณฑ์คุณลักษณะน้ำทิ้ง<sup>(1)</sup></b>						
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH	5.5-9.0	7.12	√	7.81	√
อุณหภูมิ (Temperature )	°C	< 40 °C	29.0	√	32.0	√
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand ,COD)	mg/L	<400	60,342.35	X	34,171	X
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand ,BOD)	mg/L	<60	2,300	X	5,178	X
สังกะสี (Zinc ,Zn)	mg/L	<5.0	2.79	√	0.70	√
ทองแดง (Copper ,Cu)	mg/L	<0.1	3.37	X	0.10	√
แมงกานีส (Manganese ,Mn)	mg/L	<5.0	41.68	X	16.45	X
แคดเมียม (Cadmium ,Cd)	mg/L	<0.03	ND	√	ND	√
ตะกั่ว (Lead ,Pb)	mg/L	<0.2	0.002	√	0.009	√
<b>เกณฑ์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้เป็นสารปรับปรุงดิน</b>						
สภาพการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity ,EC)	ds/m	<6	0.35	√	0.25	√
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)	mg/L	ไม่เกิน 20:1	8.26:1	√	6.67:1	√
ไนโตรเจน ( Nitrogen,N)	mg/L	> 1.0 % w/w	2,580	√	1,713.50	√
ฟอสฟอรัส (Phosphorus,P)	mg/L	> 0.5 % w/w	51.91	√	45.85	√
โพแทสเซียม (Potassium , K)	mg/L	> 0.5 % w/w	10,610	√	5,746.50	√

หมายเหตุ\* (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน

พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

(2) ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

(3) กำหนด (√) = ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน, (X) = ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน, (-) = ไม่มีเกณฑ์กำหนด

(4) สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity,EC) แสดงค่าการนำไฟฟ้าของเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำ มีหน่วยเป็น เดซิซีเมนต่อเมตร

(5) ND = Not Detected (ตรวจไม่พบ)

#### 4.2.1.2 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาสำหรับระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบโรงงาน A แสดงในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาสำหรับระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบโรงงาน A

รายการ	ข้อมูล	หมายเหตุ
มูลค่าเทคโนโลยี	170,000,000 บาท	รวมถึงปลูกสร้าง, ค่า Know how และเครื่องมืออุปกรณ์
พื้นที่ใช้งานระบบ	70 ไร่	(1 ไร่ = 400 ตรว.)
ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost)		
บุคลากรดูแลระบบ	2,700,000 บาท/ปี	15 คน (3 กะ ๆ ละ 5 คน)
ค่าซ่อมบำรุงระบบ		
-ระบบบำบัดฯ	100,000 บาท	ผ้าใบ HDPE สำหรับคลุมบ่อ
-ระบบส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ	500,000 บาท	Safety Valve ควบคุมความดันภายในท่อส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ
ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost)		
ราคาส่งน้ำกากส่าให้เกษตรกร	40 บาท/m <sup>3</sup>	โรงงาน A เป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการขนส่ง
ราคาขายกากตะกอนจากระบบลานตาก	500 บาท/ ลบ.ม.	ขายให้กับบริษัทผู้รับซื้อ

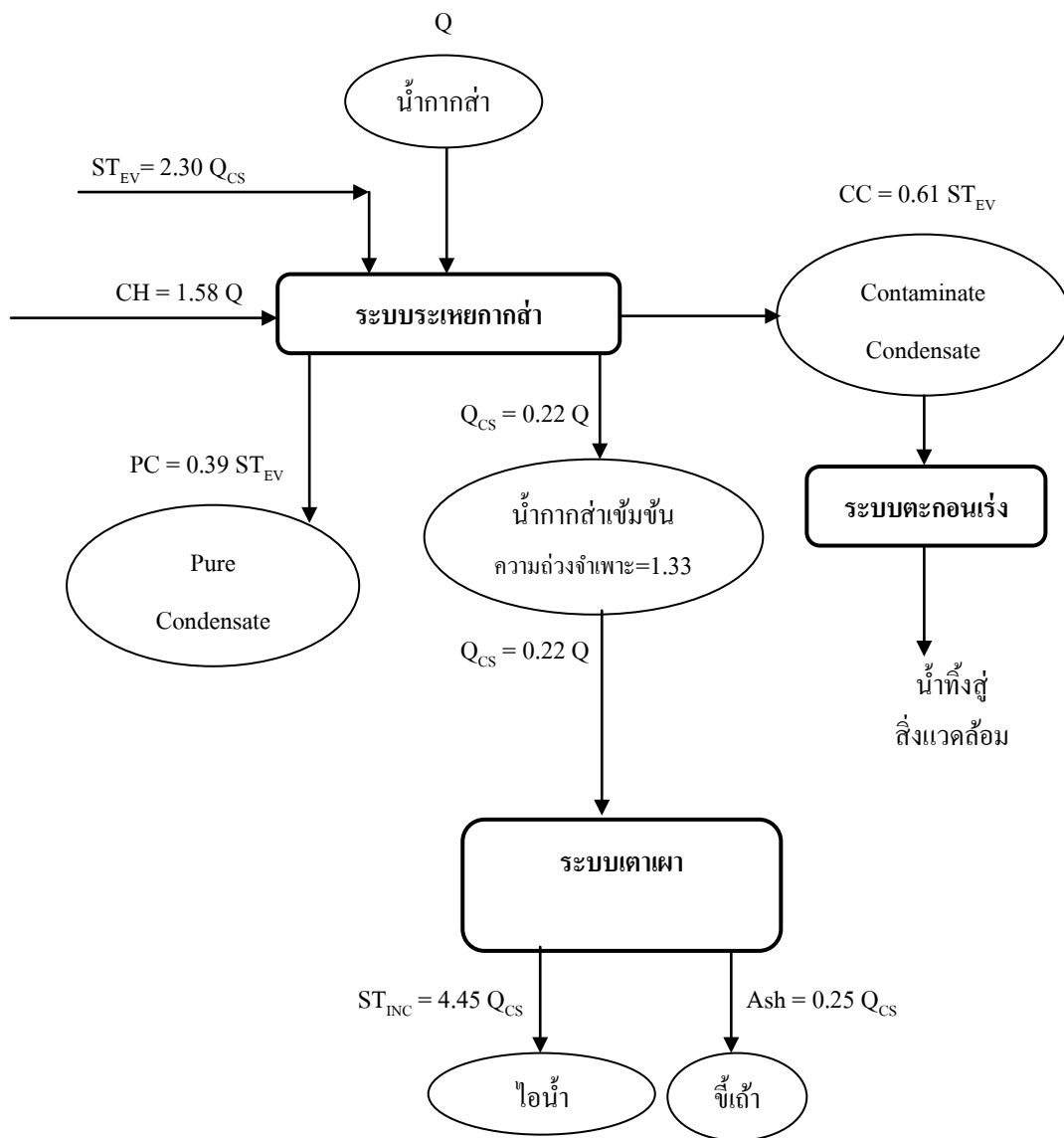
หมายเหตุ\* ข้อมูลจากโรงงาน A

#### 4.2.2 โรงงาน B : ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)

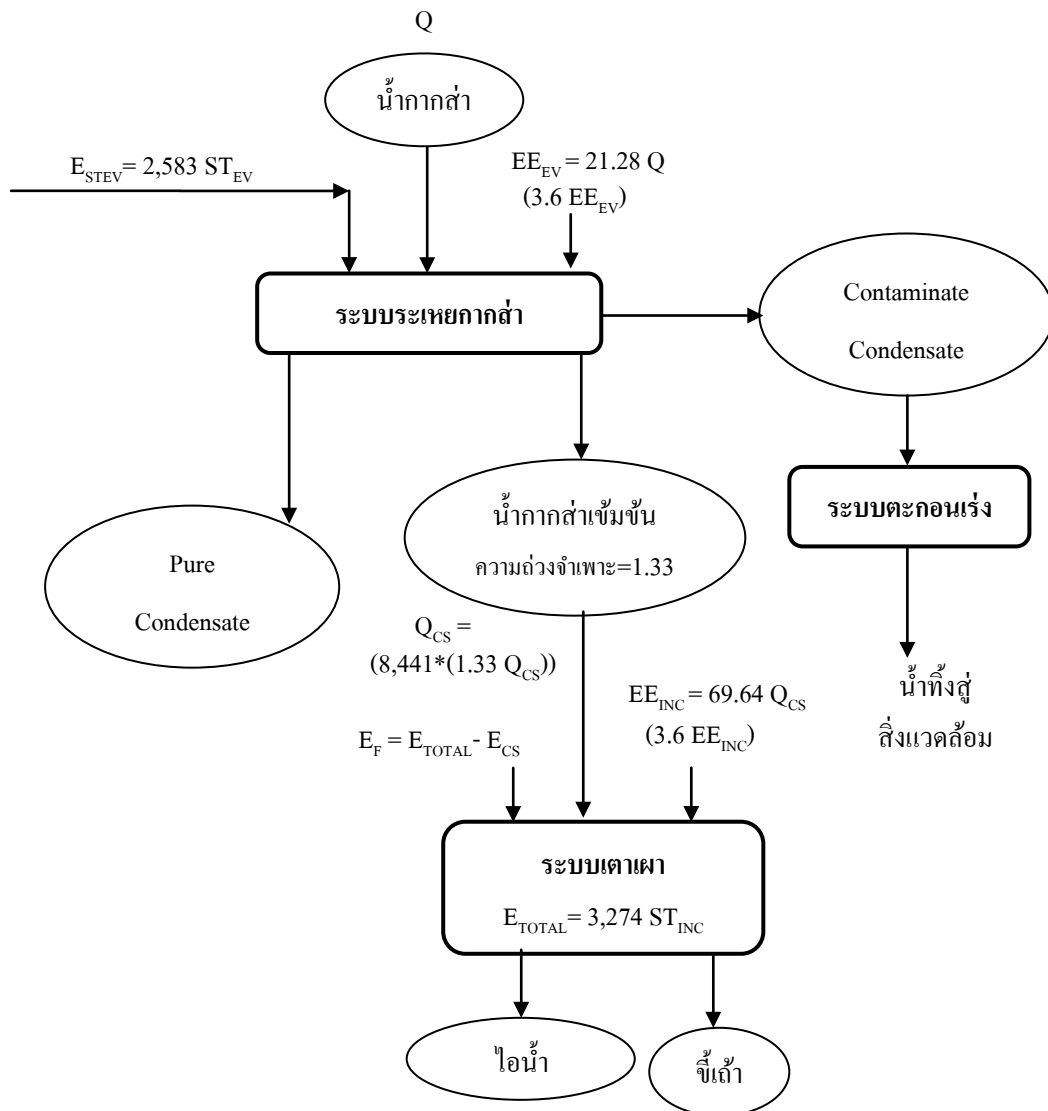
##### 4.2.2.1 การใช้วัสดุและพลังงานของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B

อ้างอิงจากข้อมูลการดำเนินงานของระบบระเหยของโรงงาน B และการใช้พลังงานความร้อนของโรงงาน B โดยศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) เฉลี่ยราย 12 เดือน โดยมีรายงานค่าสถิติ ได้แก่ ค่าสูงสุด-ต่ำสุด(Max-Min), ค่าเฉลี่ย(Mean), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน(C.V) ของข้อมูลสรุปผลการดำเนินงานดังกล่าวในภาคผนวก ข โดยสามารถแสดงปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานได้ดังรูปที่ 4-10 และรูปที่ 4-11 โดยสมการความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่าของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B ดังแสดงในตารางที่ 4-8 ตามลำดับ

ทั้งนี้เนื่องจากระบบผลิตไอน้ำของโรงงาน B มีเครื่องกำเนิดไอน้ำ 2 ส่วนคือ ระบบหม้อไอน้ำ ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงชนิดเดียว และระบบเตาเผา ใช้น้ำกากส่าเข้มข้นเป็นเชื้อเพลิงหลักและน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสนับสนุน การนำไอน้ำไปใช้งานในกระบวนการผลิตของโรงงาน B แบ่งเป็น ระบบเตาเผาป้อนไอน้ำเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นหลัก และระบบหม้อไอน้ำป้อนไอน้ำเข้าสู่ระบบระเหยกากส่าเป็นหลัก



รูปที่ 4-10 ปริมาณการใช้วัสดุที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B



รูปที่ 4-11 ปริมาณการใช้พลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกลั่น (Q) ของระบบบำบัดน้ำกลั่นของโรงงาน B

ตารางที่ 4-8 คำอธิบายตัวแปรและสมการแสดงปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์  
กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B

ตัวแปร	ความสัมพันธ์	หน่วย	คำอธิบาย
ระบบระเหยกากส่า			
Q	Q	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลั่น
Q <sub>CS</sub>	0.22 Q	m <sup>3</sup> (Q <sub>CS</sub> )	ปริมาณน้ำกากส่าเข้มข้น
ST <sub>EV</sub>	2.30 Q <sub>CS</sub>	ton ST	ปริมาณไอน้ำจากหม้อไอน้ำส่งเข้าระบบระเหยกากส่า
E <sub>STEV</sub>	2,583 ST <sub>EV</sub>	MJ	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำส่งเข้าสู่ระบบระเหยกากส่า
PC	0.39 ST <sub>EV</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่ไม่ปนเปื้อนน้ำกากส่า
CC	0.61 ST <sub>EV</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า
CH	1.58 Q	Litre	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ระบบระเหยกากส่า
EE <sub>EV</sub>	21.28 Q	kWh	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบระเหยกากส่า
E <sub>EEV</sub>	3.6 EE <sub>EV</sub>	MJ	พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบระเหยกากส่า
ระบบเตาเผา			
Q <sub>CS</sub>	0.22 Q	m <sup>3</sup> (Q <sub>CS</sub> )	ปริมาณน้ำกากส่าเข้มข้น
E <sub>CS</sub>	8,441*(1.33 Q <sub>CS</sub> )	MJ	พลังงานความร้อนจากน้ำกากส่าเข้มข้นที่ใช้ในระบบเตาเผา
ST <sub>INC</sub>	4.45 Q <sub>CS</sub>	ton ST	ปริมาณไอน้ำทั้งหมดที่ผลิตได้จากระบบเตาเผา
Ash	0.25 Q <sub>CS</sub>	Ton	ปริมาณขี้เถ้าจากการเผาไหม้ในระบบเตาเผา
E <sub>TOTAL</sub>	3,274 ST <sub>INC</sub>	MJ	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำในระบบเตาเผา
E <sub>F</sub>	E <sub>TOTAL</sub> - E <sub>CS</sub>	MJ	พลังงานความร้อนจากน้ำมันเตาที่ใช้ในระบบเตาเผา
EE <sub>INC</sub>	69.64 Q <sub>CS</sub>	kWh	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเตาเผา
	3.6 EE <sub>INC</sub>	MJ	พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบเตาเผา
ประสิทธิภาพการผลิตน้ำกากส่าเข้มข้น = % Total Solids = 60.84% , Density = 1,335 กิโลกรัม/ลบ.ม. (ความถ่วงจำเพาะ =1.33)			

### พิจารณาผลพลอยได้จากกำบับัด:

#### 1) น้ำ คอนเดนเสทของระบบ : แบ่งเป็น

- Pure Condensate น้ำคอนเดนเสทจากหระเหยกากสำซุดที่ 1 แบบ Falling Film (Effect1) อุณหภูมิประมาณ 90 °C ไม่มีการปนเปื้อนของน้ำกากสำ สามารถนำ กลับไปใช้เป็นน้ำป้อนในหม้อไอน้ำได้
- Contaminate Condensate น้ำคอนเดนเสทจากหระเหยกากสำซุดที่ 2,3 และ 4 แบบ Falling Film และหระเหยกากสำซุดที่ 5 แบบ Forced Circulation อุณหภูมิ ประมาณ 70°C มีการปนเปื้อนน้ำกากสำจึงไม่สามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการ ได้ส่งผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและนำไปกำบับัดที่บ่อน้ำเสียรวม (ระบบ ตะกอนเร่ง) เพื่อกำบับัดและปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้

#### 2) ขี้เถ้าจากการเผาไหม้ มีปริมาณโพแทสเซียมอยู่มาก มีบริษัทผู้รับซื้อนำไปใช้ ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปุ๋ยได้

#### 3) น้ำกากสำเข้มข้น (Concentrate Slops):

เมื่อตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำกากสำเข้มข้น โดยการเก็บตัวอย่างจากน้ำกากสำเข้มข้นที่ได้จากหระเหยกากสำซุดที่ 5 ดังแสดงในตารางที่ 4-9 พบว่า มีปริมาณอินทรีย์สาร (COD) สูงมาก ไม่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด ทั้งนี้เนื่องจากการกำบับัดด้วยระบบระเหยกากสำนี้ ถือเป็น การระเหยเพื่อทำให้น้ำกากสำมีความเข้มข้นเพียงต่อการเผาไหม้ โดยคุณภาพของน้ำกากสำเข้มข้นที่ โรงงาน B สนใจคือ ความเข้มข้นเพียงพอต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ได้ โดยสังเกตจากค่า % Total Solids และค่าความหนาแน่น (Density) ของน้ำกากสำเป็นหลัก ซึ่งระบบสามารถระเหยน้ำกากสำ ที่ออกจากกระบวนการกลั่น (Dilute Slops) ที่มีความเข้มข้นเฉลี่ย 17.02 % Total Solids ความ หนาแน่น 1,075 kg/m<sup>3</sup> จนกระทั่งได้น้ำกากสำเข้มข้น (Concentrate Slops) ความเข้มข้นเฉลี่ย 60.84 % Total Solids และความหนาแน่น 1,335 kg/m<sup>3</sup>

ปัจจุบัน โรงงาน B สามารถนำน้ำกากสำเข้มข้นส่งต่อไปยังระบบเตาเผา (Incinerator) เพื่อใช้ เป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับการผลิตไอน้ำส่งกลับเข้าสู่กระบวนการได้ทั้งหมด 100% โดยมีถังพัก น้ำกากสำเข้มข้น (Concentrated Slops Tank) สำหรับรองรับปริมาณน้ำกากสำเข้มข้นจากระบบ ระเหยกากสำที่มากขึ้นกว่าอัตราการทำงานของระบบเตาเผา จึงถือว่าสามารถส่งต่อไปใช้ในระบบ เตาเผาทั้งหมด 100% โดยไม่มีน้ำเสียกากสำปล่อยออกสู่ภายนอกโรงงาน



ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ ปริมาณเขม่าควันและสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของเตาเผาที่มีการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำกากส่าเข้มข้น และการใช้น้ำมันเตาในหม้อไอน้ำจึงนำรายงานผลการตรวจวัดดังกล่าว แสดงในตารางที่ 4-10 โดยถือว่าคุณภาพอากาศจากปล่องของหม้อไอน้ำยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 4-9 องค์ประกอบของน้ำกากส่าเข้มข้นของโรงงาน B

รายการทดสอบ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐาน	น้ำกากส่าเข้มข้น* ของโรงงาน B	
<b>เกณฑ์คุณลักษณะน้ำทิ้ง<sup>(1)</sup></b>				
ค่าความหนาแน่น	-	-	1.32	-
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH	5.5-9.0	4.60	X
ของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved solids ,TDS)	mg/L	<5,000	727,950	X
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids , SS)	mg/L	<150	44,000	X
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand ,COD)	mg/L	<400	1,101,875	X
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand ,BOD)	mg/L	<60	812,500	X

หมายเหตุ\* (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

(2) กำหนด (✓) = ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน, (X) = ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน, (-) = ไม่มีเกณฑ์กำหนด

ตารางที่ 4-10 การตรวจสอบปริมาณสารเจือปนและเขม่าควันในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของระบบเตาเผา

ดัชนีที่ตรวจวัด	หน่วย	ระบบเตาเผา		หมายเหตุ
		เกณฑ์มาตรฐาน	ผลการตรวจวัด	
<b>เกณฑ์สารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน<sup>(1)</sup></b>				
Total Suspended Particulate (TSP)	mg/m <sup>3</sup>	≤ 320	52.43	✓
Sulfur dioxide (SO <sub>2</sub> )	ppm	≤ 60	51.48	✓
Nitrogen dioxide (NO <sub>x</sub> )	ppm	≤ 200	10.38	✓
Carbon monoxide (CO)	ppm	≤ 690	194.98	✓
<b>เกณฑ์เขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อไอน้ำของโรงงาน<sup>(2)</sup></b>				
ค่าความทึบแสงของเขม่าควัน : %	%	≤ 10	-	✓

หมายเหตุ\* (1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549

(2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อไอน้ำของโรงงาน พ.ศ. 2549

(3) กำหนด (✓) = ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน, (X) = ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

#### 4.2.2.2 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาสำหรับระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B แสดงในตารางที่ 4- 11

ตารางที่ 4-11 ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาสำหรับระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบโรงงาน B

รายการ	ข้อมูล	หมายเหตุ
มูลค่าเทคโนโลยี	400,000,000 บาท	รวมสิ่งปลูกสร้าง, ค่า Know how และเครื่องมืออุปกรณ์
พื้นที่ใช้งานระบบ	5 ไร่	(1 ไร่ เท่ากับ 400 ตรว.)
ราคาที่ดิน	30,000 บาทต่อตรว.	
ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost)		
บุคลากรดูแลระบบ	4,363,000 บาท/ปี	15 คน (3 กะ ๆ ละ 5 คน)
ค่าซ่อมบำรุงระบบ		
-ระบบประเหยกากส่า	1,800,000 บาท	การบำรุงรักษาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในระบบ
-ระบบเตาเผา	10,000,000 บาท	ถุงกรอง (Bag Filter) กักเก็บฝุ่นละอองจากการเผาไหม้
ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost)		
ราคาสารเคมี (โซดาไฟ)	7.54 บาท/ลิตร	
ราคาน้ำประปา	20 บาท/m <sup>3</sup>	(กรณีน้ำคอนเดนเสทไม่ปนเปื้อนน้ำกากส่า ป้อนเข้าระบบหม้อไอน้ำ)
ราคาขาย ขี้เถ้าจากการเผาไหม้	1,500 บาท/ ลบ.ม.	ขายให้กับบริษัทผู้รับซื้อ

หมายเหตุ\* ข้อมูลจากโรงงาน B

#### 4.2.3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ ผลพลอยได้ของระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน

ผลการเปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงานของระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม และระบบประเหยแบบ TVR โดยใช้โรงงาน A และ B เป็นกรณีศึกษาตามลำดับ โดยแหล่งที่มาของข้อมูล ได้จากการศึกษาข้อมูลการดำเนินงานของระบบ และจากการสัมภาษณ์บุคลากรผู้ดูแลระบบของแต่ละโรงงาน

ตารางที่ 4-12 เปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงานระบบ พบว่า โรงงาน A เป็นการบำบัดเพื่อให้ น้ำกากส่ามีความเข้มข้นของอินทรีย์สารลดลง ต้องควบคุมสถานะการทำงานของระบบ เช่น อุณหภูมิ, ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ปริมาณน้ำกากส่าที่เข้าบ่อบำบัด ให้เหมาะสมกับการทำงานของ จุลินทรีย์(เชื้อหมัก) และฤดูกาลมีผลต่อการวางแผนการผลิตและบำบัดน้ำกากส่า

ในขณะที่โรงงาน B เป็นการทำให้น้ำกากส่ามีความเข้มข้นของอินทรีย์สารมากขึ้นเพื่อให้ น้ำกากส่ามีความเข้มข้นเพียงพอต่อการเผาไหม้ ควบคุมการทำงานของระบบ จากคุณภาพของน้ำกากส่าเข้มข้นสำหรับการเผาไหม้ในระบบเตาเผา ถูกลดลงไม่มีผลต่อการทำงานของระบบ

ตารางที่ 4-13 เปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า โรงงาน A ยังคงมีน้ำหลังผ่านการบำบัดที่ไม่สามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ ปัจจุบันนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดินให้เกษตรกร และบางส่วนกักเก็บไว้ในบ่อภายในโรงงานซึ่งต้องมีแผนฉุกเฉินกรณีบ่อชำรุดเสียหาย ส่วนการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพในหม้อไอน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วน โรงงาน B น้ำคอนเดนเสทที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งผ่านการบำบัดจนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ แต่การเผาไหม้น้ำกากส่าเข้มข้นในระบบเตาเผา ก่อให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาก ต้องมีระบบดักกรองเถ้าลอยที่มีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันผลกระทบต่อชุมชน

ตารางที่ 4-14 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการบำบัด พบว่า โรงงาน A มี ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ สามารถจุดติดไฟได้ทันที นำไปใช้ทดแทนน้ำมันเตาในระบบหม้อไอน้ำของโรงงานได้ น้ำหลังบำบัดใช้เป็นสารปรับปรุงดินให้กับเกษตรกรได้ แต่ต้องจำกัดปริมาณการใช้งานต่อพื้นที่ ส่วน โรงงาน B วัตถุประสงค์หลัก คือการเผากำจัดน้ำกากส่าเข้มข้น โดยใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสนับสนุนการเผาไหม้ ผลพลอยได้เป็นไอน้ำจากระบบเตาเผาส่งกลับเข้าสู่กระบวนการผลิต และน้ำคอนเดนเสทที่ไม่ปนเปื้อนน้ำกากส่า นำกลับไปใช้ประโยชน์ในระบบหม้อไอน้ำ ทั้งนี้ กากของเสียจากทั้ง 2 ระบบ ได้แก่ กากตะกอนจากบ่อปิดผสมของระบบหมัก และมีขี้เถ้าจากการเผาไหม้ของระบบระเหย มีบริษัทผู้รับซื้อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้

ตารางที่ 4-12 ผลการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B;

## ด้านข้อมูลการดำเนินงานระบบ

รายการ	โรงงาน A	โรงงาน B
1.) การป้อนน้ำกากส่าเข้าสู่ระบบ	ต้องปรับสภาพน้ำกากส่าให้มีอุณหภูมิประมาณ 40°C เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการทำงานของจุลินทรีย์และแบคทีเรีย	ต้องปรับสภาพน้ำกากส่าให้มีอุณหภูมิประมาณ 80 °C ก่อนนำเข้าสู่ถังพักน้ำกากส่าเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนภายในถังพักน้ำกากส่า
2.) การเริ่มดำเนินระบบ	ใช้เวลาในการเลี้ยงเชื้อหมักสำหรับการหมักก๊าซชีวภาพนาน (ประมาณ 3 เดือน)	ไม่ต้องใช้เวลาเริ่มดำเนินระบบ
3.) หลักการทำงาน	การหมักโดยใช้จุลินทรีย์และแบคทีเรียเพื่อทำให้น้ำกากส่ามีปริมาณความเข้มข้นของอินทรีย์สารลดลง โดยมีผลพลอยได้จากหมักเป็นก๊าซชีวภาพ	การระเหยเพื่อทำให้น้ำกากส่ามีคุณสมบัติเพียงพอต่อเผ่ากำจัดได้ (ทำให้น้ำกากส่ามีปริมาณความเข้มข้นของอินทรีย์สารมากขึ้น)
4.) การดำเนินงานของระบบ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำเข้าไปในแต่ละบ่อ</li> <li>- ไม่มีการใช้พลังงานความร้อน</li> <li>- ไม่มีการใช้สารเคมี</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบระเหยกากส่าและเตาเผา</li> <li>- ใช้ไอน้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อน</li> <li>- ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสนับสนุนการเผ่ากำจัดน้ำกากส่าเข้มข้น</li> <li>- ใช้สารเคมี คือ โซดาไฟ ในการทำความสะอาดระบบ</li> </ul>
	ฤดูกาลมีผลต่อการวางแผนการผลิตและบำบัดน้ำกากส่า เนื่องจากต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำกากส่าที่เข้าระบบบำบัดน้ำกากส่าและระดับการกักเก็บน้ำภายในบ่อหลังบำบัดและระบบลานตาก และการขนส่งน้ำกากส่าให้กับเกษตรกร	การวางแผนการดำเนินระบบขึ้นกับปริมาณการผลิตเป็นสำคัญและฤดูกาลไม่มีผลต่อระบบ
	การดูแลระบบ ต้องควบคุมสภาวะของระบบให้เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น อุณหภูมิของน้ำกากส่าที่เข้าระบบ, การรักษาสภาพความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น	การดูแลระบบ ต้องใช้โซดาไฟในการทำความสะอาดภายในระบบระเหยและระบบเตาเผาเพื่อป้องกันการเกิดตะกอน และรักษาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนและป้องกันการอุดตันภายในชุดอุปกรณ์
	ต้องป้อนน้ำกากส่าเข้าสู่ระบบอย่างสม่ำเสมอเพื่อคงสภาพการทำงานของเชื้อหมักในการย่อยสลายสารอินทรีย์และผลิตก๊าซชีวภาพ	

ตารางที่ 4-12 (ต่อ) ผลการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B;  
ด้านข้อมูลการดำเนินงานระบบ

รายการ	โรงงาน A	โรงงาน B
4.) การดำเนินงานของระบบ	กรณีการหยุดป้อนน้ำกากส่าเข้าระบบ ติดต่อกันนานเกิน 10 วัน จะต้องเริ่มดำเนินระบบใหม่ (Start-up)	
5.) สิ่งที่ได้จากระบบบำบัดน้ำกากส่า	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ก๊าซชีวภาพ</li> <li>- น้ำหลังการบำบัด</li> <li>- กากตะกอนในลานตาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใส่น้ำส่งกลับเข้าสู่กระบวนการผลิต</li> <li>- น้ำคอนเดนเสทส่งกลับระบบหม้อไอน้ำ</li> <li>- ژی่จากการเผาไหม้</li> <li>- น้ำทิ้งปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม</li> </ul>
6.) เชื้อเพลิงทดแทนที่ได้	ก๊าซชีวภาพ <ul style="list-style-type: none"> <li>- จุดติดไฟได้เอง</li> <li>- เผาไหม้ในหม้อไอน้ำได้</li> </ul>	น้ำกากส่าเข้มข้น <ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่สามารถจุดติดไฟได้เอง</li> <li>- ต้องใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสนับสนุน</li> <li>- เผาไหม้ในระบบเตาเผา</li> </ul>
	กรณีก๊าซชีวภาพที่หมัก มีคุณสมบัติหรือองค์ประกอบที่ไม่เหมาะสม ต้องกำจัดทิ้งเลย ไม่สามารถนำกลับมาหมักเพื่อให้ได้คุณภาพตามต้องการได้	กรณีน้ำกากส่าเข้มข้นมี % Total Solids ไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ สามารถส่งกลับเข้าสู่กระบวนการระเหยใหม่ เพื่อทำให้มีคุณภาพตามต้องการได้
	การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน สามารถใช้ได้เพียง 55-60 % ของการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด	การนำน้ำกากส่าเข้มข้นไปใช้ประโยชน์สามารถนำไปใช้ได้ทั้งหมด 100% โดยไม่มีน้ำออกไปใช้ที่ระบบอื่นๆ

ตารางที่ 4-13 ผลการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B ;  
ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

รายการ	โรงงาน A	โรงงาน B
1.) มลพิษทางน้ำ	น้ำกากส่าที่ออกจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ (น้ำหลังบำบัด) ยังคงมีปริมาณอินทรีย์สารสูง ไม่สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรงได้ โดยยังไม่มีระบบการบำบัดต่อเนื่อง เพียงแต่กักเก็บอยู่ในบ่อกักเก็บน้ำกากส่าหลังบำบัด รวมถึงกักเก็บในระบบลานตาก	มีการบริหารจัดการน้ำกากส่าและน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าโดยใช้ถังพักน้ำกากส่า (Dilute Slops) และน้ำกากส่าเข้มข้น (Concentrated Slops) สำหรับ รวมถึงสามารถบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่าโดยระบบตะกอนเร่ง ให้สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้
	ข้อกำหนดตามกฎหมาย : เกณฑ์คุณลักษณะน้ำทิ้ง	
	ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด แต่สามารถระบุวิธีการกำจัดของเสียหรือสิ่งปฏิกูลออกนอกโรงงานได้ โดยขึ้นทะเบียนเป็นสารปรับปรุงดิน	ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้
2.) มลพิษทางอากาศ	มีการติดตั้งเครื่องกำจัดความชื้น และระบบกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ เนื่องจากสิ่งปนเปื้อนต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H <sub>2</sub> S) , ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> ) และความชื้น มีผลต่อการเผาไหม้ภายในหม้อไอน้ำ	ชี้แจงจากการเผาไหม้ของน้ำกากส่าเข้มข้น ภายในระบบเตาเผา จะมีทั้ง ชี้อ่อน ชี้อ่อนเปียก และชี้อ่อน จะถูกรวบรวมไว้ในถังกอง เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายและฝุ่นชี้อ่อน โดยมีการเปลี่ยนถังกองทุกๆรอบอายุการใช้งาน
	ข้อกำหนดตามกฎหมาย :	
	ผลการตรวจสอบปริมาณเขม่าควันและสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่อง	ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด
3.) การจัดการของเสีย	กรณีการกักเก็บน้ำกากส่าภายในบ่อบำบัดน้ำกากส่าหลังการบำบัดและระบบลานตาก ต้องมีระบบการจัดการที่ดี ป้องกันน้ำกากส่าที่กักเก็บซึมผ่านผิวดิน และต้องจัดทำแผนฉุกเฉินกรณีบ่อชำรุดเสียหาย	- กรณีน้ำคอนเดนเสทที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า จะถูกส่งเข้าระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) สามารถบำบัดน้ำให้สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้
	กรณีการใช้งานเป็นสารปรับปรุงดิน ต้องควบคุมให้มีปริมาณการใช้งานได้เพียง 30 ลบ.ม.ต่อวันต่อไร่	- การกักเก็บชี้อ่อนจากการเผาไหม้ มีการกำหนดระยะเวลาการเปลี่ยนถังกองทุกๆรอบอายุการใช้งาน

ตารางที่ 4-14 ผลการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B ;

ด้านการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการบำบัด

รายการ	โรงงาน A	โรงงาน B
1.) ด้านพลังงานทดแทน	การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาในระบบหม้อไอน้ำสำหรับการผลิตไอน้ำส่งกลับเข้าสู่กระบวนการผลิต	การเผาไหม้น้ำกากส่าเข้มข้นในระบบเตาเผาผลิตไอน้ำส่งกลับเข้าสู่กระบวนการผลิต ทดแทนการผลิตไอน้ำจากระบบหม้อไอน้ำ
2.) ด้านเกษตรกรรม	น้ำหลังการบำบัด สามารถนำไปใช้ประโยชน์เชิงเกษตรกรรมได้ หากมีควบคุมปริมาณการใช้งาน <ul style="list-style-type: none"> <li>- นำไปผสมในอาหารสัตว์</li> <li>- การใช้แทนปุ๋ยหมัก</li> <li>- ราคถนนเพื่อป้องกันฝุ่น</li> </ul> ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงฤดูกาลด้วย เช่น ในฤดูแล้งสามารถใช้ประโยชน์น้ำกากส่าได้มากแต่ในฤดูฝนควรควบคุมปริมาณหรือยกเว้นการใช้งาน เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของน้ำกากส่าสู่แหล่งน้ำและผิวดิน	น้ำกากส่าเข้มข้นไม่เหมาะในการนำไปใช้ประโยชน์เชิงเกษตรกรรม เนื่องจากกระบวนการเป็นการทำให้น้ำกากส่ามีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น
3.) ด้านอุตสาหกรรม	น้ำหลังการบำบัด <ul style="list-style-type: none"> <li>- โรงไฟฟ้า รวบรวมน้ำเสียเพื่อหมักก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้า</li> </ul> กากตะกอนในลานตาก <ul style="list-style-type: none"> <li>- อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิต</li> </ul>	น้ำกากส่าเข้มข้น <ul style="list-style-type: none"> <li>- โรงไฟฟ้า รวบรวมน้ำเสียเพื่อหมักก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้า</li> <li>- อุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตผงชูรส</li> </ul> ชี้เต้าจากการเผาไหม้ <ul style="list-style-type: none"> <li>- อุตสาหกรรมปุ๋ย ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตปุ๋ย</li> <li>- อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์</li> </ul>

### 4.3 ผลการศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากข้อมูลการเปรียบเทียบแหล่งที่มาของน้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่าในหัวข้อที่ 4.1.3 พบว่า น้ำกากส่าที่ออกจากหอกลับของโรงงาน A และโรงงาน B มีค่าความแตกต่างด้านเกณฑ์เกณฑ์คุณลักษณะน้ำทิ้งร้อยละ 20 ถือว่า น้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่าทั้ง 2 โรงงานมีองค์ประกอบใกล้เคียงกัน ในการเปรียบเทียบการบำบัดทั้ง 3 ทางเลือก จึงไม่คำนึงถึงแหล่งที่มาของน้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า

สำหรับการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานจากการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าจากข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B ในภาคผนวก ก และภาคผนวก ข โดยสังเกตค่าสถิติของปริมาณน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลับ (Q) สรุปเป็นปริมาณน้ำกากส่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบทางเลือกได้ดังแสดงในตารางที่ 4-15

โรงงาน A มีปริมาณน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลับ ค่าสูงสุด 18,971 m<sup>3</sup>/เดือน ค่าต่ำสุดเท่ากับ 11,317 m<sup>3</sup>/เดือน และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15,014 m<sup>3</sup>/เดือน โดยมีค่าความแปรปรวนที่ 2,119 m<sup>3</sup> และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน 14%

โรงงาน B มีปริมาณน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลับ ค่าสูงสุด 27,210 m<sup>3</sup>/เดือน ค่าต่ำสุดเท่ากับ 7,845 m<sup>3</sup>/เดือน และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22,247 m<sup>3</sup>/เดือน โดยมีค่าความแปรปรวนที่ 4,512 m<sup>3</sup> และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน 20%

ดังนั้นในการพิจารณาเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่าทั้ง 3 ทางเลือก จะเลือกใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างตัวแทนของข้อมูลจากทั้ง 2 โรงงาน และนำข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และโรงงาน B จากหัวข้อ 4.2 ประกอบการพิจารณา โดยกำหนดข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพิจารณาทางเลือกดังแสดงในตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-15 ปริมาณน้ำกากส่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบทางเลือก

ค่าสถิติ	โรงงาน A (m <sup>3</sup> /เดือน)	โรงงาน B (m <sup>3</sup> /เดือน)	ปริมาณน้ำกากส่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบ
Max	18,971	27,210	18,000 m <sup>3</sup> /เดือน หรือ 216,000 m <sup>3</sup> /ปี
Min	11,317	7,845	
Mean	15,014	22,247	
S.D	2,119	4,512	
C.V. (%)	14	20	



ตารางที่ 4-16 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพิจารณาทางเลือก

ทรัพยากรพื้นฐาน	ค่าใช้จ่าย
ปริมาณน้ำกากส่าที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า	216,000 m <sup>3</sup> /ปี
ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost)	
ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร ( 3 คน ละ 15 คน)	2,700,000 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost)	
พลังงานไฟฟ้า	3.50 บาท/kWh
น้ำมันเตา	23.50 บาท/ลิตร
ราคาบำบัดของระบบตะกอนเร่ง	7 บาท/m <sup>3</sup>

#### 4.3.1 ทางเลือก A; ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง

เนื่องจากระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบันของโรงงาน A ยังคงเหลือน้ำกากส่าที่กักเก็บอยู่ในบ่อหลังบำบัดที่ไม่สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ นำไปแจกจ่ายให้กับเกษตรกร ซึ่งในกรณีที่ไม่สามารถขนส่งให้กับเกษตรกรได้ เช่น ฤดูฝน จะทำให้เป็นภาระรับผิดชอบของโรงงานและอาจกระทบต่อปริมาณการผลิตลดลง เพื่อป้องกันน้ำกากส่าที่มากเกินไปเกินความสามารถในการกักเก็บของโรงงาน วิธีนี้จึงถือเป็นทางเลือกการกำจัดของเสียสุดท้ายที่ไม่แน่นอนของโรงงาน ซึ่งเมื่อศึกษาวรรณกรรมวิจัยกรณีปรับปรุงระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A โดยการเพิ่มระบบบำบัดต่อเนื่องเพื่อให้สามารถบำบัดน้ำให้สามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ พบตัวอย่างการบำบัดดังแสดงในตารางที่ 4-17 และศึกษาความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน โดยอ้างอิงจากปริมาณน้ำกากส่าหลังบำบัดและคุณสมบัติน้ำเสียหลังบำบัด ในงานวิจัยนี้เลือกวิธี Coagulation and Flocculation เป็นระบบบำบัดต่อเนื่องของระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม โดยมีข้อมูลของระบบแสดงในตารางที่ 4-18 ตัวอย่างระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก A ดังแสดงในรูปที่ 4-12 และค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก A แสดงในตารางที่ 4-19

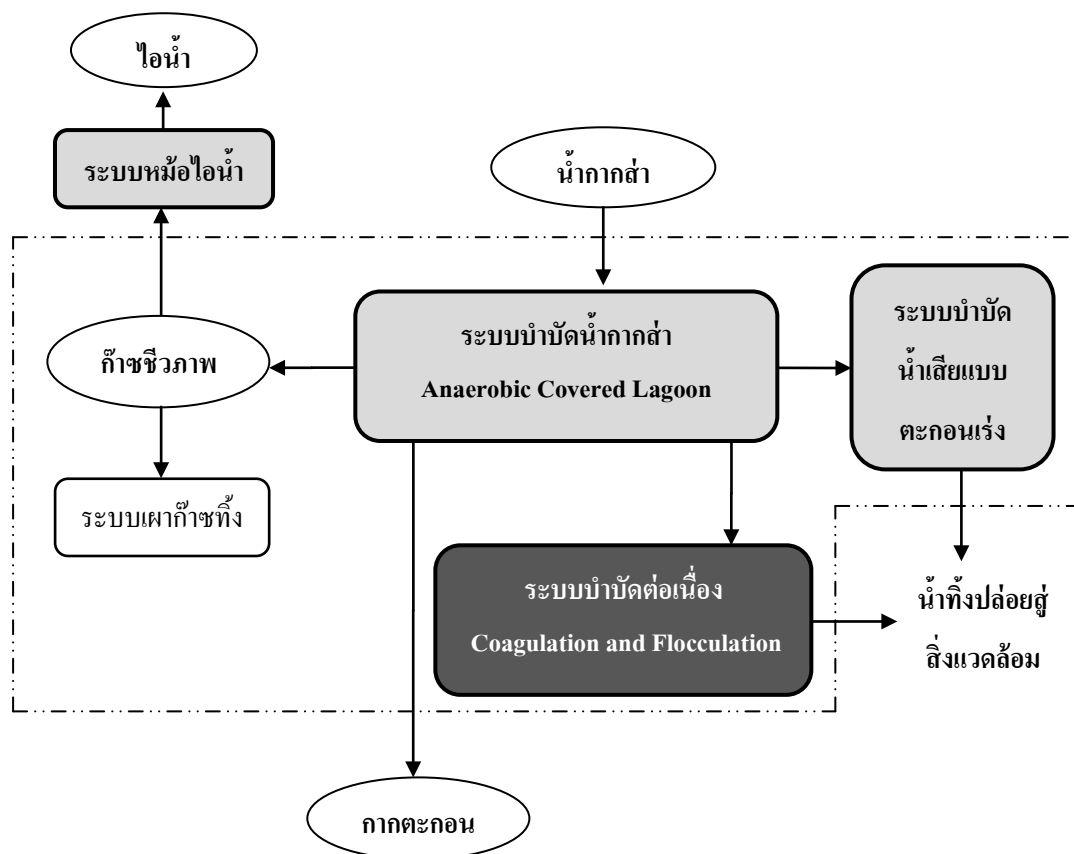
ตารางที่ 4-17 วิธีการบำบัดน้ำเสียหลังบำบัดของระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม

งานวิจัย	วิธีการจัดการน้ำกากส่า	ข้อดี / ลักษณะการบำบัด	ข้อจำกัด
สิวลี โปร่งทอง (2541)	ใช้สารเคมีตกตะกอนและบำบัดโดยการเติมอากาศและเชื้อจุลินทรีย์	กำจัดได้ทั้งความเข้มข้นและปริมาณ COD	ใช้สารเคมีในการตกตะกอน คือ $FeCl_3$
Mohana et al.(2009)	Biomethanation followed by Physicochemical and concluding with aerobic treatment	กำจัดได้ทั้งความเข้มข้นและปริมาณ COD	ต้องใช้สารเคมีและปริมาณน้ำในการเจือจางมาก ใช้พื้นที่ในการดำเนินงานมาก
Wen Zhang et al. (2009)	Biological-Flocculation	สามารถนำน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการ	ใช้สารเคมีในการตกตะกอน คือ Polyaspartic
Anshuman A. et al. (2009)	Waste Activated Sludge	นำไปเจือจาง 4 เท่า แล้วผ่านกระบวนการ Activated Sludge แล้วนำเอาตะกอนสลัดจ์ที่ได้ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพ (PHB)	ต้องใช้น้ำในการเจือจางมาก ใช้พื้นที่ในการกักเก็บน้ำมาก
Zhen Liang et al. (2009)	Coagulation/Flocculation	กำจัดได้ทั้งความเข้มข้นและปริมาณ COD	ใช้สารเคมีในการตกตะกอน คือ $FeCl_3$

ตารางที่ 4-18 ข้อมูลของระบบบำบัดต่อเนื่อง

เทคโนโลยี	Coagulation and Flocculation
มูลค่าเทคโนโลยี	20,000,000 บาท
พื้นที่ในการดำเนินงานระบบ	10 ไร่
พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย	40 kWh/m <sup>3</sup>
ค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่อหน่วย	2,360 บาท/m <sup>3</sup>
ค่า COD ของน้ำหลังการบำบัด	< 400 มก./ล.

ที่มา : บริษัท โกลบอล อาร์แอนด์ดี จำกัด



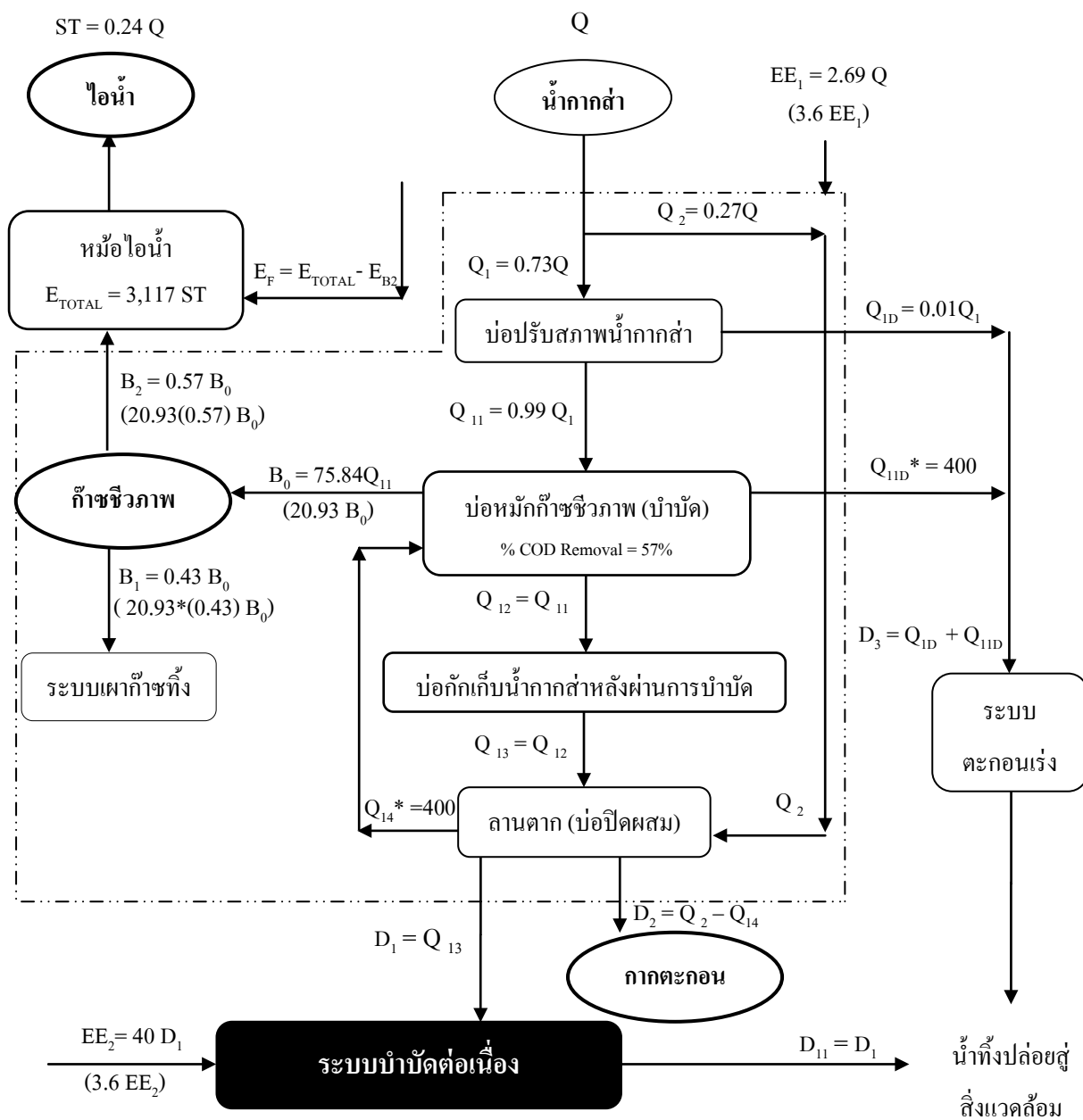
รูปที่ 4-12 ทางเลือก A; ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง

ตารางที่ 4-19 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก A

เทคโนโลยี	ทางเลือก A
	Anaerobic Covered Lagoon
Post Treatment	Coagulation and Flocculation
มูลค่าเทคโนโลยี (บาท)	170,000,000+20,000,000 = 190,000,000
พื้นที่ในการใช้งานของระบบ (ไร่)	70 + 10 = 80
ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost)	
ค่าซ่อมบำรุงระบบ (บาท/ปี)	
-ระบบหมัก	100,000 บาท
-ระบบส่งจ่ายก๊าซชีวภาพ	500,000 บาท
ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost)	
ค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่อหน่วย (บาท/m <sup>3</sup> )	2,360

4.3.1.1 การใช้วัสดุและพลังงานของระบบบำบัดน้ำกากส่าทางเลือก A

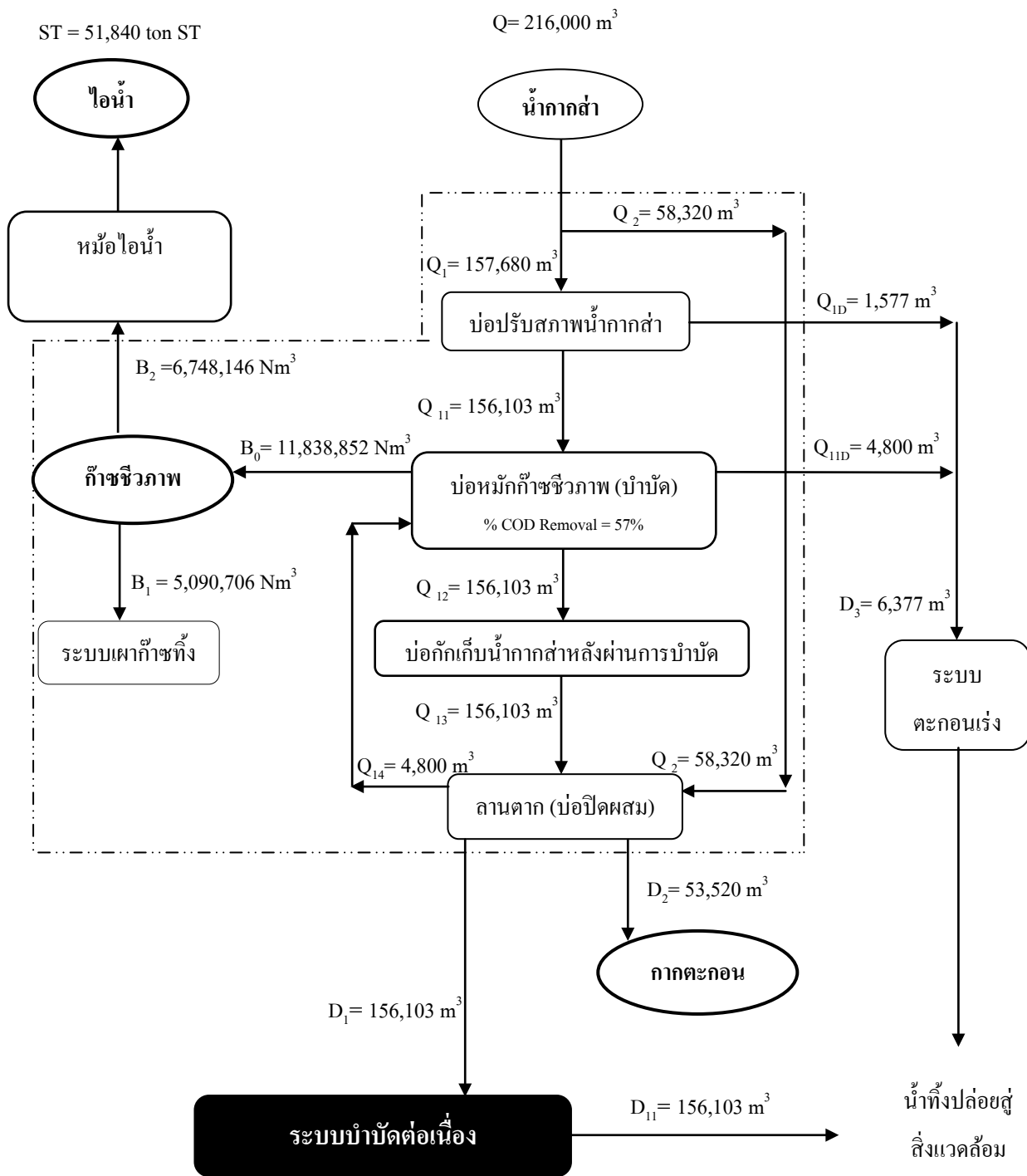
อ้างอิงจากปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานในรูปของสมการความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่าของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และข้อมูลของระบบบำบัดต่อเนื่อง สามารถแสดงตัวอย่างปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของทางเลือก A ได้ดังรูปที่ 4-13 และปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก A แสดงในรูปที่ 4-14 และรูปที่ 4-15 โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4-20 ตามลำดับ



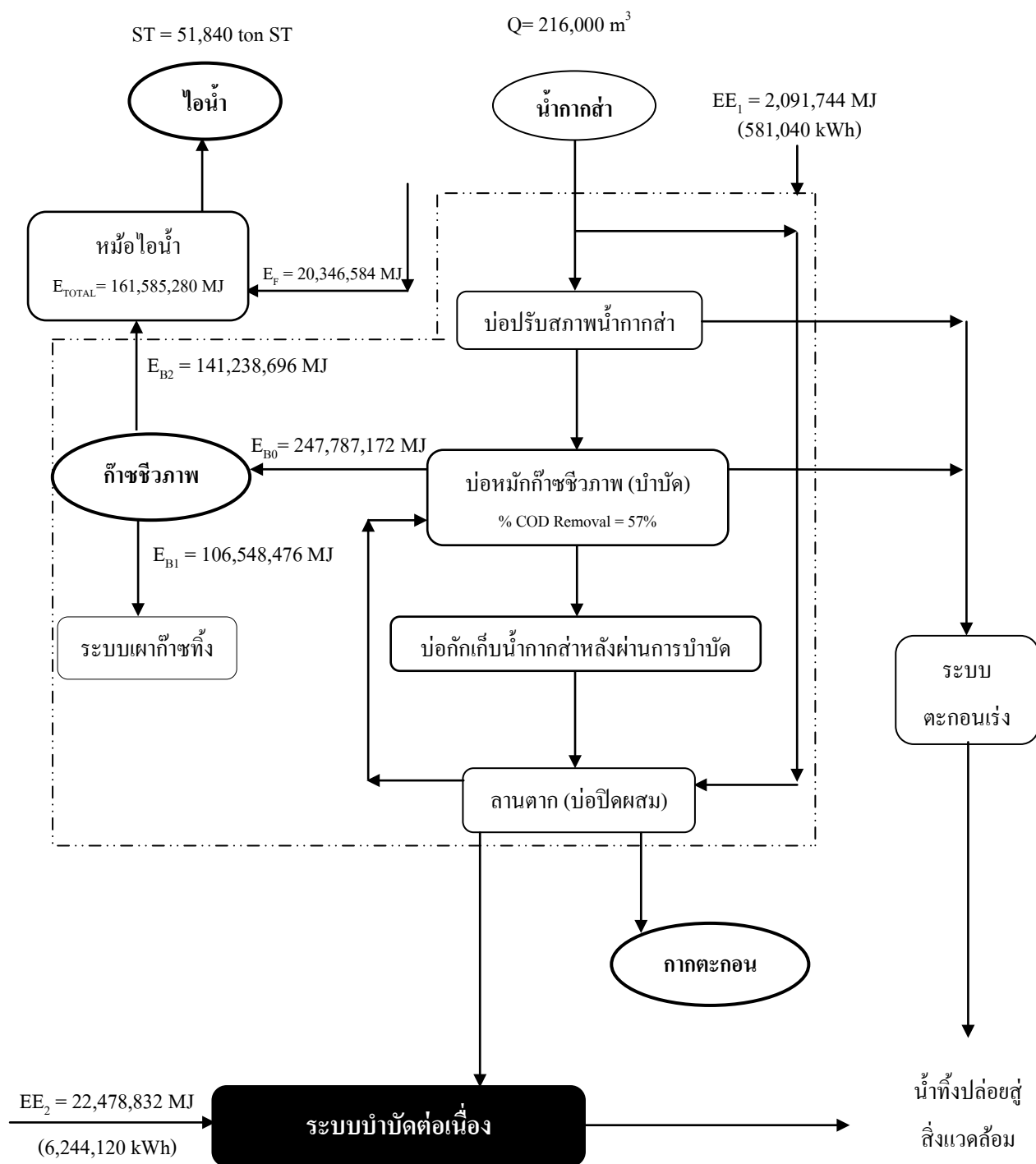
รูปที่ 4-13 ตัวอย่างปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของทางเลือก A

ตารางที่ 4-20 ปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานของทางเลือก A

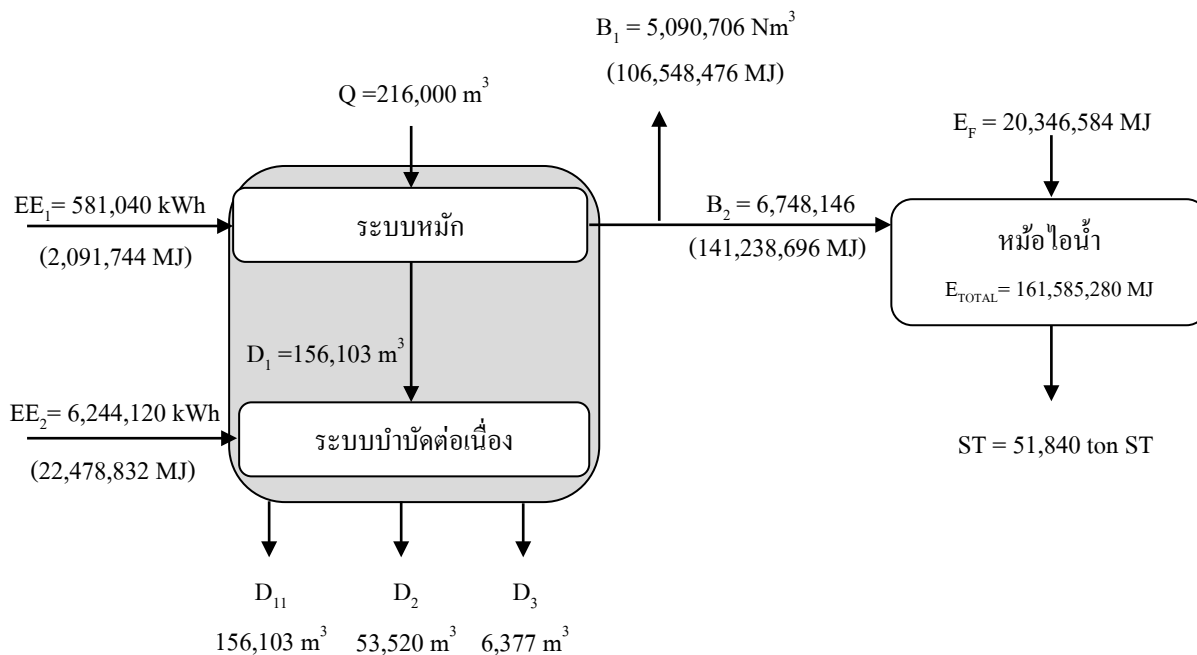
ฐานข้อมูลน้ำกากส่าที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า (Q) = 216,000 m <sup>3</sup> /ปี							
ตัวแปร	ความสัมพันธ์	ค่าที่ได้ จากการคำนวณ	หน่วย	ตัวแปร	ความสัมพันธ์	ค่าที่ได้ จากการคำนวณ	หน่วย
ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม (Anaerobic Covered Lagoon)				การใช้พลังงานความร้อนของโรงงาน A			
Q <sub>1</sub>	0.73Q	157,680	m <sup>3</sup>	ST	0.24 Q	51,840	ton ST
Q <sub>2</sub>	0.27Q	58,320	m <sup>3</sup>	E <sub>TOTAL</sub>	3,117 ST	161,585,280	MJ
Q <sub>11</sub>	0.99Q <sub>1</sub>	156,103	m <sup>3</sup>	B <sub>0</sub>	75.84 Q <sub>11</sub>	11,838,852	Nm <sup>3</sup>
Q <sub>1D</sub>	0.01Q <sub>1</sub>	1,577	m <sup>3</sup>		20.93(B <sub>0</sub> )	247,787,172	MJ
Q <sub>12</sub>	Q <sub>11</sub>	156,103	m <sup>3</sup>	B <sub>1</sub>	0.43 B <sub>0</sub>	5,090,706	Nm <sup>3</sup>
Q <sub>13</sub>	Q <sub>12</sub>	156,103	m <sup>3</sup>		20.93(0.43 B <sub>0</sub> )	106,548,476	MJ
Q <sub>14</sub>	400 x 12	4,800	m <sup>3</sup>	B <sub>2</sub>	0.57 B <sub>0</sub>	6,748,146	Nm <sup>3</sup>
Q <sub>11D</sub>	400 x 12	4,800	m <sup>3</sup>		20.93(0.57 B <sub>0</sub> )	141,238,696	MJ
D <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub> - Q <sub>14</sub>	53,520	m <sup>3</sup>	E <sub>F</sub>	E <sub>TOTAL</sub> - E <sub>B2</sub>	20,346,584	MJ
D <sub>3</sub>	Q <sub>1D</sub> + Q <sub>11D</sub>	6,377	m <sup>3</sup>	หมายเหตุ* (1) D <sub>1</sub> ปริมาณน้ำหลังบำบัดจากบ่อปิดผสมเข้าสู่ระบบบำบัดต่อเนื่อง (2) D <sub>11</sub> ปริมาณน้ำทิ้งหลังการบำบัดขั้นหลังที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (3) EE <sub>2</sub> พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดต่อเนื่อง (4) ไม่คิดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหม้อไอน้ำ			
EE <sub>1</sub>	2.69 Q	581,040	kWh				
	3.6 EE <sub>1</sub>	2,091,744	MJ				
ระบบบำบัดต่อเนื่อง (Coagulation and Flocculation)							
D <sub>1</sub> <sup>*(1)</sup>	Q <sub>13</sub>	156,103	m <sup>3</sup>				
D <sub>11</sub> <sup>*(2)</sup>	D <sub>1</sub>	156,103	m <sup>3</sup>				
EE <sub>2</sub> <sup>*(3)</sup>	40 D <sub>1</sub>	6,244,120	kWh				
	3.6 EE <sub>2</sub>	22,478,832	MJ				



รูปที่ 4-14 ปริมาณการใช้วัสดุต่อปีของทางเลือก A



รูปที่ 4-15 ปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของทางเลือก A



รูปที่ 4-16 สรุปปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก A

จากรูปที่ 4-16 สรุปปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก A ได้ดังนี้

น้ำกากส่าเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก A 216,000 m<sup>3</sup> มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำเข้าแต่ละบ่อเท่ากับ 581,040 kWh เมื่อผ่านเข้าสู่ระบบหมัก จะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 11,838,852 Nm<sup>3</sup> ส่งเข้าระบบเผาก๊าซทั้ง 5,090,706 Nm<sup>3</sup> สามารถนำส่งเข้าสู่ระบบหม้อไอน้ำได้ 6,748,146 Nm<sup>3</sup> ผลิตไอน้ำส่งกลับเข้าสู่กระบวนการได้ 51,840 ตันไอน้ำ ส่วนน้ำหลังบำบัดจากระบบหมักปริมาณ 156,103 m<sup>3</sup> จะถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดต่อเนื่อง ใช้พลังงานไฟฟ้า 6,444,120 kWh บำบัดน้ำจนสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ 156,103 m<sup>3</sup> น้ำที่ไหลล้นออกจากระบบหมักส่งเข้าระบบตะกอนเร่งบำบัดจนได้น้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 6,377 m<sup>3</sup> และกากตะกอนก้นบ่อหลังบำบัดประมาณ 53,530 ตัน

โดยสรุปผลพลอยได้จากการบำบัดของการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก A ได้ดังนี้

1. ก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในระบบหม้อไอน้ำ;  $B_2 = 6,748,146 \text{ Nm}^3$   
คิดเป็นพลังงานความร้อน;  $E_{B2} = 141,238,696 \text{ MJ}$   
เทียบเท่าน้ำมันเตา;  $= 141,238,696 \text{ MJ} / 39.77 \text{ MJ/Litre}$   
 $= 3,551,388 \text{ Litre}$
2. กากตะกอนจากบ่อปิดผสม;  $D_2 = 53,520 \text{ m}^3$



#### 4.3.1.2 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก A

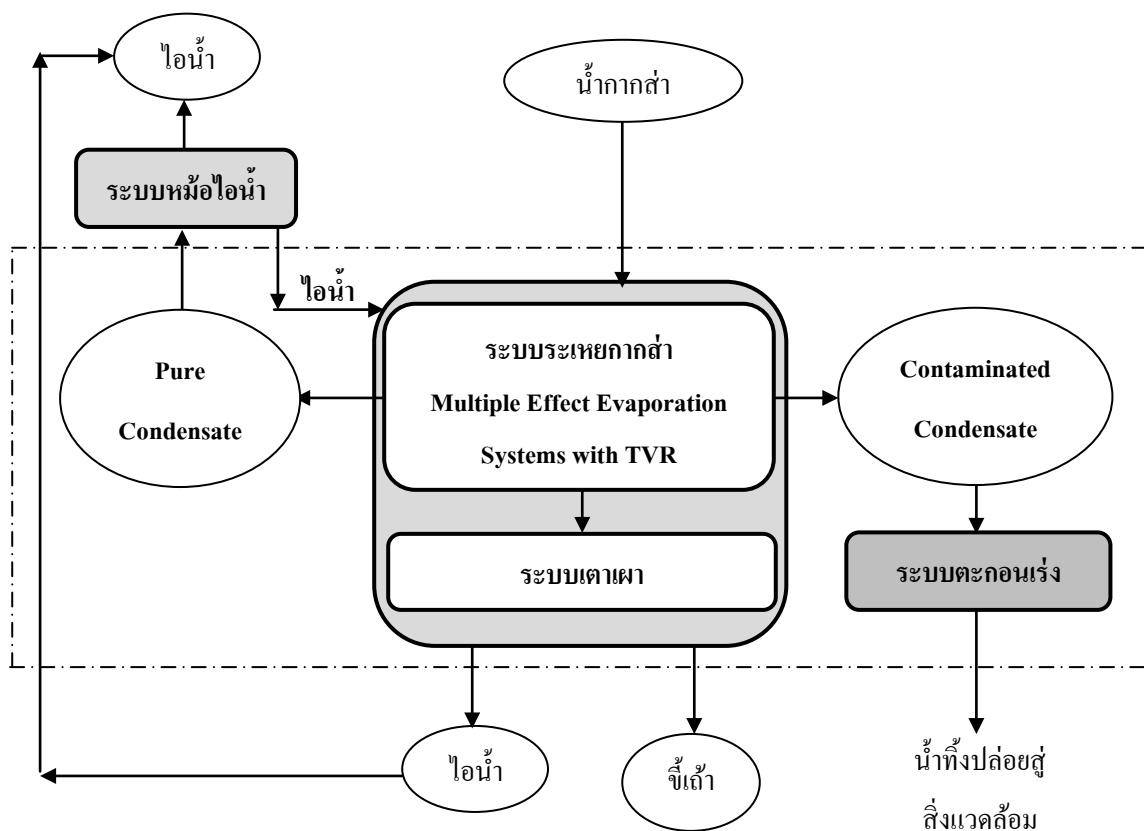
จากข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก A และข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก A แสดงข้อมูลการดำเนินงานดังแสดงในตารางที่ 4-21

ตารางที่ 4-21 ข้อมูลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก A

รายการ	ปริมาณ	หน่วยต่อปี	ราคาต่อหน่วย	บาทต่อปี
ปริมาณน้ำกากส่า (Q)	216,000	m <sup>3</sup>		-
1. มูลค่าเทคโนโลยี				190,000,000
1.1 เทคโนโลยี	Anaerobic Covered Lagoon			170,000,000
1.2 ระบบบำบัดขั้นหลัง	Coagulation and Flocculation			20,000,000
2. ค่าใช้จ่ายในการบำบัด				371,747,719
2.1 ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร				2,700,000
2.2 ปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัดต่อเนื่อง (D <sub>1</sub> )	156,103	m <sup>3</sup>	2,360	368,403,080
2.3 ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบตะกอนเร่ง (D <sub>3</sub> )	6,377	m <sup>3</sup>	7	44,639
2.4 ค่าซ่อมบำรุงระบบ				600,000
3. ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน				23,888,060
3.1 พลังงานไฟฟ้า; EE <sub>1</sub>	581,040	kWh	3.50	2,033,640
3.2 พลังงานไฟฟ้า; EE <sub>2</sub>	6,244,120	kWh	3.50	21,854,420
4. มูลค่าผลประโยชน์ที่ได้รับ				112,417,607
4.1 ปริมาณน้ำมันเตาที่ทดแทนได้	3,551,388	Litre	23.50	83,457,607
4.2 ปริมาณกากตะกอน (D <sub>2</sub> )	53,520	m <sup>3</sup>	500	28,960,000

#### 4.3.2 ทางเลือก B1; ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)

เนื่องจากระบบระเหยกากส่าของโรงงาน B เป็นระบบที่ให้ผลการบำบัดสมบูรณ์ 100% จึงนำมาใช้เป็นทางเลือก B1 โดยมีตัวอย่างระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B1 ดังแสดงในรูปที่ 4-17 และค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B แสดงในตารางที่ 4-22



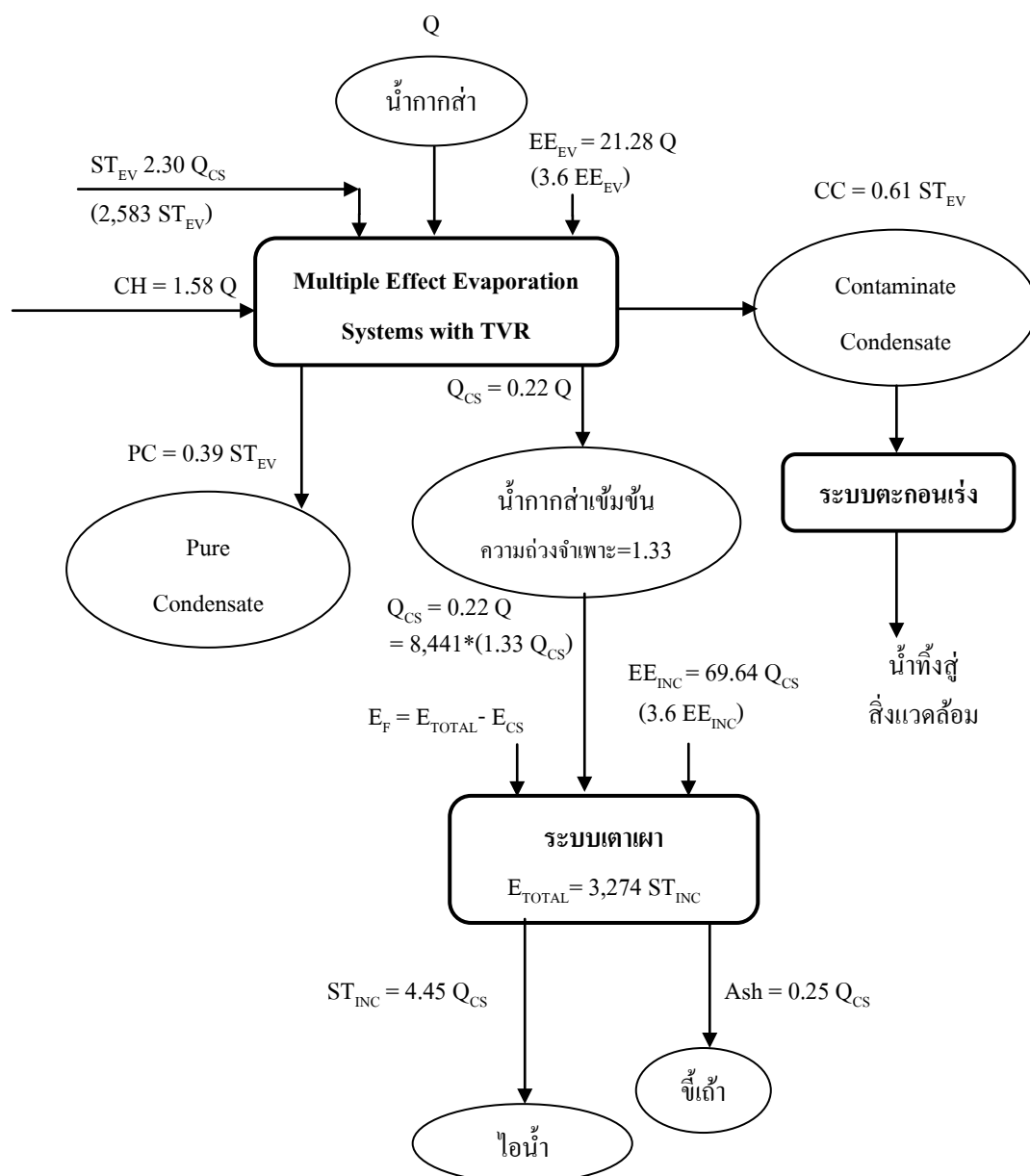
รูปที่ 4-17 ทางเลือก B1; ระบบระเหยแบบ TVR

ตารางที่ 4-22 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B1

เทคโนโลยี	ทางเลือก B1
	Evaporation and Incineration
การปรับปรุงระบบ	Multiple Effect Evaporation Systems with Thermal Vapour Recompression (TVR)
มูลค่าเทคโนโลยี (บาท)	400,000,000
พื้นที่ในการใช้งานของระบบ (ไร่)	5
ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost)	
ค่าซ่อมบำรุงระบบ	
-ระบบระเหยกากส่า	1,800,000 บาท
-ระบบเตาเผา	10,000,000 บาท
ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost)	
ราคาสารเคมี (บาท/ลิตร)	
- โซดาไฟ	7.54

#### 4.3.2.1 การใช้วัสดุและพลังงานของระบบบำบัดน้ำกากส่าทางเลือก B1

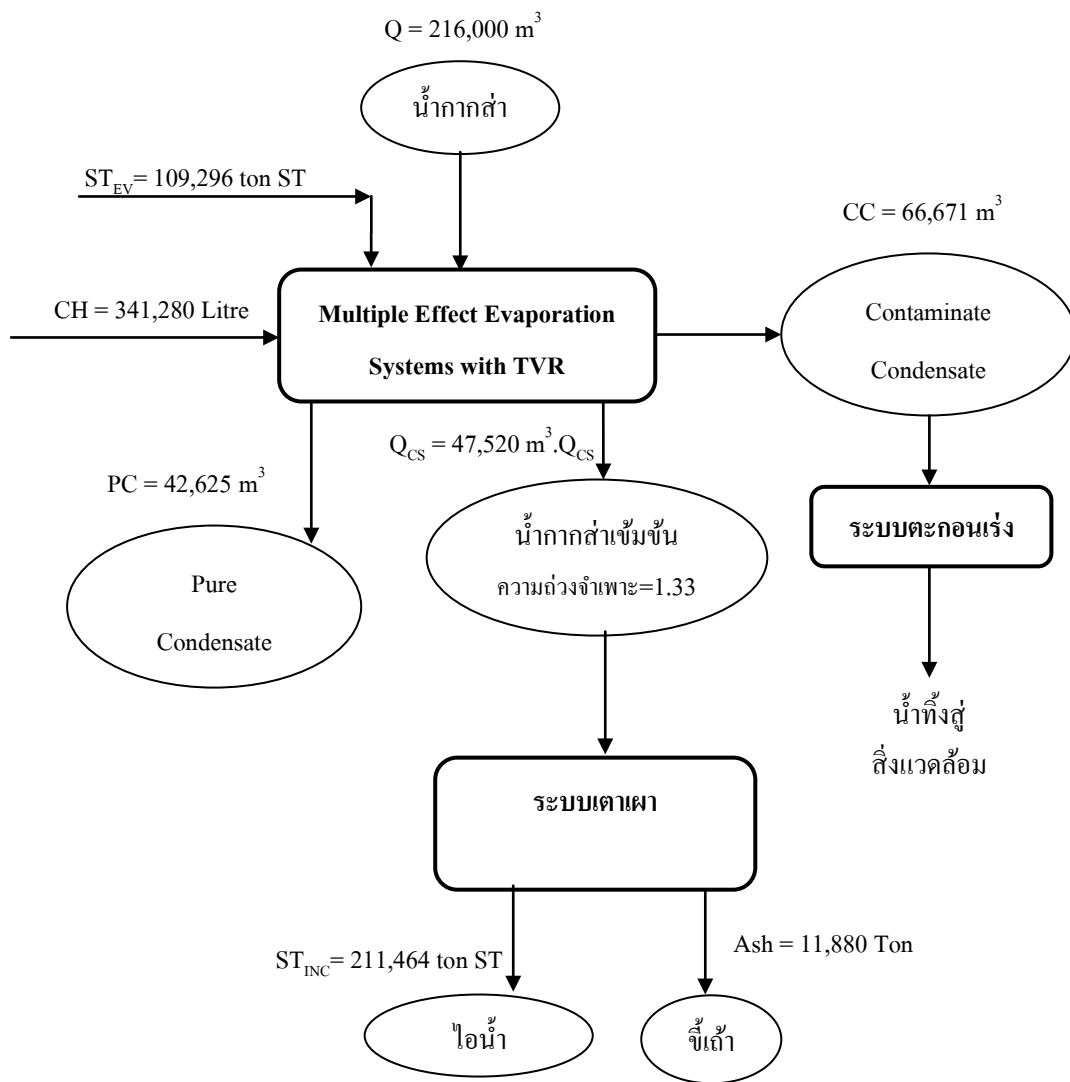
อ้างอิงจากปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานในรูปของสมการความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่าของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B สามารถแสดงตัวอย่างปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า ( $Q$ ) ของทางเลือก B1 ได้ดังรูปที่ 4-18 และปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก B1 แสดงในรูปที่ 4-19 และรูปที่ 4-20 โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4-23



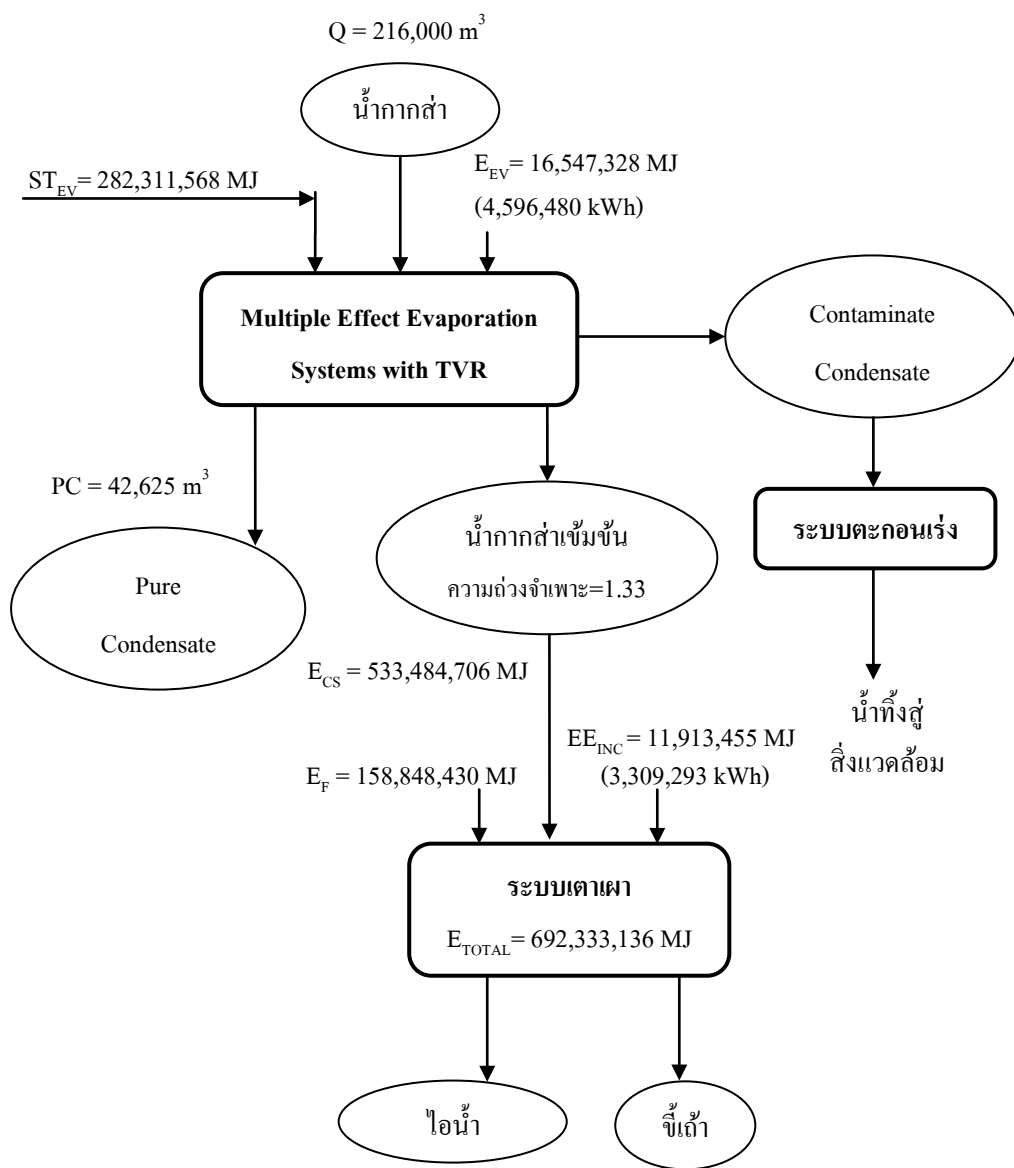
รูปที่ 4-18 ตัวอย่างปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า ( $Q$ ) ของทางเลือก B1

ตารางที่ 4-23 ปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานของทางเลือก B1

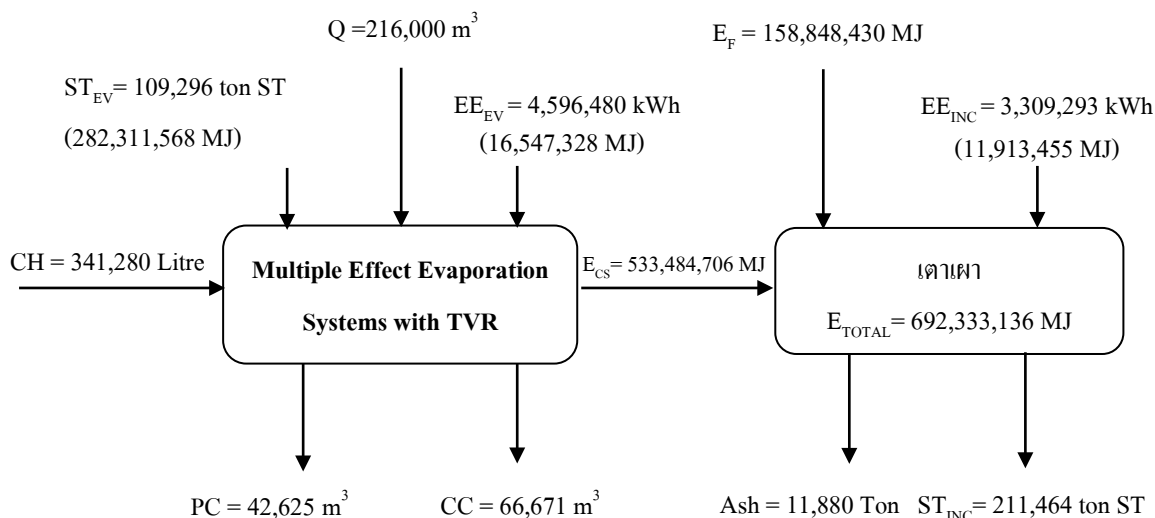
ฐานข้อมูลน้ำกากส่าที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า (Q) = 216,000 m <sup>3</sup> /ปี							
ตัวแปร	ความสัมพันธ์	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	หน่วย	ตัวแปร	ความสัมพันธ์	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	หน่วย
ระบบระเหยกากส่า				ระบบเตาเผา			
Q <sub>CS</sub>	0.22 Q	47,520	m <sup>3</sup> .Q <sub>CS</sub>	ST <sub>INC</sub>	4.45 Q <sub>CS</sub>	211,464	ton ST
ST <sub>EV</sub>	2.30 Q <sub>CS</sub>	109,296	ton ST	Ash	0.25 Q <sub>CS</sub>	11,880	Ton
	2,583 ST <sub>EV</sub>	282,311,568	MJ	E <sub>TOTAL</sub>	3,274 ST <sub>INC</sub>	692,333,136	MJ
PC	0.39 ST <sub>EV</sub>	42,625	m <sup>3</sup>	E <sub>CS</sub>	8,441*(1.33 Q <sub>CS</sub> )	533,484,706	MJ
CC	0.61 ST <sub>EV</sub>	66,671	m <sup>3</sup>	E <sub>F</sub>	E <sub>TOTAL</sub> - E <sub>CS</sub>	158,848,430	MJ
CH	1.58 Q	341,280	Litre	EE <sub>INC</sub>	69.64 Q <sub>CS</sub>	3,309,293	kWh
EE <sub>EV</sub>	21.28 Q	4,596,480	kWh		3.6 EE <sub>INC</sub>	11,913,455	MJ
	3.6 EE <sub>EV</sub>	16,547,328	MJ				



รูปที่ 4-19 ปริมาณการใช้วัสดุต่อปีของทางเลือก B1



รูปที่ 4-20 ปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของทางเลือก B1



รูปที่ 4-21 สรุปปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก B1

จากรูปที่ 4-21 สรุปปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก B1 ได้ดังนี้

น้ำกากส่าเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B1  $216,000 \text{ m}^3$  เมื่อผ่านเข้าสู่ระบบระเหย มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบระเหยเท่ากับ  $4,596,480 \text{ kWh}$  ใช้ไอน้ำในการระเหยกากส่า  $109,296$  ตันไอน้ำ และใช้สารเคมี (โซดาไฟ)  $341,280$  ลิตร มีน้ำคอนเดนเสทแบบไม่ปนเปื้อนน้ำกากส่า ใช้เป็นน้ำป้อนให้กับระบบหม้อไอน้ำได้  $42,625 \text{ m}^3$  น้ำคอนเดนเสทแบบปนเปื้อนน้ำกากส่าส่งเข้าระบบตะกอนแรงเพื่อบำบัดเป็นน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน  $66,671 \text{ m}^3$  ระบบระเหยสามารถผลิตน้ำกากส่าเข้มข้นได้  $47,520 \text{ m}^3 (Q_{CS})$  (ลบ.ม. น้ำกากส่าเข้มข้น) ส่งเข้าระบบเตาเผาทั้งหมด  $100\%$  มีการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสนับสนุน และใช้พลังงานไฟฟ้า  $3,309,293 \text{ kWh}$  ผลิตไอน้ำจากระบบเตาเผาได้  $211,464$  ตันไอน้ำ และมีขี้เถ้าจากการเผาไหม้ประมาณ  $11,880$  ตัน

การพิจารณาการใช้พลังงานความร้อนของระบบระเหยกากส่าและระบบเตาเผา แสดงการคำนวณได้ดังนี้

ที่ระบบระเหยกากส่ามีการใช้พลังงานความร้อน;  $ST_{EV} = 282,311,568 \text{ MJ}$

เทียบเท่าน้ำมันเตา;  $= 282,311,568 / (39.77 \text{ MJ/Litre})$   
 $= 7,098,606 \text{ Litre}$

ที่ระบบเตาเผามีการใช้พลังงานความร้อน;  $E_F = 158,848,430 \text{ MJ}$

เทียบเท่าน้ำมันเตา;  $= 158,848,430 / (39.77 \text{ MJ/Litre})$   
 $= 3,994,177 \text{ Litre}$

สรุปผลพลอยได้จากการบำบัดของการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B1  
ได้ดังนี้

1. ไอ้ไอน้ำที่ผลิตได้จากระบบเตาเผา;  $ST_{INC}$  = 211,464 ton ST  
คิดเป็นพลังงานความร้อน;  $E_{TOTAL}$  = 692,333,136 MJ  
เทียบเท่าน้ำมันเตา; =  $E_{TOTAL} / (39.77 \text{ MJ/Litre})$   
= 692,333,136 MJ / (39.77 MJ/Litre)  
= 17,408,427 Litre
2. น้ำคอนเดนเสทที่ส่งเข้าระบบหม้อไอน้ำ; PC = 42,625 m<sup>3</sup>
3. จี้เถ้าจากระบบเตาเผา; Ash = 11,880 Ton

#### 4.3.2.2 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B1

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B1 และข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก B1 แสดงข้อมูลการดำเนินงานดังแสดงในตารางที่ 4-24



ตารางที่ 4-24 ข้อมูลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B1

รายการ	ปริมาณ	หน่วยต่อปี	ราคาต่อหน่วย	บาทต่อปี
ปริมาณน้ำกากส่า (Q)	216,000	m <sup>3</sup>		-
1. มูลค่าเทคโนโลยี :				400,000,000
1.1 ระบบระเหยกากส่า	Multiple Effect Evaporation Systems with Thermal Vapour Recompression (TVR)			300,000,000
1.2 ระบบเตาเผา				100,000,000
2. ค่าใช้จ่ายในการบำบัด				17,539,948
2.1 สารเคมี (โซดาไฟ)	341,280	Litre	7.54	2,573,251
2.2 ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร				2,700,000
2.3 ปริมาณน้ำคอนเดนเสท เข้าระบบตะกอนเร่ง (CC)	66,671	m <sup>3</sup>	7	466,697
2.4 ค่าซ่อมบำรุงระบบ				
- ระบบระเหยกากส่า				1,800,000
- ระบบเตาเผา				10,000,000
3. ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน				288,350,607
3.1 พลังงานไฟฟ้า ; EE <sub>EV</sub>	4,596,480	kWh	3.50	16,087,680
3.2 พลังงานไฟฟ้า ; EE <sub>INC</sub>	3,309,293	kWh	3.50	11,582,526
3.3 ST <sub>EV</sub> เทียบเท่าน้ำมันเตา	7,098,606	Litre	23.50	166,817,241
3.4 E <sub>F</sub> เทียบเท่าน้ำมันเตา	3,994,177	Litre	23.50	93,863,160
4. มูลค่าผลประโยชน์ที่ได้รับ				427,770,535
4.1 ปริมาณน้ำมันเตาที่ทดแทนได้	17,408,427	Litre	23.50	409,098,035
4.2 ปริมาณน้ำคอนเดนเสท เข้าระบบหม้อไอน้ำ (PC)	42,625	m <sup>3</sup>	20	852,500
4.3 ปริมาณขี้เถ้า (Ash)	11,880	m <sup>3</sup>	1,500	17,820,000

#### 4.3.3 ทางเลือก B2; ระบบระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR)

เนื่องจากระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบันของโรงงาน B มีการใช้เครื่องระเหยแบบ Multiple Effect with Thermal Vapor Recompression (TVR) อายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี ยังคงมีการใช้พลังงานไฟฟ้า ใช้น้ำที่ป้อนเข้าระบบระเหย รวมถึงการใช้สารเคมีในการล้างระบบมาก ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระบบสูง ทั้งนี้เมื่อศึกษาความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของระบบระเหยที่สามารถปรับปรุงการใช้พลังงานและสารเคมีในการระเหย เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยอ้างอิงจากข้อมูลที่โรงงาน B เปรียบเทียบข้อมูลการปรับปรุงระบบจากบริษัทผู้จำหน่ายดังแสดงในตารางที่ 4-25 ในงานวิจัยนี้เลือกระบบที่มีศักยภาพในการดำเนินงานและให้ผลประหยัดมากที่สุด ได้แก่ การเปลี่ยนเครื่องระเหยให้เป็น Forced – Circulation with Mechanical Vapor Recompression (MVR) and Automatic Cleaning System โดยมีข้อมูลของระบบแสดงในตารางที่ 4-26 ตัวอย่างระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B2 ดังแสดงในรูปที่ 4-22 และค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B2 แสดงในตารางที่ 4-27

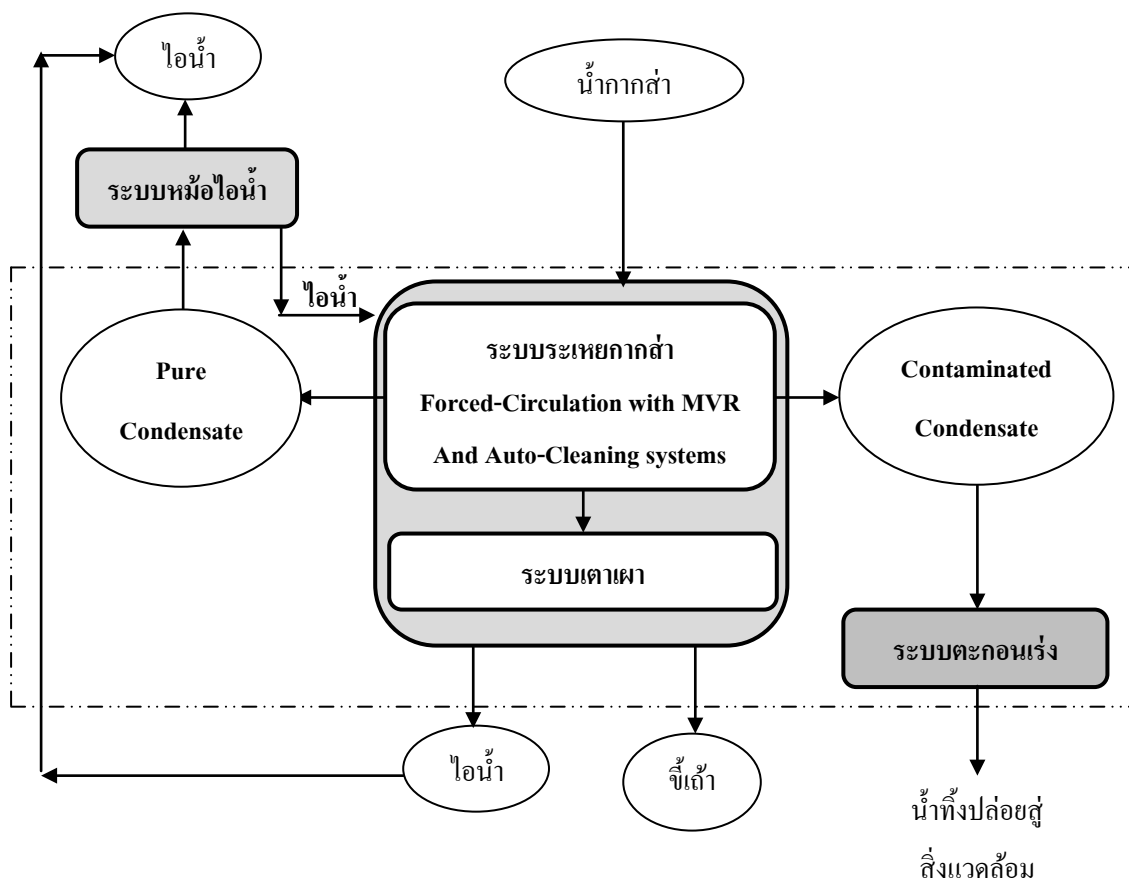
ตารางที่ 4-25 วิธีการปรับปรุงการใช้พลังงานและสารเคมีของระบบระเหย

การปรับปรุง	ข้อดี
การปรับปรุงให้ Calandria สามารถทำความสะอาดหม้อต้มได้เอง (Self-Cleaning Fluidized Bed Evaporator)	ลดการใช้สารเคมีและความถี่ในการทำความสะอาด
การเปลี่ยนเครื่องระเหยให้เป็น Forced-Circulation and Self Cleaning	ลดการใช้ไอน้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อน และลดปัญหาการเกิดตะกอนภายในบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อน
การเปลี่ยนเครื่องระเหยให้เป็น Forced-Circulation with Mechanical Vapor Recompression (MVR) and Automatic Cleaning System	ลดการใช้ไอน้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อน และลดการใช้สารเคมีในการทำความสะอาดระบบ

ตารางที่ 4-26 ข้อมูลของระบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR)

เทคโนโลยี	Forced – Circulation with Mechanical Vapor Recompression (MVR) and Automatic Cleaning System
มูลค่าเทคโนโลยี	380,000,000 บาท
พื้นที่ในการดำเนินงานระบบ	5 ไร่
กำลังไฟฟ้าของระบบระเหยอากาศ	1,750 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (ชั่วโมงการใช้งาน 8,640 ชม./ปี) = 15,120,000 kWh/ปี
อัตราการใช้น้ำของระบบระเหยอากาศ	0.038 ตันไอน้ำ/ลบ.ม.น้ำอากาศ
ปริมาณน้ำคอนเดนเสทส่งเข้าระบบตะกอนเร่ง	78 % ของปริมาณน้ำอากาศที่เข้าระบบ
สารเคมี	
โซดาไฟ (ราคาลิตรละ 7.54 บาท)	2,000 กิโลกรัม / เดือน
กรดไนตริก (ราคาลิตรละ 14.4 บาท)	7,000 กิโลกรัม/ เดือน

ที่มา : Praj Fareast Co.,LTD



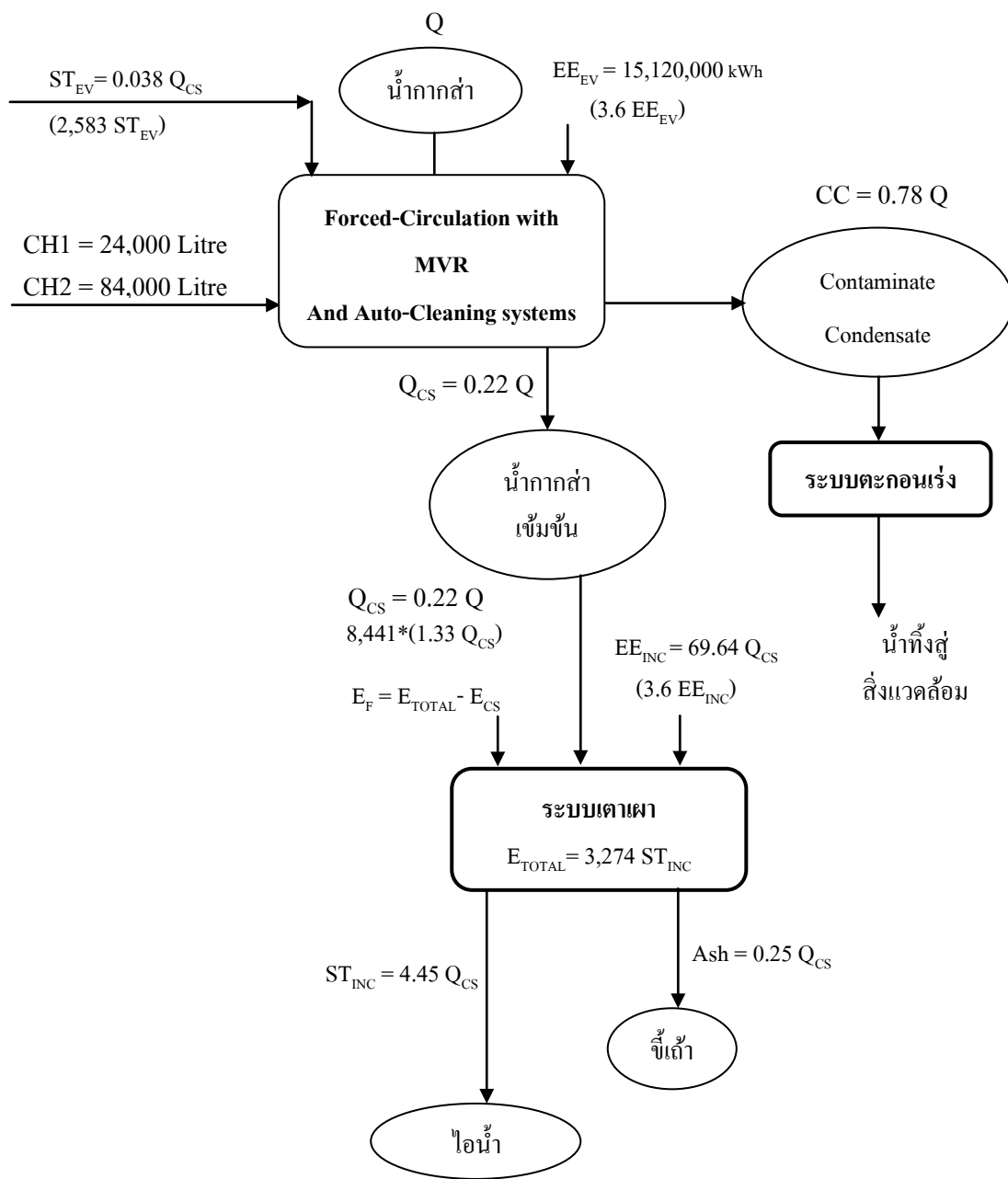
รูปที่ 4-22 ทางเลือก B2; ระบบระเหยแบบ MVR

ตารางที่ 4-27 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B2

เทคโนโลยี	ทางเลือก B2
	Evaporation and Incineration
การปรับปรุงระบบ	Forced – Circulation with Mechanical Vapor Recompression (MVR) and Automatic Cleaning System
มูลค่าเทคโนโลยี (บาท)	480,000,000
พื้นที่ในการใช้งานของระบบ (ไร่)	5
ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost)	
ค่าซ่อมบำรุงระบบ	
-ระบบระเหยกากส่า	1,000,000 บาท
-ระบบเตาเผา	10,000,000 บาท
ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost)	
ราคาสารเคมี (บาท/ลิตร)	
- โซดาไฟ	7.54
- กรดไนตริก	14.4

#### 4.3.3.1 การใช้วัสดุและพลังงานของระบบบำบัดน้ำกากส่าทางเลือก B2

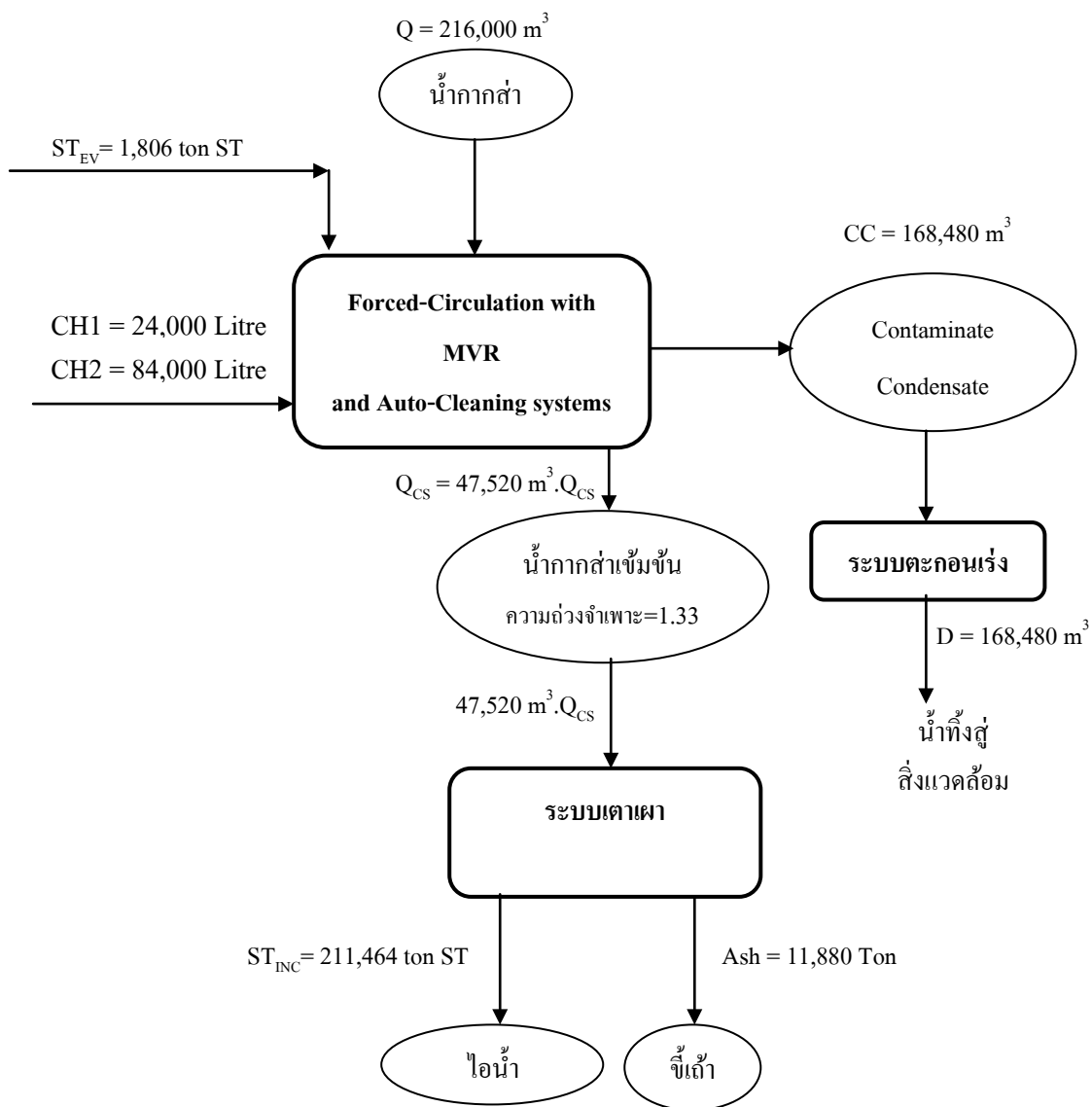
อ้างอิงจากปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานในรูปของสมการความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่าของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B และข้อมูลของระบบ Forced – Circulation with Mechanical Vapor Recompression (MVR) and Automatic Cleaning System สามารถแสดงตัวอย่างปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของทางเลือก B2 ได้ดังรูปที่ 4-23 และปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก B2 แสดงในรูปที่ 4-24 และรูปที่ 4-25 โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4-28



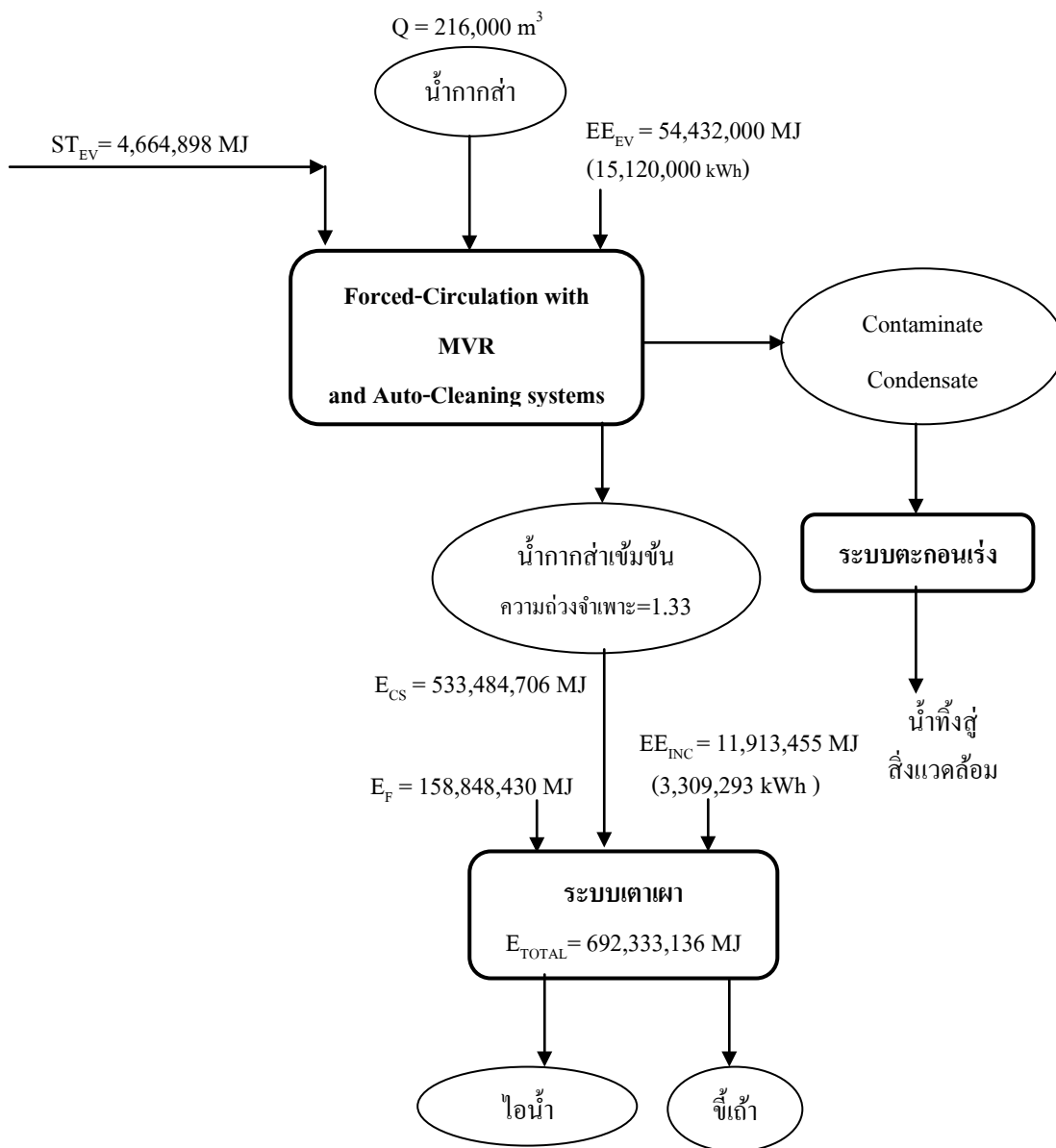
รูปที่ 4-23 ตัวอย่างปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของทางเลือก B2

ตารางที่ 4-28 ปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานของทางเลือก B2

ฐานข้อมูลน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลิ้น (Q) = 216,000 m <sup>3</sup> /ปี							
ตัวแปร	ความสัมพันธ์	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	หน่วย	ตัวแปร	ความสัมพันธ์	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	หน่วย
ระบบระเหยกากส่า				ระบบเตาเผา			
Q <sub>CS</sub>	0.22 Q	47,520	m <sup>3</sup> .Q <sub>CS</sub>	ST <sub>INC</sub>	4.45 Q <sub>CS</sub>	211,464	ton ST
ST <sub>EV</sub>	0.038 Q <sub>CS</sub>	1,806	ton ST	Ash	0.25 Q <sub>CS</sub>	11,880	Ton
E <sub>STEV</sub>	2,583 ST <sub>EV</sub>	4,664,898	MJ	E <sub>TOTAL</sub>	3,274 ST <sub>INC</sub>	692,333,136	MJ
CC	0.78 Q	168,480	m <sup>3</sup>	E <sub>CS</sub>	8,441*(1.33 Q <sub>CS</sub> )	533,484,706	MJ
CH 1	-	24,000	m <sup>3</sup>	E <sub>F</sub>	E <sub>TOTAL</sub> - E <sub>CS</sub>	158,848,430	MJ
CH 2	-	84,000	Litre	EE <sub>INC</sub>	69.64 Q <sub>CS</sub>	3,309,293	kWh
EE <sub>EV</sub>	-	15,120,000	kWh		3.6 EE <sub>INC</sub>	11,913,455	MJ
	3.6 EE <sub>EV</sub>	54,432,000	MJ				

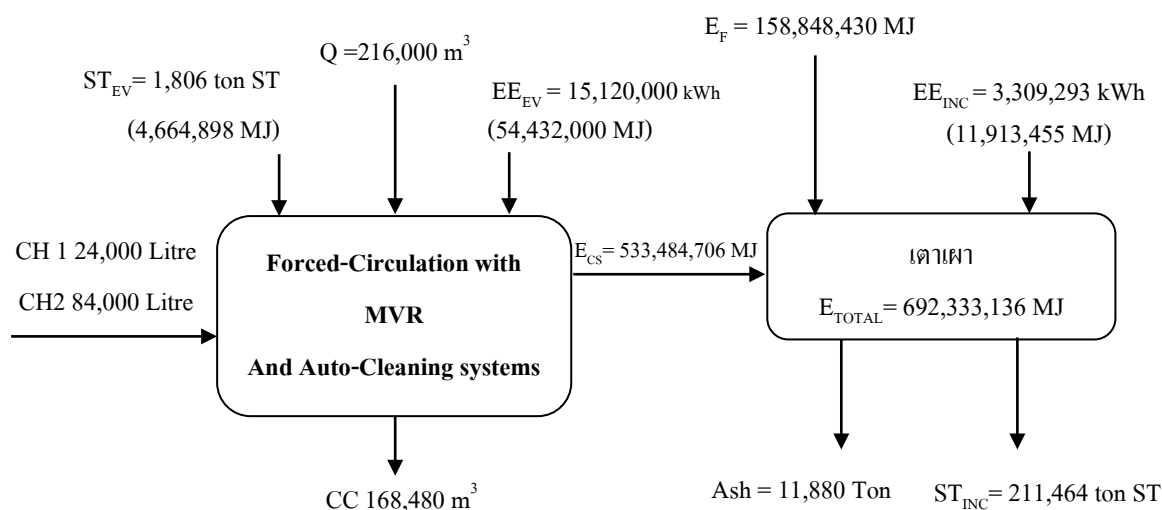


รูปที่ 4-24 ปริมาณการใช้วัสดุต่อปีของทางเลือก B2



รูปที่ 4-25 ปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของทางเลือก B2





รูปที่ 4-26 สรุปปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก B2

จากรูปที่ 4-26 สรุปปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก B2 ได้ดังนี้

น้ำกากส่าเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B2 216,000 m<sup>3</sup> เมื่อผ่านเข้าสู่ระบบระเหย มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบระเหยเท่ากับ 15,120,000 kWh ใช้ไอน้ำในการระเหยกากส่า 1,806 ตันไอน้ำ และใช้สารเคมี (โซดาไฟ) 24,000 ลิตร และกรดไนตริก 84,000 ลิตร มีน้ำคอนเดนเสทแบบปนเปื้อนน้ำกากส่าส่งเข้าระบบตะกอนแรงเพื่อบำบัดเป็นน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 168,480 m<sup>3</sup> ระบบระเหยสามารถผลิตน้ำกากส่าเข้มข้นได้ 47,520 m<sup>3</sup> (Q<sub>CS</sub>) (ลบ.ม. น้ำกากส่าเข้มข้น) ส่งเข้าระบบเตาเผาทั้งหมด 100% มีการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสนับสนุน และใช้พลังงานไฟฟ้า 3,309,293 kWh ผลิตไอน้ำจากระบบเตาเผาได้ 211,464 ตันไอน้ำ และมีจีเถ้าจากการเผาไหม้ประมาณ 11,880 ตัน

การพิจารณาการใช้พลังงานความร้อนของระบบระเหยกากส่าและระบบเตาเผา แสดงการคำนวณ ได้ดังนี้

ที่ระบบระเหยกากส่ามีการใช้พลังงานความร้อน;  $ST_{EV} = 4,664,898 \text{ MJ}$

เทียบเท่าน้ำมันเตา;  $= 4,664,898 / (39.77 \text{ MJ/Litre})$   
 $= 117,297 \text{ Litre}$

ที่ระบบเตาเผามีการใช้พลังงานความร้อน;  $E_F = 158,848,430 \text{ MJ}$

เทียบเท่าน้ำมันเตา;  $= 158,848,430 / (39.77 \text{ MJ/Litre})$   
 $= 3,994,177 \text{ Litre}$

สรุปผลพลอยได้จากการบำบัดของการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B2  
ได้ดังนี้

1. ไอน้ำที่ผลิตได้จากระบบเตาเผา;  $ST_{INC}$  = 211,464 ton ST  
คิดเป็นพลังงานความร้อน;  $E_{TOTAL}$  = 692,333,136 MJ  
เทียบเท่าน้ำมันเตา; =  $E_{TOTAL} / (39.77 \text{ MJ/Litre})$   
= 692,333,136 MJ / (39.77 MJ/Litre)  
= 17,408,427 Litre
2. จี้เถ้าจากระบบเตาเผา; Ash = 11,880 Ton

#### 4.3.3.2 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B2

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B2 และข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานต่อปีของทางเลือก B2 แสดงข้อมูลการดำเนินงานดังแสดงในตารางที่ 4-29

ตารางที่ 4-29 ข้อมูลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B2

รายการ	ปริมาณ	หน่วยต่อปี	ราคาต่อหน่วย	บาทต่อปี
ปริมาณน้ำกากส่า (Q)	216,000	m <sup>3</sup>		-
1. มูลค่าเทคโนโลยี :				480,000,000
1.1 ระบบระเหยกากส่า	Forced – Circulation with Mechanical Vapor Recompression (MVR) and Automatic Cleaning System			380,000,000
1.2 ระบบเตาเผา				100,000,000
2. ค่าใช้จ่ายในการบำบัด				16,269,920
2.1 สารเคมี				
- โซดาไฟ	24,000	Litre	7.54	180,960
- กรดไนตริก	84,000	Litre	14.4	1,209,600
2.2 ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร				2,700,000
2.3 ปริมาณน้ำคอนเดนเสท เข้าระบบตะกอนเร่ง (CC)	168,480	m <sup>3</sup>	7	1,179,360
2.4 ค่าซ่อมบำรุงระบบ				
- ระบบระเหยกากส่า				1,000,000
- ระบบเตาเผา				10,000,000
3 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน				161,122,166
3.1 พลังงานไฟฟ้า ; EE <sub>EV</sub>	15,120,000	kWh	3.50	52,920,000
3.2 พลังงานไฟฟ้า ; EE <sub>INC</sub>	3,309,293	kWh	3.50	11,582,526
3.3 ST <sub>EV</sub> เทียบเท่าน้ำมันเตา	117,297	Litre	23.50	2,756,480
3.4 E <sub>F</sub> เทียบเท่าน้ำมันเตา	3,994,177	Litre	23.50	93,863,160
4 มูลค่าผลประโยชน์ที่ได้รับ				426,918,035
4.1 ปริมาณน้ำมันเตาที่ทดแทนได้	17,408,427	Litre	23.50	409,098,035
4.2 ปริมาณขี้เถ้า (Ash)	11,880	m <sup>3</sup>	1,500	17,820,000

#### 4.3.4 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ ผลพลอยได้ของระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ผลการเปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยใช้ทางเลือก A , B1 และ B2 เป็นกรณีศึกษาตามลำดับ โดยแหล่งที่มาของข้อมูลได้จากการศึกษาข้อมูลการดำเนินงานของระบบ ในสภาวะปัจจุบัน วรรณกรรมวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง และบริษัทผู้จำหน่ายประกอบการพิจารณา

ตารางที่ 4-30 เปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงาน พบว่า ทางเลือก A สามารถบำบัดน้ำกากส่าจนสามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ แต่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและมีค่าใช้จ่ายในระบบบำบัดค่อนข้างมาก ในขณะที่ทางเลือก B1 และ B2 เป็นการบำบัดน้ำกากส่าเช่นเดียวกัน แตกต่างกันที่เทคโนโลยีการใช้ไอน้ำและการทำความสะอาดภายในบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อน

ตารางที่ 4-31 เปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า กรณีทางเลือกทั้ง 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำจนสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ แต่ต้องคำนึงถึงเรื่องการเผาไหม้เชื้อเพลิงทดแทนได้แก่ ก๊าซชีวภาพในระบบหม้อไอน้ำ และน้ำกากส่าเข้มข้นในระบบเตาเผา โดยต้องควบคุมไม่ให้มีปริมาณสารเจือปน หรือเขม่าควันเกินกว่าค่าที่กฎหมายกำหนด โดยเฉพาะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ตารางที่ 4-32 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการบำบัด พบว่า ทางเลือก A ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาในระบบหม้อไอน้ำ แต่ยังคงมีสัดส่วนก๊าซชีวภาพเข้าระบบเผาไหม้ที่ร้อยละ 43 เช่นเดียวกับกับทางเลือก B1 และทางเลือก B2 ไอน้ำที่ได้จากระบบเตาเผาอาจมีมากเกินกว่าความต้องการของกระบวนการผลิตสุรา ดังนั้นควรหาวิธีการนำผลพลอยได้จากการบำบัดไปใช้ประโยชน์ที่เหมาะสม ส่วนการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้อื่นๆ ทางเลือก A ยังคงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง หรือการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้ ในขณะที่ทางเลือก B1 และ B2 ไม่สามารถนำน้ำกากส่าเข้มข้นไปใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรมได้ นิยมนำไปใช้เป็นวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมอื่นๆต่อไป

ตารางที่ 4-30 การเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน;

ด้านข้อมูลการดำเนินงานระบบ

รายการ	ทางเลือก A	ทางเลือก B1	ทางเลือก B2
1.) หลักการทำงาน	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบ Anaerobic Covered Lagoon เป็นการบำบัดเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน</li> <li>- ระบบ Coagulation and Flocculation เป็นการบำบัดขั้นหลังเพื่อให้สามารถปล่อยน้ำทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าและสารเคมีในการบำบัด</li> </ul>	ระบบระเหย โดยเทคโนโลยีการใช้ไอน้ำแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)	ระบบระเหย โดยเทคโนโลยีการใช้ไอน้ำแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR)
2.) ลักษณะการดำเนินงานของระบบ	ระบบ Anaerobic Covered Lagoon ใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำเข้าไปในแต่ละบ่อเท่านั้น ส่วนระบบ Coagulation and Flocculation มีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง	การใช้ไอน้ำแบบ TVR เป็นการ ใช้ Steam jet Vapor Recompressor ในการอัดไอน้ำ และยังไม่มียุทธศาสตร์ทำ ความสะอาดภายใน ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนแบบอัดโนมัติ	การใช้ไอน้ำแบบ MVR เป็นการ อัดไอน้ำให้มีความดันสูง โดยใช้แรงเชิงกลทำให้ปริมาณการใช้ไอน้ำลดลงแต่ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นมาก มีระบบการทำความสะอาดภายใน ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบอัดโนมัติ
3.) สิ่งที่ได้จากระบบบำบัดน้ำกากส่า	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ก๊าซชีวภาพ</li> <li>- กากตะกอนในลานตาก</li> <li>- น้ำทิ้งปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไอน้ำ</li> <li>- น้ำคอนเดนเสทส่งกลับระบบหม้อไอน้ำ</li> <li>- ขี้เถ้าจากการเผาไหม้</li> <li>- น้ำทิ้งปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไอน้ำ</li> <li>- ขี้เถ้าจากการเผาไหม้</li> <li>- น้ำทิ้งปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม</li> </ul>

ตารางที่ 4-31 การเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำจากสารอินทรีย์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน;  
ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

รายการ	ทางเลือก A	ทางเลือก B1	ทางเลือก B2
1.) มลพิษ ทางน้ำ	ระบบ Coagulation and Flocculation สามารถบำบัดน้ำที่ปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้	น้ำที่ออกจากระบบประเหย ได้แก่ น้ำคอนเดนเสทที่ส่งเข้าระบบหม้อไอน้ำ และน้ำคอนเดนเสทที่ปนเปื้อนน้ำจากสาร สามารถส่งเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน คือ ระบบตะกอนเร่งได้ ถือว่าไม่มีปัญหาด้านมลพิษทางน้ำ	น้ำคอนเดนเสทจากระบบประเหยทั้งหมด ส่งเข้าระบบตะกอนเร่งของโรงงานได้ จึงถือว่าไม่มีปัญหาด้านมลพิษทางน้ำ
2.) มลพิษ ทางอากาศ	สาเหตุจากการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพในระบบหม้อไอน้ำ โดยต้องมีการติดตั้งเครื่องกำจัดความชื้น และระบบกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อป้องกันการเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกินกว่ามาตรฐานกำหนด โดยอ้างอิงจากปริมาณการตรวจวัดของโรงงาน A; $SO_x = 16.31 \leq 60$	สาเหตุจากการเผาไหม้น้ำจากสารเข้มข้นในระบบเตาเผา ของเสียจากการเผาไหม้เป็นขี้เถ้า มีทั้งเถ้าลอยและเถ้าหนัก จะถูกรวบรวมไว้ในถุงกรองเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายและฝุ่นขี้เถ้า โดยมีการเปลี่ยนถุงกรองทุกๆรอบอายุการใช้งาน โดยเฉพาะการฟุ้งกระจายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยอ้างอิงจากปริมาณการตรวจวัดของโรงงาน B พบว่า $SO_x = 51.48 \leq 60$	
3.) การจัดการ ของเสีย	กรณีการกักเก็บน้ำจากสารภายในบ่อบำบัด น้ำจากสารหลังการบำบัดและระบบลานตาก ต้องมีระบบการจัดการเพื่อป้องกันน้ำจากสารที่กักเก็บซึมผ่านผิวดิน และต้องจัดทำแผนฉุกเฉินกรณีบ่อซำรุคเสียหาย	การกักเก็บเถ้าลอย มีการกำหนดระยะเวลาการเปลี่ยนถุงกรองทุกๆรอบอายุการใช้งาน	

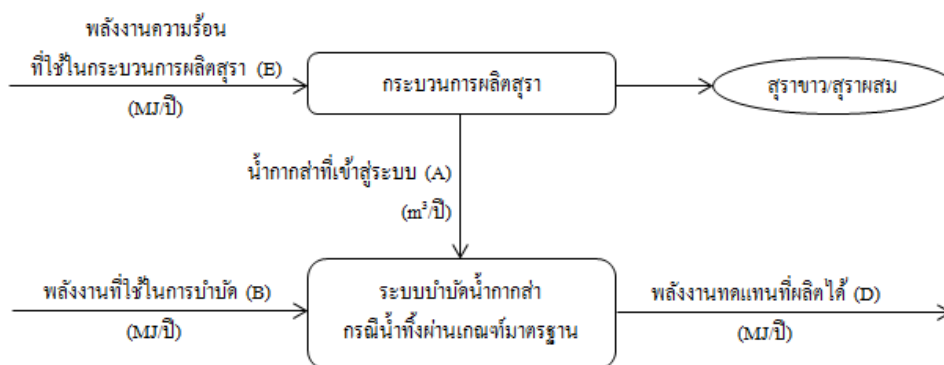
ตารางที่ 4-32 การเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากสำกรณน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน;  
ด้านการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการบำบัด

รายการ	ทางเลือก A	ทางเลือก B1	ทางเลือก B2
1.) ด้านพลังงาน ทดแทน	<p>การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาในระบบหม้อไอน้ำสำหรับการผลิตไอน้ำส่งกลับเข้าสู่กระบวนการผลิต</p> <p>มีสัดส่วนการส่งก๊าซชีวภาพเข้าสู่ระบบเผาก๊าซทิ้ง ร้อยละ 43 ควรหาวิธีการนำไปใช้ประโยชน์ที่เหมาะสม</p>	<p>การเผาไหม้น้ำกากสำเข้มข้นในระบบเตาเผา สามารถผลิตไอน้ำส่งกลับเข้าสู่กระบวนการผลิต ทดแทนการผลิตไอน้ำจากระบบหม้อไอน้ำ</p>	
2.) ด้าน เกษตรกรรม	<p>ยังคงนำน้ำหลังบำบัด Anaerobic Covered Lagoon ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ และกรณีบำบัดผ่านระบบบำบัดต่อเนื่องจะได้น้ำทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่มีผลกระทบต่อเกษตรกรรม</p>	<p>น้ำกากสำเข้มข้นไม่เหมาะในการนำไปใช้ประโยชน์เชิงเกษตรกรรม เนื่องจากกระบวนการเป็นการทำให้น้ำกากสำมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น</p>	
3.) ด้าน อุตสาหกรรม	<p>น้ำหลังการบำบัด</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- โรงไฟฟ้า รวบรวมน้ำเสียเพื่อหมักก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้า</li> </ul> <p>กากตะกอนในลานตาก</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิต</li> </ul>	<p>น้ำกากสำเข้มข้น</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- โรงไฟฟ้า รวบรวมน้ำเสียเพื่อหมักก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้า</li> <li>- อุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตผงชูรส</li> </ul> <p>จีเอ็มเอจากเผาไหม้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- อุตสาหกรรมปุ๋ย ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์</li> </ul>	

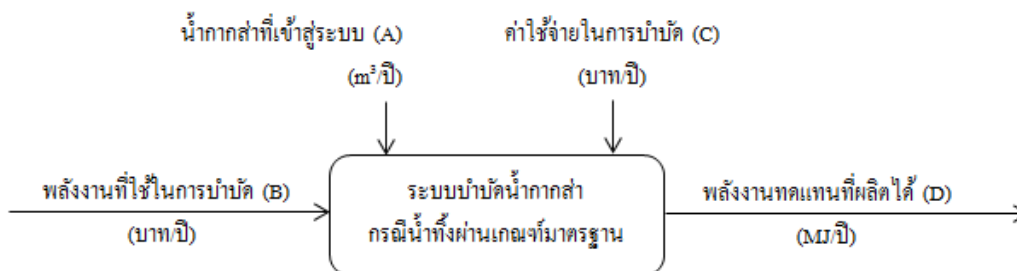
#### 4.4 การประเมินผลการดำเนินงานของทั้ง 3 ทางเลือก

ศึกษาข้อมูลการดำเนินงานทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ด้านการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) และด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดของแต่ละทางเลือก และประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าด้วยอัตราผลผลิตโดยรวมและอัตราผลผลิตย่อย ด้านวัสดุและพลังงาน และด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่า โดยกำหนดฐานข้อมูลพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตสุรา อ้างอิงจากปริมาณน้ำกากส่าที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่า 216,000 m<sup>3</sup>/ปี พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตสุรา แบ่งเป็น กระบวนการผลิตสุราขาว เท่ากับ 161,585,280 MJ/ปี และกระบวนการผลิตสุราผสม 475,227,648 MJ/ปี ดังแสดงในตารางที่ 4-33 และแผนภาพแสดงการประเมินผลดังแสดงในรูปที่ 4-27 และรูปที่ 4-28 ตามลำดับ ตารางที่ 4-33 พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตสุรา

ประเภทการผลิตสุรา	พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตสุรา (MJ/ปี)
กระบวนการผลิตสุราขาว (E1)	161,585,280
กระบวนการผลิตสุราผสม (E2)	475,227,648



รูปที่ 4-27 การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของระบบบำบัดน้ำกากส่า

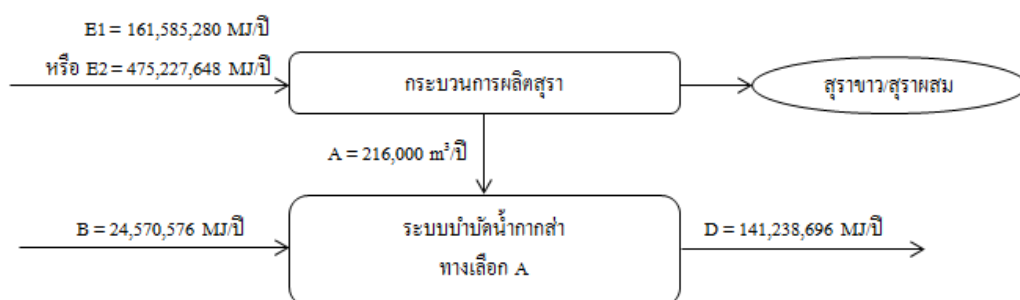


รูปที่ 4-28 การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบบำบัดน้ำกากส่า



#### 4.4.1 การประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก A

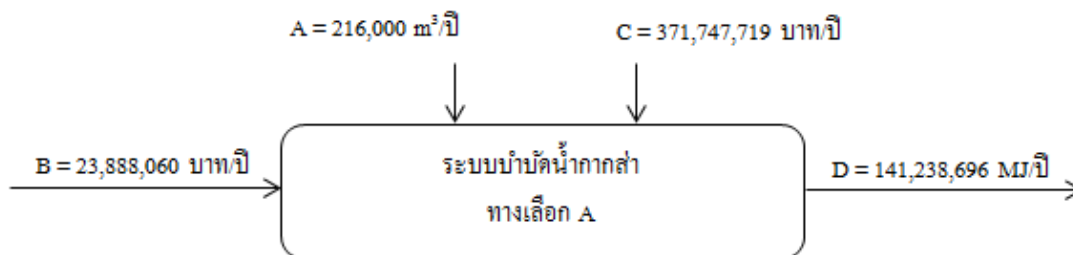
ข้อมูลการดำเนินงาน ด้านการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) และด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก A ดังแสดงในรูปที่ 4-29 และรูปที่ 4-30 ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าด้วยอัตราผลผลิตโดยรวมและอัตราผลผลิตย่อยด้านวัสดุและพลังงานและด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่า ดังแสดงในตารางที่ 4-34 และตารางที่ 4-35 ตามลำดับ



รูปที่ 4-29 การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก A

ตารางที่ 4-34 การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก A

การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน)	ค่าที่ได้จากการคำนวณ
<b>1. อัตราผลผลิตด้านวัสดุ (Material Productivity;MP)</b> พลังงานทดแทนที่ผลิตได้น้ำกากส่า;	
$MP = D/A$ $= (141,238,696 / 216,000)$	654 MJ/m <sup>3</sup>
<b>2. อัตราผลผลิตย่อยด้านพลังงาน (Energy Productivity;EP)</b> พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อพลังงานที่ใช้ในการบำบัด;	
$EP = D/B$ $= (141,238,696 / 24,570,576)$	5.75 MJ/MJ
<b>3. อัตราผลผลิตด้านพลังงานโดยรวม (Total Energy Productivity; TEP)</b> ประสิทธิภาพพลังงานทดแทน;	
3.1 กรณีผลิตสุราขาว $TEP = D/(B+E1)$ $= (141,238,696 / (24,570,576 + 161,585,280))$	0.76 MJ/MJ
3.2 กรณีผลิตสุราสี $TEP = D/(B+E2)$ $= (141,238,696 / (24,570,576 + 475,227,648))$	0.28 MJ/MJ



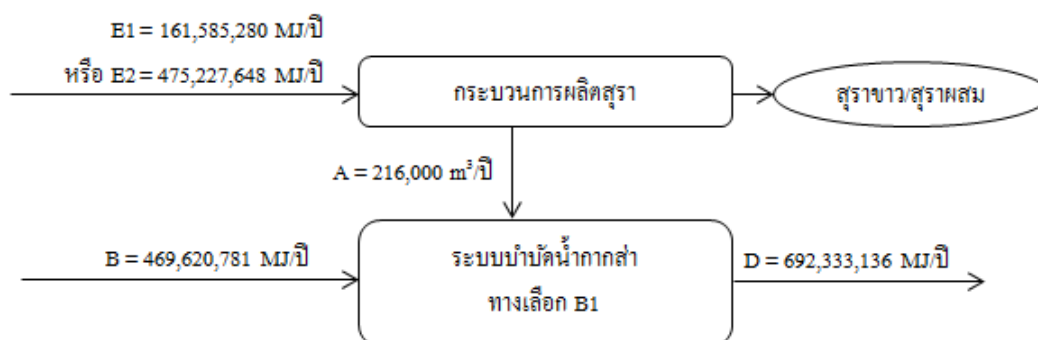
รูปที่ 4-30 การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก A

ตารางที่ 4-35 การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก A

การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัด	ค่าที่ได้จากการคำนวณ
<b>4. อัตราผลผลิตต่อค่าใช้จ่ายในการบำบัด (Operating Expense Productivity; OEP)</b>	
4.1 พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายในการบำบัด OEP = D/C = (141,238,696 / 371,747,719)	0.38 MJ/บาท
4.2 พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการบำบัด OEP = D/B = (141,238,696 / 23,888,060)	5.91 MJ/บาท
<b>5. อัตราผลผลิตต่อค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยรวม (Total Operating Expense Productivity; TOEP)</b>	
TOEP = D / (B + C) = (141,238,696 / (23,888,060 + 371,747,719))	0.36 MJ/บาท
<b>6. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่า (Costs of spent wash Treatment; CT)</b>	
CT = (B+C)/A = (23,888,060 + 371,747,719) / 216,000	1,832 บาท/m <sup>3</sup>

#### 4.4.2 การประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B1

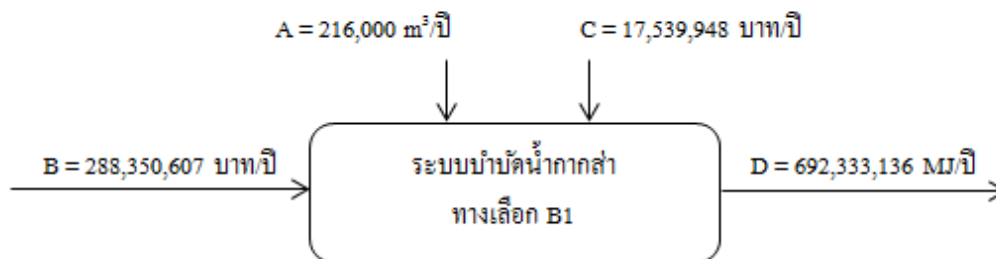
ข้อมูลการดำเนินงาน ด้านการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) และด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก B1 ดังแสดงในรูปที่ 4-31 และรูปที่ 4-32 ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าด้วยอัตราผลผลิตโดยรวมและอัตราผลผลิตย่อยด้านวัสดุและพลังงาน และด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่า ดังแสดงในตารางที่ 4-36 และตารางที่ 4-37 ตามลำดับ



รูปที่ 4-31 การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก B1

ตารางที่ 4-36 การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก B1

การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน)	ค่าที่ได้จากการคำนวณ
<b>1. อัตราผลผลิตด้านวัสดุ (Material Productivity;MP)</b> พลังงานทดแทนที่ผลิตได้น้ำกากส่า;	
MP = D/A = (692,333,136 / 216,000)	3,205 MJ/m <sup>3</sup>
<b>2. อัตราผลผลิตย่อยด้านพลังงาน (Energy Productivity;EP)</b> พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อพลังงานที่ใช้ในการบำบัด;	
EP = D/B = (692,333,136 / 469,620,781)	1.47 MJ/MJ
<b>3. อัตราผลผลิตด้านพลังงานโดยรวม (Total Energy Productivity; TEP)</b> ประสิทธิภาพพลังงานทดแทน;	
3.1 กรณีผลิตสุราขาว TEP = D/(B+E1) = (692,333,136 / (469,620,781 + 161,585,280))	1.10 MJ/MJ
3.2 กรณีผลิตสุราสี TEP = D/(B+E2) = (692,333,136 / (469,620,781 + 475,227,648))	0.73 MJ/MJ



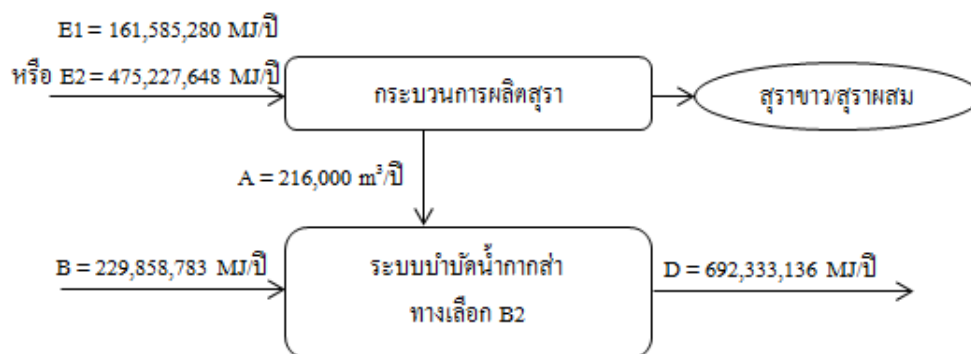
รูปที่ 4-32 การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก B1

ตารางที่ 4-37 การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก B1

การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัด	ค่าที่ได้จากการคำนวณ
<b>4. อัตราผลผลิตต่อยอดด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัด (Operating Expense Productivity; OEP)</b>	
4.1 พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายในการบำบัด OEP = D/C = (692,333,136 / 17,539,948)	39.47 MJ/บาท
4.2 พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการบำบัด OEP = D/B = (692,333,136 / 288,350,607)	2.40 MJ/บาท
<b>5. อัตราผลผลิตด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยรวม (Total Operating Expense Productivity; TOEP)</b>	
TOEP = D / (B + C) = (692,333,136 / (288,350,607 + 17,539,948))	2.26 MJ/บาท
<b>6. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่า (Costs of spent wash Treatment; CT)</b>	
CT = (B+C)/A = (288,350,607 + 17,539,948) / 216,000	1,416 บาท/m <sup>3</sup>

#### 4.4.3 การประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B2

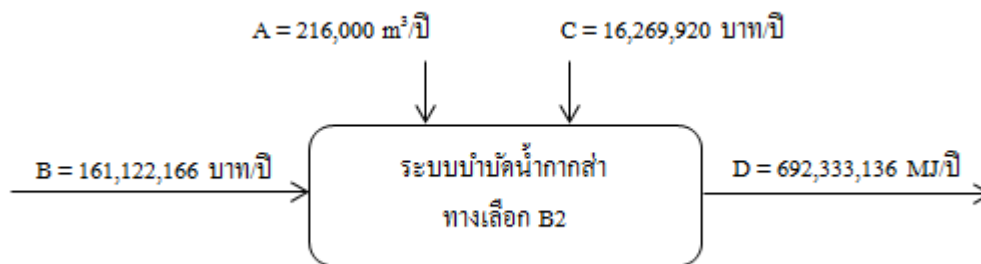
ข้อมูลการดำเนินงาน ด้านการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) และด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก B2 ดังแสดงในรูปที่ 4-33 และรูปที่ 4-34 ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่าด้วยอัตราผลผลิตโดยรวมและอัตราผลผลิตย่อยด้านวัสดุและพลังงาน และด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่า ดังแสดงในตารางที่ 4-38 และตารางที่ 4-39 ตามลำดับ



รูปที่ 4-33 การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก B2

ตารางที่ 4-38 การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ของทางเลือก B2

การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน)	ค่าที่ได้จากการคำนวณ
<b>1. อัตราผลผลิตด้านวัสดุ (Material Productivity; MP)</b> พลังงานทดแทนที่ผลิตได้น้ำกากส่า;	
$MP = D/A$ $= (692,333,136 / 216,000)$	3,205 MJ/m <sup>3</sup>
<b>2. อัตราผลผลิตย่อยด้านพลังงาน (Energy Productivity; EP)</b> พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อพลังงานที่ใช้ในการบำบัด;	
$EP = D/B$ $= (692,333,136 / 229,858,783)$	3.01 MJ/MJ
<b>3. อัตราผลผลิตด้านพลังงานโดยรวม (Total Energy Productivity; TEP)</b> ประสิทธิภาพพลังงานทดแทน;	
1) กรณีผลิตสุราขาว $TEP = D/(B+E1)$ $= (692,333,136 / (229,858,783 + 161,585,280))$	1.76 MJ/MJ
2) กรณีผลิตสุราสี $TEP = D/(B+E2)$ $= (692,333,136 / (229,858,783 + 475,227,648))$	0.98 MJ/MJ



รูปที่ 4-34 การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก B2

ตารางที่ 4-39 การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัดของทางเลือก B2

การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัด	ค่าที่ได้จากการคำนวณ
<b>4. อัตราผลผลิตต่อยอดด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัด (Operating Expense Productivity; OEP)</b>	
1) พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายในการบำบัด OEP = D/C = (692,333,136 / 16,269,920)	42.55 MJ/บาท
2) พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการบำบัด OEP = D/B = (692,333,136 / 161,122,166)	4.30 MJ/บาท
<b>5. อัตราผลผลิตด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยรวม (Total Operating Expense Productivity; TOEP)</b>	
TOEP = D / (B + C) = (692,333,136 / (161,122,166 + 16,269,920))	3.90 MJ/บาท
<b>6. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่า (Costs of spent wash Treatment; CT)</b>	
CT = (B+C)/A = (161,122,166 + 16,269,920) / 216,000	821 บาท/m <sup>3</sup>

จากการประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) และค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยใช้ อัตราผลผลิต โดยรวมและอัตราผลผลิตย่อยด้านวัสดุและพลังงาน และด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัด น้ำกากส่าสามารถสรุปผลการประเมินของทั้ง 3 ทางเลือกได้ ดังแสดงในตารางที่ 4-40 และตารางที่ 4-41 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-40 สรุปการประเมินผลอัตราผลผลิตด้านทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน)

การประเมินผลการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน)	ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	ทางเลือก A	ทางเลือก B1	ทางเลือก B2
<b>1. อัตราผลผลิตด้านวัสดุ (Material Productivity;MP)</b> พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อน้ำกากส่า (MJ/m <sup>3</sup> )	654	3,205	3,205
<b>2. อัตราผลผลิตย่อยด้านพลังงาน (Energy Productivity;EP)</b> พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อพลังงานที่ใช้ในการบำบัด (MJ/MJ)	5.75	1.47	3.01
<b>3. อัตราผลผลิตด้านพลังงานโดยรวม (Total Energy Productivity; TEP)</b> ประสิทธิภาพพลังงานทดแทน (MJ/MJ)			
1) กรณีผลิตสุราขาว	0.76	1.10	1.76
2) กรณีผลิตสุราผสม	0.28	0.73	0.98

ตารางที่ 4-41 สรุปการประเมินผลอัตราผลผลิตด้านค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบ

การประเมินผลค่าใช้จ่ายในการบำบัด	ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	ทางเลือก A	ทางเลือก B1	ทางเลือก B2
<b>4. อัตราผลผลิตย่อยด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัด (Operating Expense Productivity; OEP) (MJ/บาท)</b>			
1) พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายในการบำบัด	0.38	39.47	42.55
2) พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการบำบัด	5.91	2.40	4.30
<b>5. อัตราผลผลิตด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยรวม (MJ/บาท)</b>	0.36	2.26	3.90
<b>6. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่า (บาท/m<sup>3</sup>)</b>	1,832	1,416	821

#### 4.5 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

โดยใช้ดัชนีชี้วัดทางการเงิน 3 ดัชนี ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return; IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PBP) และการวิเคราะห์ความไวของโครงการ 3 กรณี ได้แก่ มูลค่าเทคโนโลยี, ราคาน้ำมันเตา และ อัตราค่าเช่าที่ดิน โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ ดังแสดงในตารางที่ 4-42

ตารางที่ 4-42 ข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ

พารามิเตอร์	อัตรา
อัตราเงินเฟ้อ	ร้อยละ 3
อัตราคิดลด	ร้อยละ 10
ค่าเช่าที่ดินตลอดอายุโครงการ	5,000 บาท/ตรว.
ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร	2,700,000 บาท/ปี
ระยะเวลาโครงการ 15 ปี	
กำหนดให้ 1. โรงงานเป็นผู้ลงทุนโครงการ โดยไม่มีการกู้ยืมจากแหล่งเงินทุนภายนอก 2. ไม่พิจารณาการคิดอัตราภาษี	

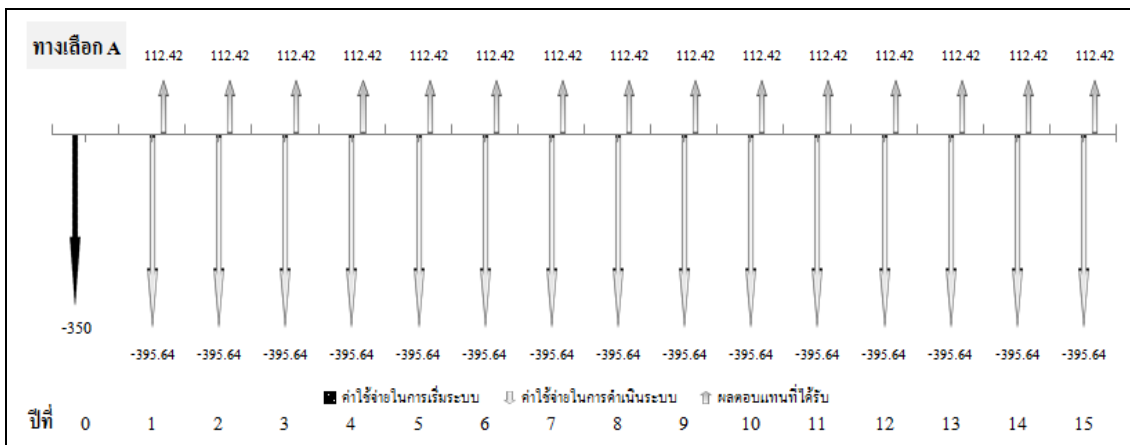


#### 4.5.1 ผลการประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

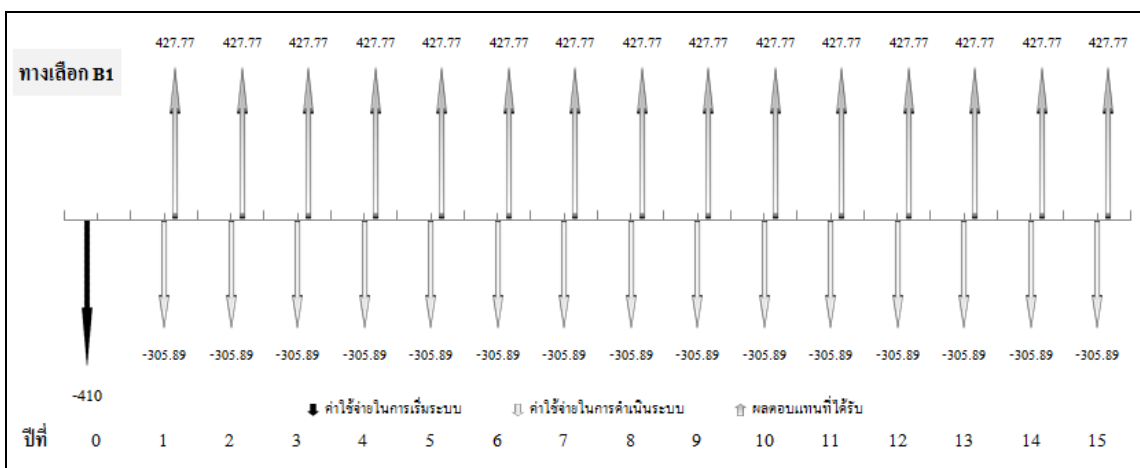
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ จะใช้ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าของทางเลือก A , B1 และ B2 จากหัวข้อที่ 4.3 ในการพิจารณาโดยรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้เทคโนโลยีแต่ละทางเลือกได้ ดังแสดงในตารางที่ 4-43 และแสดงแผนภาพกระแสเงินสดของทั้ง 3 ทางเลือก ดังแสดงในรูปที่ 4-35 ถึงรูปที่ 4-37 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-43 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าของทั้ง 3 ทางเลือก

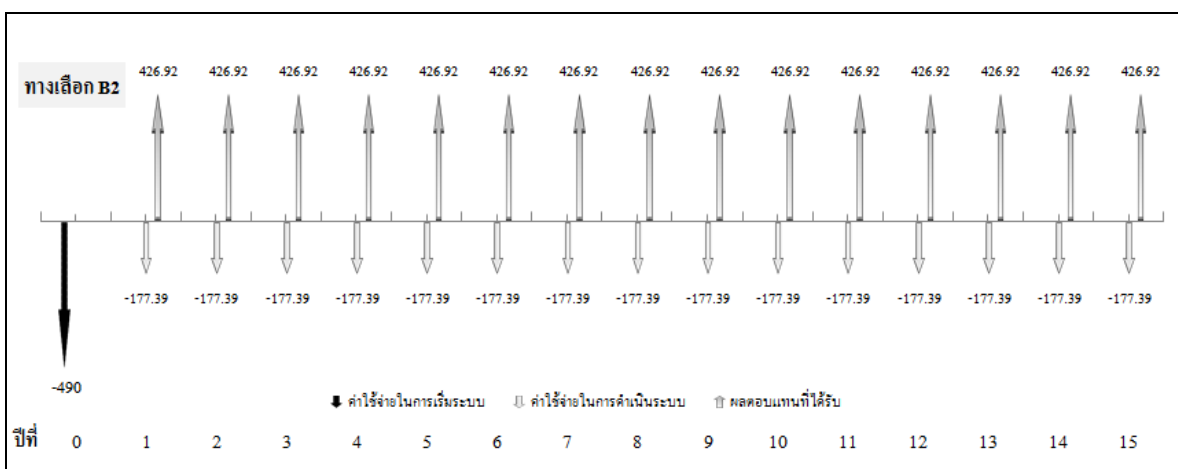
รายการ	ทางเลือก A	ทางเลือก B1	ทางเลือก B2
ระบบบำบัดน้ำกากส่า	ระบบหมัก และระบบบำบัดต่อเนื่อง	ระบบระเหย แบบ TVR	ระบบระเหย แบบ MVR
1. ค่าใช้จ่ายเริ่มดำเนินระบบ	350,000,000	410,000,000	490,000,000
1.1 มูลค่าเทคโนโลยี (บาท)	190,000,000	400,000,000	480,000,000
1.2 ค่าเช่าที่ดินราย 15 ปี (บาท)	160,000,000	10,000,000	10,000,000
2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ (บาทต่อปี)	395,635,779	305,890,555	177,392,086
2.1 สารเคมี			
- โซดาไฟ	-	2,573,251	180,960
- กรดไนตริก	-	-	1,209,600
2.2 ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร	2,700,000	2,700,000	2,700,000
2.5 ค่าใช้จ่ายหลังการบำบัด			
- ระบบบำบัดต่อเนื่อง	368,403,080	-	-
- ระบบตะกอนเร่ง	44,639	466,697	1,179,360
2.3 ค่าซ่อมบำรุงประจำปี	600,000	11,800,000	11,000,000
2.4 พลังงาน			
- พลังงานไฟฟ้า	23,888,060	27,670,206	64,502,526
- น้ำมันเตา	-	260,680,401	96,619,640
3. ผลประโยชน์ที่ได้รับ (บาทต่อปี)	112,417,607	427,770,535	426,918,035
3.1 มูลค่าน้ำมันเตาที่ทดแทนได้	83,457,607	409,098,035	409,098,035
3.2 มูลค่าผลพลอยได้อื่นๆ			
- กากตะกอน	28,960,000	-	-
- น้ำคอนเดนเสท	-	852,500	-
- รายได้จากการขายซีเมนต์	-	17,820,000	17,820,000



รูปที่ 4-35 แผนภาพกระแสเงินสดของทางเลือก A



รูปที่ 4-36 แผนภาพกระแสเงินสดของทางเลือก B1



รูปที่ 4-37 แผนภาพกระแสเงินสดของทางเลือก B2

โดยใช้ดัชนีวัดความคุ้มค่า คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), อัตราการผลตอบแทนการลงทุน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PBP) ที่อัตราเงินเฟ้อร้อยละ 3 อัตราส่วนลดร้อยละ 10 และระยะเวลาโครงการ 15 ปี พบว่า ทางเลือก B2 มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด มี NPV เท่ากับ 1,745.16 ล้านบาท, IRR เท่ากับร้อยละ 53.80 ระยะเวลาคืนทุน 2.14 ปี รองลงมา คือ ทางเลือก B1 มี NPV เท่ากับ 681.76 ล้านบาท, IRR เท่ากับร้อยละ 32.01 ระยะเวลาคืนทุน 3.96 ปี ส่วนทางเลือก A ยังไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนมี NPV เท่ากับ - 2,886.97 ล้านบาท ไม่สามารถหาระยะเวลาคืนทุนได้ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-44

ตารางที่ 4-44 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

ทางเลือก	NPV (ล้านบาท)	IRR (ร้อยละ)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
A	(2,886.97)	-	-
B1	681.76	32.01	3.96
B2	1,745.16	53.80	2.14

#### 4.5.2 ผลการประเมินการวิเคราะห์ความไวของโครงการ

กรณีที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยี

กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตา

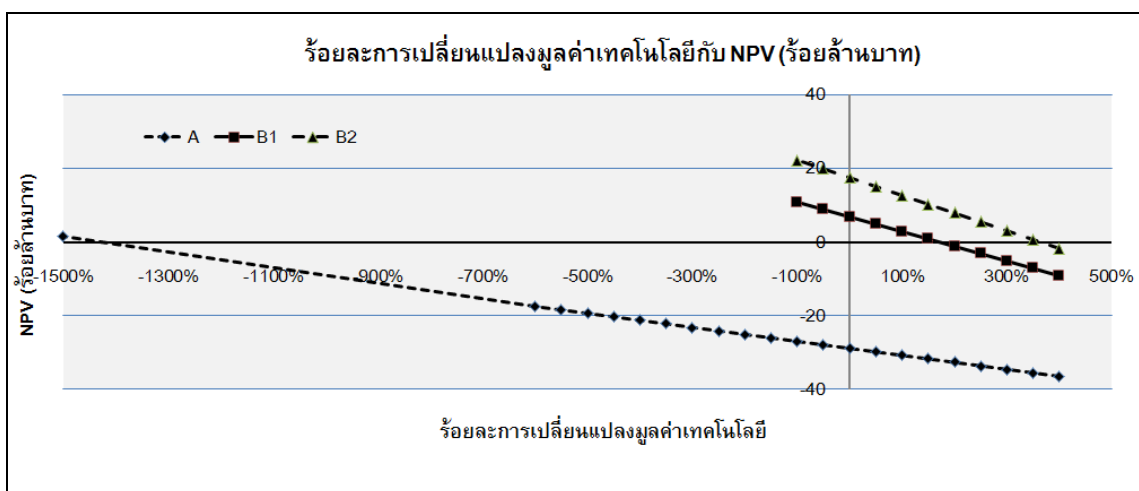
กรณีที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดิน

ผลการวิเคราะห์ความไวของโครงการ ทั้ง 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยี, กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตา และกรณีที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดิน โดยใช้ดัชนีวัดความคุ้มค่า คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PBP) ที่อัตราเงินเฟ้อร้อยละ 3, อัตราส่วนลดร้อยละ 10 และอายุการใช้งานระบบ 15 ปี รายละเอียดดังนี้

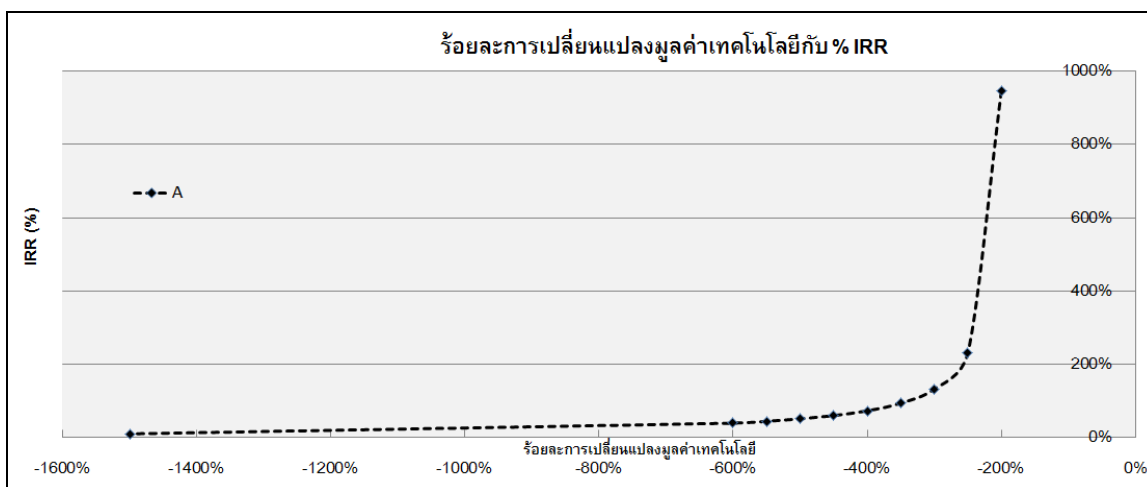
กรณีการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยี โดยเมื่อมูลค่าเทคโนโลยีเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ความคุ้มค่าในการลงทุนของทั้ง 3 ทางเลือกลดลง โดยทางเลือก A มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ในขณะที่ทางเลือก B2 มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด กราฟแสดงความสัมพันธ์ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ NPV, IRR และ PBP ดังแสดงในรูปที่ 4-38 ถึงรูปที่

กรณีการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตา โดยเมื่อราคาน้ำมันเตาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความคุ้มค่าในการลงทุนของทั้ง 3 ทางเลือกเพิ่มขึ้น โดยทางเลือก A มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในขณะที่ทางเลือก B2 มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด กราฟแสดงความสัมพันธ์ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตากับตัวแปร NPV, IRR และ PBP ดังแสดงในรูปที่ 4-41 ถึงรูปที่ 4-43

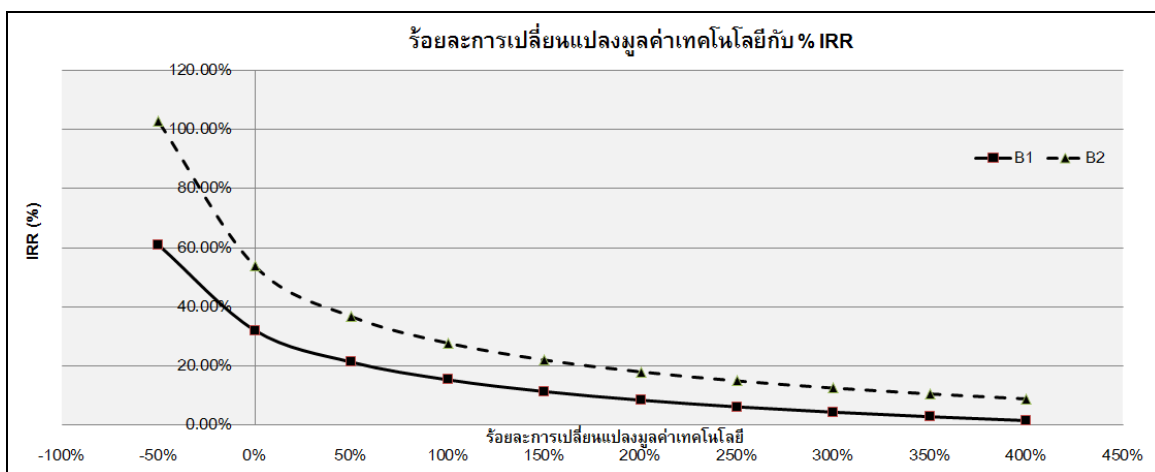
กรณีการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดิน โดยเมื่ออัตราค่าเช่าที่ดินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความคุ้มค่าในการลงทุนของทั้ง 3 ทางเลือกลดลง ทางเลือก A มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ในขณะที่ทางเลือก B1 และ B2 มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยหรืออาจไม่มีผลกระทบต่อโครงการเลย กราฟแสดงความสัมพันธ์ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตากับตัวแปร NPV, IRR และ PBP ดังแสดงในรูปที่ 4-44 ถึงรูปที่ 4-46



รูปที่ 4-38 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ NPV

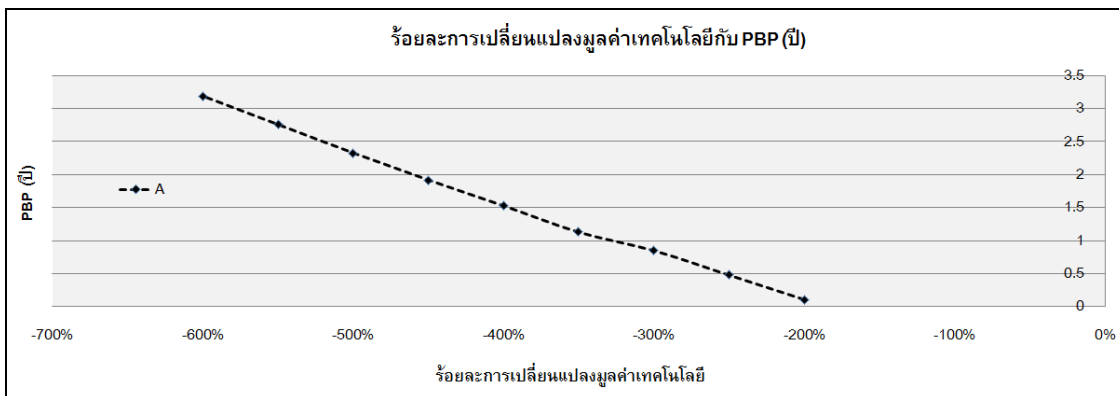


(ก) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ %IRR ของทางเลือก A

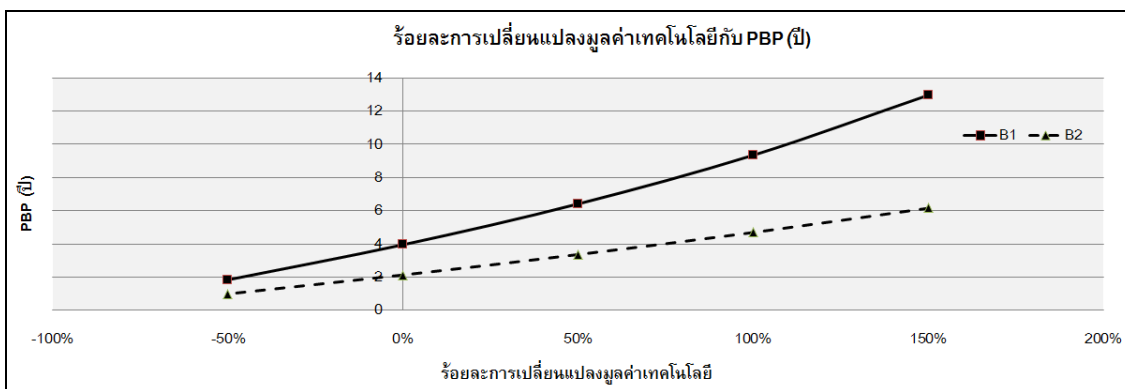


(ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ %IRR ของทางเลือก B1 และ B2

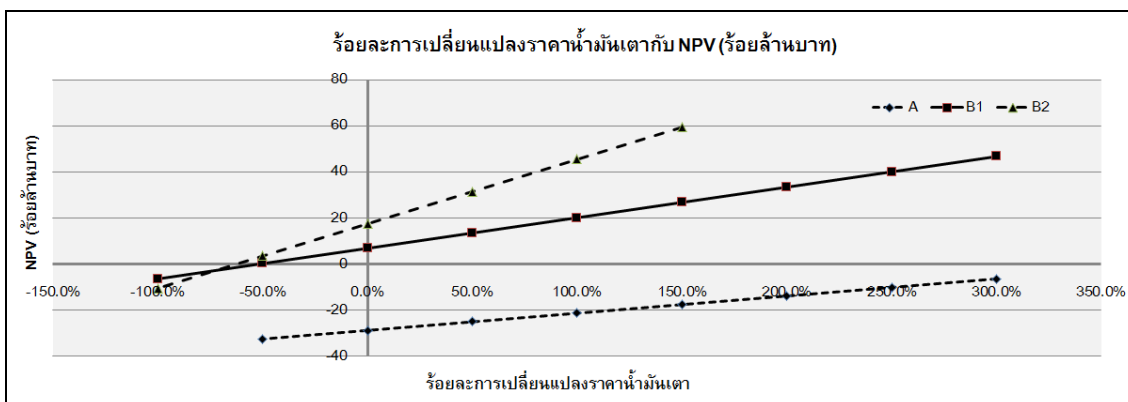
รูปที่ 4-39 (ก) และ (ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ %IRR



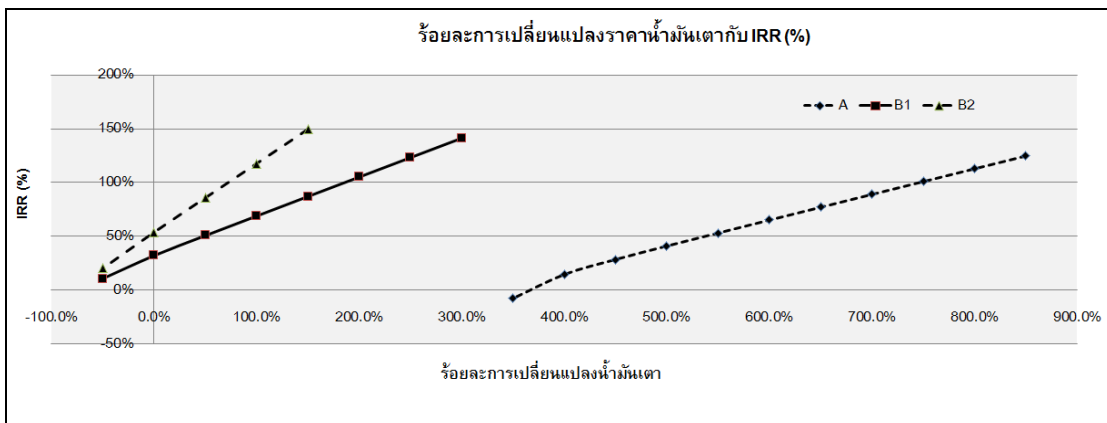
(ก) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ PBP ของทางเลือก A



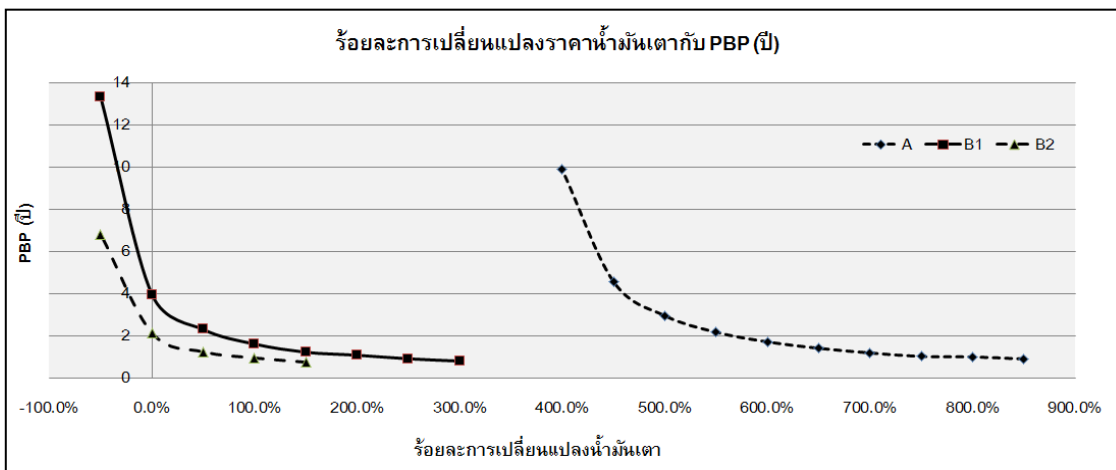
(ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ PBP ของทางเลือก B1 และ B2  
รูปที่ 4-40 (ก) และ (ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ PBP



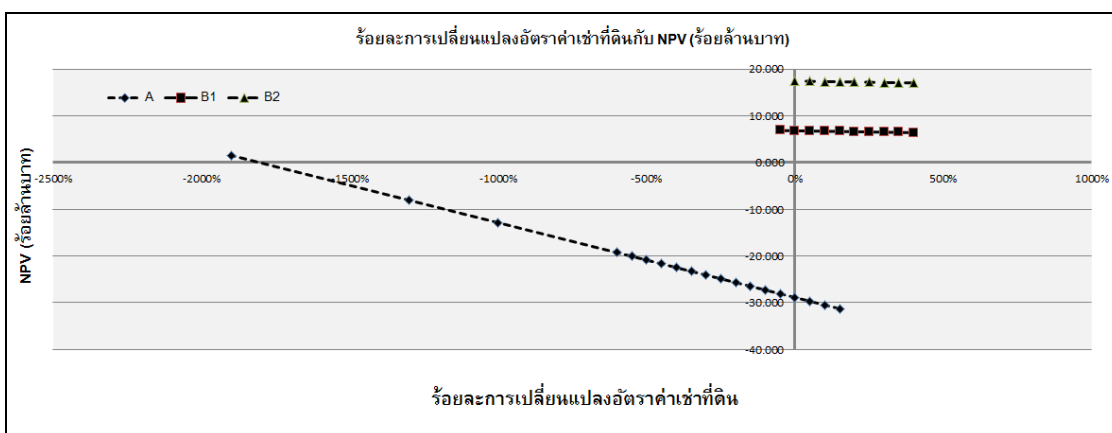
รูปที่ 4-41 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตากับ NPV



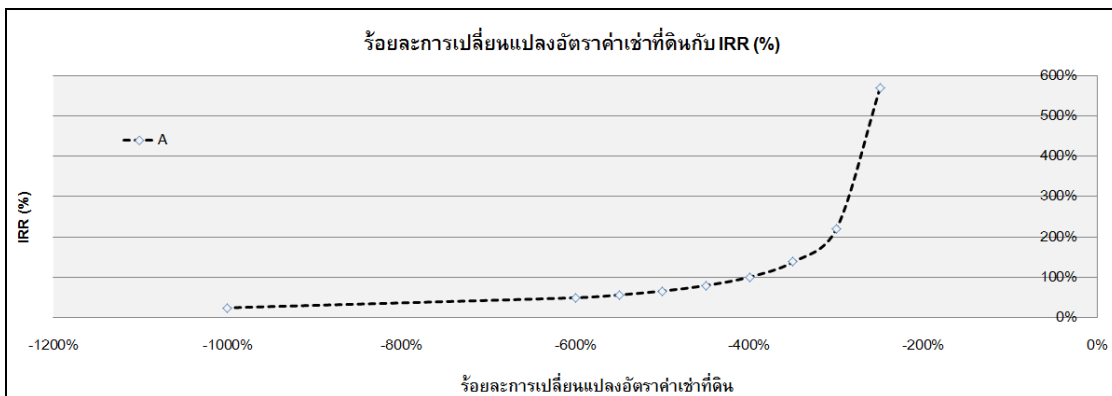
รูปที่ 4-42 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตากับ %IRR



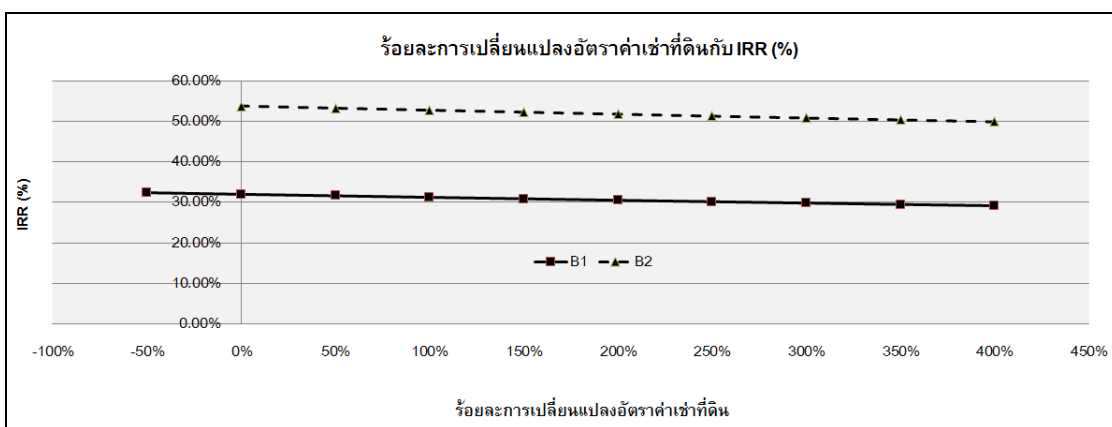
รูปที่ 4-43 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตากับ PBP



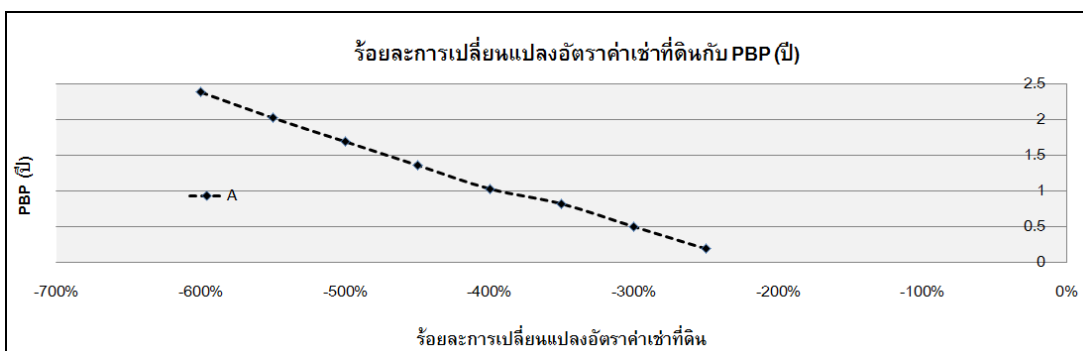
รูปที่ 4-44 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ NPV



(ก) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ %IRR ของทางเลือก A

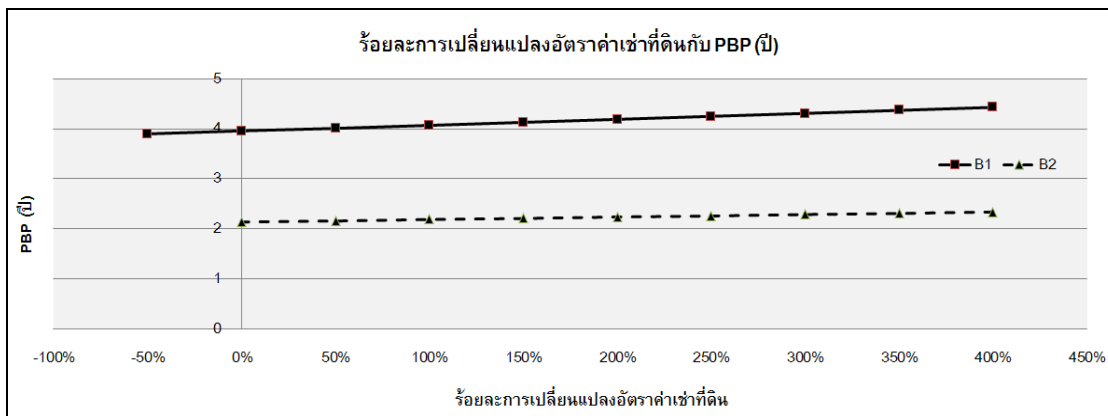


(ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ %IRR ของทางเลือก B1 และ B2  
รูปที่ 4-45 (ก) และ (ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ %IRR



(ก) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ PBP ของทางเลือก A





(ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ PBP ของทางเลือก B1 และ B2  
รูปที่ 4-46 (ก) และ (ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ PBP

#### 4.6 ผลสรุปการศึกษา

จากผลการศึกษาข้อมูลการดำเนินงาน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ ผลพลอยได้จากการบำบัดของกรณีระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 3 ทางเลือก สามารถสรุปผลอัตราผลิตโดยรวมและอัตราผลิตย่อยด้านวัสดุและพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการบำบัด รวมถึงผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ รวมถึงสรุปข้อเสนอแนะของทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ได้ดังแสดงในตารางที่ 4-45 และตารางที่ 4-46 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-45 สรุปผลการศึกษาทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

รายการ	ทางเลือก A	ทางเลือก B1	ทางเลือก B2
ระบบบำบัดน้ำกากส่า	ระบบหมัก และระบบบำบัดต่อเนื่อง	ระบบระเหย แบบ TVR	ระบบระเหย แบบ MVR
<b>1. ปริมาณน้ำกากส่าที่ต้องบำบัด</b>	216,000 m <sup>3</sup> /ปี		
<b>2. มูลค่าเทคโนโลยี (บาท)</b>	190,000,000	400,000,000	480,000,000
<b>3. พื้นที่ในการใช้งานระบบ (ไร่)</b>	80	5	5
<b>4. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่า (บาท/ปี)</b>			
4.1 ค่าใช้จ่ายในการบำบัด	371,747,719 (ร้อยละ 94)	17,539,948 (ร้อยละ 6)	16,269,920 (ร้อยละ 9)
4.2 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	23,888,060 (ร้อยละ 6)	288,350,607 (ร้อยละ 94)	161,122,166 (ร้อยละ 91)
<b>5. ผลการวิเคราะห์อัตราผลผลิต (Productivity)</b>			
5.1 Material Productivity ;MP (MJ/m <sup>3</sup> )	654	3,205	3,205
5.2 Energy Productivity;EP (MJ/MJ)	5.75	1.47	3.01
5.3 Total Energy Productivity;TEP (MJ/MJ)			
1) กรณีผลิตสุราขาว	0.76	1.10	1.76
2) กรณีผลิตสุราผสม	0.28	0.73	0.98
5.4 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ บำบัดน้ำกากส่า (บาท/m <sup>3</sup> )	1,832	1,416	821
<b>6. ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์</b>			
- NPV	(2,886.97)	681.76	1,745.16
- IRR	-	32.01	53.80
- PB	-	3.96	2.14

ตารางที่ 4-46 สรุปข้อเสนอแนะของทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

รายการ	ทางเลือก A	ทางเลือก B1	ทางเลือก B2
สิ่งที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- โอกาสการเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ในขณะการเผาไหม้ ก๊าซชีวภาพในระบบหม้อไอน้ำ</li> <li>- การรั่วซึมของน้ำเสียจากบ่อกักเก็บของกระบวนการ</li> </ul>	โอกาสการเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO <sub>2</sub> ) ในขณะการเผาไหม้น้ำกากส่าเข้มข้นในระบบเตาเผา	
การใช้ประโยชน์ด้านพลังงานทดแทน	การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาในระบบหม้อไอน้ำ	ไอน้ำส่งกลับเข้าสู่กระบวนการผลิต ทดแทนการผลิตไอน้ำจากระบบหม้อไอน้ำ	
	มีสัดส่วนการส่งก๊าซชีวภาพเข้าสู่ระบบเผาก๊าซทิ้ง ร้อยละ 43 ควรหาวิธีการนำไปใช้ประโยชน์ที่เหมาะสม	ไอน้ำที่ได้จากระบบเตาเผาอาจมีมากเกินไปกว่าความต้องการของระบบ ควรหาวิธีการนำไปใช้ประโยชน์ที่เหมาะสม	

## บทที่ 5

### อภิปรายผลการวิจัย

#### 5.1 ผลการศึกษากระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A และ B

เมื่อศึกษากระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานกรณีศึกษา ได้แก่ โรงงาน A ผลิตภัณฑสุราขาว และ โรงงาน B ผลิตภัณฑสุราผสม พบว่า ทั้ง 2 โรงงาน มีการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบเช่นเดียวกัน (การหมักส่า ขึ้นกับสูตรเฉพาะของผลิตภัณฑ) เมื่อผ่านกระบวนการกลั่นจากหอกลั่นลำดับที่หนึ่งจะได้น้ำกากส่าเช่นเดียวกัน แต่มีขั้นตอนการปรุงผสมหรือการกลั่นลำดับที่สองเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑสุราขาวและสุราผสมแตกต่างกันออกไป

สิ่งที่สนใจศึกษาจากกระบวนการผลิตสุรา คือน้ำกากส่าที่ออกจากกระบวนการกลั่นจากหอกลั่นลำดับที่หนึ่งของโรงงาน A และ B ซึ่งเมื่อตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำกากส่าแล้วพบว่า ยังมีค่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ไม่สามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ โรงงานกรณีศึกษา A และ B จึงต้องมีระบบบำบัดน้ำกากส่าเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่ภายนอกโรงงาน ซึ่งปัจจุบันมีการใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่า ดังนี้

โรงงาน A ใช้ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม ซึ่งยังคงเหลือน้ำหลังบำบัด ที่มีค่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ควรเพิ่มระบบบำบัดต่อเนื่องเพื่อให้สามารถปล่อยน้ำทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ แต่ปัจจุบันแก้ปัญหาโดยขนส่งให้เกษตรกร ทั้งนี้ต้องเลือกใช้ในปริมาณที่เหมาะสม โดยโรงงานเป็นผู้รับผิดชอบภาระค่าใช้จ่ายในการขนส่งทั้งหมด ผลพลอยได้จากระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ การเกิดก๊าซชีวภาพในขั้นตอนการหมัก ที่มีทั้งส่วนที่ต้องเข้าระบบเผาก๊าซทิ้ง และบางส่วนสามารถส่งเข้าเป็นเชื้อเพลิงในระบบหม้อไอน้ำของโรงงาน A ได้ทันที ปัจจุบันโรงงาน A ใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงหลักในกระบวนการผลิต และใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสนับสนุน

ในขณะที่โรงงาน B ใช้ระบบระเหยระเหยกากส่าและกำจัดโดยการเผา (ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)) ให้ผลการบำบัดสมบูรณ์ 100% มีผลพลอยได้จากระบบระเหย คือ การเผากำจัดน้ำกากส่าเข้มข้นในระบบเตาเผา ผลิตไอน้ำเพื่อส่งกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตได้

จากข้อมูลการบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานกรณีศึกษา A และ B ทำให้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่าที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมผลิตสุราที่สามารถให้ผลการบำบัดน้ำกากส่าและน้ำปนเปื้อนน้ำกากส่าเป็นน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและสามารถนำพลังงานที่ได้จากระบบบำบัดกลับมาใช้ทดแทนน้ำมันเตาในกระบวนการผลิตได้ โดยกำหนดเป็นทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ 3 ทางเลือก ได้แก่

- 1) ทางเลือก A; ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง
- 2) ทางเลือก B1; ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)
- 3) ทางเลือก B2; ระบบระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR)

การเปรียบเทียบทางเลือกทั้ง 3 นี้จะใช้ข้อมูลอ้างอิงจากโรงงานกรณีศึกษาเป็นหลัก โดยเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบน้ำกากส่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำกากส่าโดยพิจารณาเกณฑ์คุณลักษณะน้ำทิ้งโดยอ้างอิงจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 พบว่า องค์ประกอบของน้ำกากส่าจากทั้ง 2 โรงงานมีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 20 (ร้อยละ 9-17) จึงถือว่าสามารถเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำกากส่าได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงแหล่งที่มาของน้ำกากส่า

## 5.2 ผลการประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบัน

โดยการศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) รวมถึงค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่าในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา A และ B เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพิจารณาข้อมูลการดำเนินงานของทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งสาม

การประเมินทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) ใช้ข้อมูลอ้างอิงจากข้อมูลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่ารวมถึงการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ยราย 12 เดือน โดยพิจารณารายงานค่าสถิติ ได้แก่ ค่าสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min), ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (C.V) ประกอบการเลือกที่มาของข้อมูล ส่วนการประเมินค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่าใช้ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษาเป็นหลัก

ดังนั้นผลการประเมินทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) จะได้อยู่ในรูปแบบสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำอากาศ และข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำอากาศ ได้แก่ มูลค่าเทคโนโลยีและค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำอากาศ รวมถึงผลพลอยได้จากการบำบัดเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเปรียบเทียบทางเลือก

### 5.3 ผลการศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำอากาศกรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

การศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) รวมถึงค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานทางเลือกระบบบำบัดน้ำอากาศกรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 3 ทางเลือก โดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำอากาศและเปรียบเทียบที่ปริมาณน้ำอากาศที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ  $18,000 \text{ m}^3/\text{เดือน}$  หรือ  $216,000 \text{ m}^3/\text{ปี}$  ได้ผลการศึกษาดังนี้

**ทางเลือก A;** ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้นำส่งเข้าสู่ระบบหม้อไอน้ำได้  $6,748,146 \text{ Nm}^3$  ผลิตไอน้ำส่งกลับเข้าสู่กระบวนการได้  $51,840$  ตันไอน้ำ น้ำหลังบำบัดจากระบบหมักปริมาณ  $156,103 \text{ m}^3$  ที่ถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดต่อเนื่องบำบัดน้ำจนสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้  $156,103 \text{ m}^3$  น้ำที่ไหลล้นออกจากระบบหมักส่งเข้าระบบตะกอนเร่งบำบัดจนได้น้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน  $6,377 \text{ m}^3$  และกากตะกอนก้นบ่อหลังบำบัดประมาณ  $53,530$  ตัน

**ทางเลือก B1;** ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR) เมื่อผ่านเข้าสู่ระบบระเหย มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบระเหยเท่ากับ  $4,596,480 \text{ kWh}$  ใช้ไอน้ำในการระเหยอากาศ  $109,296$  ตันไอน้ำ และใช้สารเคมี (โซดาไฟ)  $341,280$  ลิตร มีน้ำคอนเดนเสทแบบไม่ปนเปื้อนน้ำอากาศใช้เป็นน้ำป้อนให้กับระบบหม้อไอน้ำได้  $42,625 \text{ m}^3$  น้ำคอนเดนเสทแบบปนเปื้อนน้ำอากาศส่งเข้าระบบตะกอนเร่งเพื่อบำบัดเป็นน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน  $66,671 \text{ m}^3$  ระบบระเหยสามารถผลิตน้ำอากาศเข้มข้นได้  $47,520 \text{ m}^3(Q_{CS})$ (ลบ.ม.น้ำอากาศเข้มข้น) ส่งเข้าระบบเตาเผาทั้งหมด  $100\%$  มีการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสนับสนุน และใช้พลังงานไฟฟ้า  $3,309,293 \text{ kWh}$  ผลิตไอน้ำจากระบบเตาเผาได้  $211,464$  ตันไอน้ำ และมีขี้เถ้าจากการเผาไหม้ประมาณ  $11,880$  ตัน

**ทางเลือก B2;** ระบบระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR) เมื่อผ่านเข้าสู่ระบบระเหย มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบระเหยเท่ากับ  $15,120,000 \text{ kWh}$  ใช้ไอน้ำในการระเหยอากาศ  $1,806$  ตันไอน้ำ และใช้สารเคมี (โซดาไฟ)  $24,000$  ลิตร และกรดไนตริก  $84,000$  ลิตร มีน้ำคอนเดนเสทแบบปนเปื้อนน้ำอากาศส่งเข้าระบบตะกอนเร่งเพื่อบำบัดเป็นน้ำทิ้งผ่าน

เกณฑ์มาตรฐาน  $168,480 \text{ m}^3$  ระบบประเหยสามารถผลิตน้ำกากส่าเข้มข้นได้  $47,520 \text{ m}^3 (Q_{CS})$  (ลบ.ม. น้ำกากส่าเข้มข้น) ส่งเข้าระบบเตาเผาทั้งหมด 100% มีการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสนับสนุน และใช้พลังงานไฟฟ้า  $3,309,293 \text{ kWh}$  ผลิตไอน้ำจากระบบเตาเผาได้ 211,464 ตันไอน้ำ และมีจีเถ้าจากการเผาไหม้ประมาณ 11,880 ตัน

ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้ทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ได้ผลการศึกษา ดังนี้

ทางเลือก A; ระบบหมักและระบบต่อเนื่อง มีมูลค่าเทคโนโลยี 190,000,000 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่ารวม 395,635,779 บาท คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการบำบัด และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในการบำบัดเท่ากับ 371,747,719 บาทหรือคิดเป็นร้อยละ 94 และ 23,888,060 บาทหรือคิดเป็นร้อยละ 6 ของค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่ารวม ตามลำดับ

ทางเลือก B1; ระบบประเหยแบบ TVR มีมูลค่าเทคโนโลยี 400,000,000 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่ารวม 305,890,555 บาท คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการบำบัด และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในการบำบัดเท่ากับ 17,539,948 บาทหรือคิดเป็นร้อยละ 6 และ 288,350,607 บาทหรือคิดเป็นร้อยละ 94 ของค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่ารวม ตามลำดับ

ทางเลือก B2; ระบบประเหยแบบ MVR มีมูลค่าเทคโนโลยี 480,000,000 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่ารวม 177,392,086 บาท คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการบำบัด และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในการบำบัดเท่ากับ 16,269,920 บาทหรือคิดเป็นร้อยละ 9 และ 161,122,166 บาทหรือคิดเป็นร้อยละ 91 ของค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่ารวม ตามลำดับ

## 5.4 การประเมินผลการดำเนินงานของทั้ง 3 ทางเลือก

การประเมินผลการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำกากส่า โดยศึกษาจากข้อมูลการดำเนินงาน ทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ด้านการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) และด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัด พบว่า

### 5.4.1 การประเมินผลด้านการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน);

พิจารณาอัตราผลผลิตด้านวัสดุ (Material Productivity;MP)

พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อน้ำกากส่า พบว่า ทางเลือก B1 และทางเลือก B2 สามารถผลิตพลังงานทดแทนประมาณ  $3,205 \text{ MJ/m}^3$  โดยทางเลือก A มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ  $654 \text{ MJ/m}^3$

#### พิจารณาอัตราผลผลิตด้านพลังงาน (Energy Productivity;EP)

พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อพลังงานที่ใช้ในการบำบัด พบว่า ทางเลือก A มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.65 MJ/MJ รองลงมาคือ ทางเลือก B2 มีค่าเท่ากับ 3.01 MJ/MJ และทางเลือก B1 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.47 MJ/MJ

#### พิจารณาอัตราผลผลิตด้านพลังงานโดยรวม (Total Energy Productivity;TEP)

ประสิทธิภาพด้านพลังงานทดแทน โดยแยกคิดเป็น 2 กรณี คือ

- 1) กรณีการผลิตสุราขาว ทางเลือก B2 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1.76 MJ/MJ รองลงมาคือ ทางเลือก B1 มีค่าเท่ากับ 1.10 MJ/MJ และทางเลือก A มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.76 MJ/MJ
- 2) กรณีการผลิตสุราผสม ทางเลือก B2 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.98 MJ/MJ รองลงมาคือ ทางเลือก B1 มีค่าเท่ากับ 0.73 MJ/MJ และทางเลือก A มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.28 MJ/MJ

ในที่นี้ ประสิทธิภาพพลังงานทดแทน หมายถึง ความสามารถในการนำพลังงานที่ได้จากระบบบำบัดกลับมาใช้ทดแทนการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิต ดังนั้นหากค่าประสิทธิภาพพลังงานทดแทนดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า ระบบบำบัดน้ำกากส่าที่สนใจศึกษาสามารถผลิตพลังงานทดแทนนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตสุราได้ทั้งหมด ตัวอย่างการพิจารณาประสิทธิภาพพลังงานทดแทนในกรณีการผลิตสุราขาว จะเห็นว่า ทางเลือก B2 มีประสิทธิภาพพลังงานทดแทนเท่ากับ 1.76 MJ/MJ ( $> 1$ ) มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบทางเลือก B2 สามารถผลิตพลังงานทดแทนได้มากกว่าความต้องการของกระบวนการผลิตสุราของโรงงาน กรณีการตัดสินใจเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่าทางเลือกนี้ จึงควรศึกษาวิธีการนำพลังงานทดแทนที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมด้วย

#### 5.4.2 การประเมินผลด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัด;

##### พิจารณาอัตราผลผลิตย่อยด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัด (Operating Expense Productivity; OEP)

พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายในการบำบัด พบว่า ทางเลือก B2 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 42.55 MJ/บาท รองลงมาคือ ทางเลือก B1 มีค่าเท่ากับ 39.47 MJ/บาท และทางเลือก A มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.38 MJ/บาท



พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการบำบัด พบว่า ทางเลือก A มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.91 MJ/บาท รองลงมาคือ ทางเลือก B2 มีค่าเท่ากับ 4.30 MJ/บาท และทางเลือก A มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 2.40 MJ/บาท

อัตราผลผลิตด้านค่าใช้จ่ายดำเนินระบบบำบัดโดยรวม

(Total Operating Expense Productivity; TOEP);

อัตราผลผลิตรวมด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัด พบว่า ทางเลือก B2 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3.90 MJ/บาท รองลงมาคือ ทางเลือก B1 มีค่าเท่ากับ 2.26 MJ/บาท และทางเลือก A มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.36 MJ/บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่า (Costs of spent wash Treatment; CT);

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำกากส่า พบว่า ทางเลือก B2 มีค่าใช้จ่ายเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่า น้อยที่สุด เท่ากับ 821 บาท/m<sup>3</sup> รองลงมาคือทางเลือก B1 มีค่าเท่ากับ 1,416 บาท/m<sup>3</sup> และทางเลือก A มีค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้งานระบบบำบัดน้ำกากส่ามากที่สุดเท่ากับ 1,831 บาท/m<sup>3</sup>

## 5.5 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

กำหนดให้การเลือกดำเนินงานลงทุนระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานโรงงานเป็นผู้ลงทุนโครงการทั้งหมด โดยไม่มีการกู้ยืมจากแหล่งเงินทุนภายนอก และกำหนดอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 3, อัตราคิดลดร้อยละ 10, ระยะเวลาโครงการ 15 ปี คำนวณชี้วัดทางการเงิน 3 คำนวณ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PBP) พบว่า ทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการลงทุนคือ ทางเลือก B2 มี NPV เท่ากับ 1,745.16 ล้านบาท, IRR เท่ากับร้อยละ 53.80 ระยะเวลาคืนทุน 2.14 ปี รองลงมาคือ ทางเลือก B1 มี NPV เท่ากับ 681.76 ล้านบาท, IRR เท่ากับร้อยละ 32.01 ระยะเวลาคืนทุน 3.96 ปี ส่วนทางเลือก A ยังไม่มีความเหมาะสมในการลงทุนมี NPV เท่ากับ - 2,886.97 ล้านบาท และไม่สามารถหาระยะเวลาคืนทุนได้

กรณีการวิเคราะห์ความไวของโครงการ โดยใช้ตัวแปรการเปลี่ยนแปลง 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 กำหนดให้มูลค่าเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลง, กรณีที่ 2 กำหนดให้ราคาน้ำมันเตาเปลี่ยนแปลง และกรณีที่ 3 กำหนดให้อัตราค่าเช่าที่ดินเปลี่ยนแปลง สรุปได้ว่า

**กรณีมูลค่าเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลง** ทางเลือก A มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในขณะที่ทางเลือก B2 มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

**กรณีราคาน้ำมันเตาเปลี่ยนแปลง** ทางเลือก A มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในขณะที่ทางเลือก B2 มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

**กรณีอัตราค่าเช่าที่ดินเปลี่ยนแปลง** ทางเลือก A มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ในขณะที่ทางเลือก B1 และ B2 มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยหรืออาจไม่มีผลกระทบต่อโครงการ

## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการนำพลังงานที่ได้จากระบบบำบัดมาใช้ทดแทนน้ำมันเตาในกระบวนการผลิต โดยสำรวจข้อมูลกระบวนการผลิตสุราและระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานกรณีศึกษา ได้แก่ โรงงาน A ผลิตภัณฑสุราขาว มีการใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าโดยระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม (Anaerobic Covered Lagoon) และโรงงาน B ผลิตภัณฑสุราผสม มีการใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าโดยระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR) จากข้อมูลการบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานกรณีศึกษา A และ B สามารถกำหนดเป็นทางเลือกระบบบำบัดน้ำกากส่ากรณีน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ 3 ทางเลือก ได้แก่

- 1) ทางเลือก A; ระบบหมักและระบบบำบัดต่อเนื่อง
- 2) ทางเลือก B1; ระบบระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)
- 3) ทางเลือก B2; ระบบระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR)

จากการประเมินการใช้ทรัพยากร (วัสดุและพลังงาน) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัด พบว่า ระบบบำบัดน้ำกากส่าที่มีความเหมาะสมสำหรับโรงงานผลิตสุรา คือ ทางเลือก B2 ระบบระเหยแบบ MVR โดยมีผลการพิจารณาด้านอัตราผลผลิตด้านทรัพยากร(วัสดุและพลังงาน) และค่าใช้จ่ายในการบำบัด ดังนี้

- 1) พิจารณาประสิทธิภาพพลังงานทดแทน  
กรณีการผลิตสุราขาว; ทางเลือก B2 มีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานทดแทนมากที่สุด  
มีค่าเท่ากับ 1.76 ( $>1$ )  
กรณีการผลิตสุราผสม; ทางเลือก B2 มีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานทดแทนมากที่สุด  
มีค่าเท่ากับ 0.98 ( $\leq 1$ )
- 2) พิจารณาอัตราผลผลิตด้านพลังงานต่อลบ.ม.น้ำกากส่า  
ทางเลือก B2 สามารถผลิตพลังงานทดแทนได้มากที่สุด 3,205 ต่อลบ.ม.น้ำกากส่า

### 3) พิจารณาค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่า

ทางเลือก B2 มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 821 บาทต่อลบ.ม.น้ำกากส่า

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า ทางเลือก B2 มีความคุ้มค่าในการลงทุน NPV เท่ากับ 1,745 ล้านบาท IRR เท่ากับ 53.80 % ระยะเวลาคืนทุน 2.14 ปี โดยเมื่อวิเคราะห์ความไวของโครงการ โดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปร 3 กรณี พบว่า กรณีมูลค่าเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลง และกรณีราคาน้ำมันเตามีการเปลี่ยนแปลง จะมีผลต่อความไวของโครงการของทางเลือก B2 ในขณะที่กรณีการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินไม่มีผลต่อความไวของโครงการ

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

### ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน

1. ควรมีการศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียหลังการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเพิ่มเติมระบบบำบัดต่อเนื่อง หรือการวิจัยและพัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อให้สามารถปล่อยน้ำลงสู่สิ่งแวดล้อมหรือผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายได้
2. ควรมีการศึกษาวิธีการกักเก็บก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือหาวิธีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ เป็นต้น

### ระบบระเหย

1. ควรมีการศึกษาความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการระเหยที่สามารถปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้า ไอน้ำและสารเคมีในการระเหย
2. ไอน้ำที่ได้จากการเผาไหม้น้ำกากส่าเข้มข้นในระบบเตาเผา ควรหาวิธีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม เช่น ขายไอน้ำให้กับลูกค้าอุตสาหกรรมรายอื่นๆ หรือการผลิตพลังงานไฟฟ้าความร้อนร่วมสำหรับใช้ภายในโรงงานและขายให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม เป็นต้น

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย ปี 2554 (เบื้องต้น).กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน, 2555.

บริษัท แบล็คแอนด์ไวทซ์ (ประเทศไทย) จำกัด.รายงานการศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวลของภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก.สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพช.), 2543.

โรงงานอุตสาหกรรม,กรม.ข้อมูล โรงงานสุรากลั่น.[ออนไลน์].2556.แหล่งที่มา: [www.diw.go.th](http://www.diw.go.th) [22 กุมภาพันธ์ 2556]

ชเรศ ศรีสถิตย์ และปภาวดี โชคสุวรรณกิจ.รายงานวิจัยการลดซีโอดีและสีของน้ำกากส่าโดยใช้กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาถ้ำล่อยแอสฟัลท์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.ทุนวิจัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ศุภัชญา ชนชนะภัย. การใช้กากส่าของโรงงานสุราในการทำน้ำสกัดชีวภาพ.วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2550.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบุลย์.กากน้ำตาล.[ออนไลน์].2544. แหล่งที่มา: [www.tistr.or.th](http://www.tistr.or.th) [14 พฤศจิกายน 2555]

วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ. โครงการศึกษาวิจัยหลักเกณฑ์และเงื่อนไขการพิจารณาอนุญาต โรงงานสุรากลั่น.กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม,2550.

สุหทัยา จิระนันท์พิพร.การลดสีน้ำเสียกากส่าจากโรงงานสุราโดยใช้กลุ่มแบคทีเรีย.วิทยานิพนธ์ปริญญาคุยฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2551.

ลิวลี โปร่งทอง.การประยุกต์ใช้วิธีทางเคมีและชีวภาพในการบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา.

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2541.

สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน.คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับ

โรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน.หลักสูตรเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย  
อุตสาหกรรมและมูลสัตว์ หนังสือในโครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและ  
ประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน  
(พพ.) กระทรวงพลังงาน, 2553.

สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม.แนวทางหลักเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่เหมาะสมในการ

นำมาใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรม.กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวง  
อุตสาหกรรม,2554.

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุม

คุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.กรมโรงงาน  
อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ,2553.

รุ่งฤดี บุญสุ.การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร,2551.

สุธรรม ปทุมสวัสดิ์.การผลิตก๊าซชีวภาพ.วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา ปีที่ 15 ฉบับที่ 44 (ตุลาคม-

ธันวาคม 2545).มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.2545.

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,กรม.คลังความรู้ พลังงานก๊าซชีวภาพ.[ออนไลน์]

แหล่งที่มา: [www.dede.go.th](http://www.dede.go.th) [29 มกราคม 2554]

อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์. การตัดสินใจเพื่อการลงทุน.[ออนไลน์].เอกสารประกอบการบรรยายวิชา  
3526301 การบัญชีเพื่อผู้บริหาร (Managerial Accounting). คณะวิทยาการจัดการ กลุ่ม  
วิชาการบัญชี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.แหล่งที่มา:  
[http://home.kku.ac.th/anuton/3526301/Doc\\_04.pdf](http://home.kku.ac.th/anuton/3526301/Doc_04.pdf) [13 พฤศจิกายน 2554]

สราวุธ ศรศักดิ์. การวิเคราะห์โครงการการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย เพื่อทดแทนน้ำมันเตาใน  
หม้อไอน้ำ.รายงานการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2546

วิฑูรย์ ตันศิริมงคล. AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก. กรุงเทพฯ.  
กราฟฟิค แอนด์ ปริ้นติ้ง, 2542.

อุษา แพนพันธ์อ่อน. การเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมในเชิงการอนุรักษ์และประหยัดพลังงาน  
สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรการควบคุมปริมาณความสกปรกของน้ำทิ้งจาก  
ภาคอุตสาหกรรมเพื่อฟื้นฟูคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา พ.ศ. 2551, 25 มิถุนายน 2551

ธีรวุฒิ สุวัฒน์ศรี. ทฤษฎีการจัดการน้ำแบบบูรณาการ ทางเลือกหรือต้องเลือก.[ออนไลน์].  
ประชาชาติธุรกิจ.แหล่งที่มา:  
[http://www.prachachat.net/view\\_news.php?newsid=02edi04130154&sectionid=0212&day=2011-01-13](http://www.prachachat.net/view_news.php?newsid=02edi04130154&sectionid=0212&day=2011-01-13) [13 มกราคม 2554]

ศรีจันทร์ อุทโยภาส. การปรับปรุงกฎหมายสิ่งแวดล้อมและกฎระเบียบภายใต้กรมโรงงาน  
อุตสาหกรรมในรอบ 3 ปี.[ออนไลน์].แหล่งที่มา:<http://www.tei.or.th/tbcsd/event/110426-law-Srichan.pdf> [10 ธันวาคม 2555]

ทัศนีย์ ด้ฐกมล.รายงานการวิจัย การใช้ประโยชน์ของน้ำกากส่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมัน  
สำปะหลังทดแทนพลังงาน.ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
 งบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2552 ถึง 2553.

ทัศนีย์ บุญประจำ.อิทธิพลของน้ำกากส่าต่อการเจริญเติบโตระยะแรกของอ้อยปลูก.การประชุมทาง  
 วิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11.หน้า 704-711.มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
 ,2553.

อังสนา ทองอำไพ.ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศของโรงงานกลั่นสุรจากากกากน้ำตาลในประเทศไทย.  
ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2550.

### ภาษาอังกฤษ

Green Energy Network.Anaerobic Covered Lagoon or Covered Lagoon. [online].2012. Available  
 from: [http://www.greenenergynet.net/tec\\_Covered\\_Lagoon.html](http://www.greenenergynet.net/tec_Covered_Lagoon.html) [10 ธันวาคม 2555]

Cortez and Brossard Perez,Experiences on Vinasse Disposal PartIII :Combustion of Vinasse-#6  
Fuel Oil Emulsions. Brazilian Journal of Chemical Engineering Volume 14 no.1Sao  
 Paulo Mar,1997.

Waganoff P.A., Inkson M.B.,and Lavarack B.P.,“After the Oil Has Gone: Utilization of Sugar  
 Cane Co-Products”, ISSCT CO-PRODUCTS WORKSHOP,15-19 March 2009,  
 Coimbatore, India.

Chin Shu Chen and Ernesto Hernandez. Chapter 6: Design and Performance Evaluation of  
Evaporation.Food Engineering Practice,1997.



Paul E.Minton.Handbook of Evaporation Technology.Noyes Publications.Westwood,  
New Jersey.United State of America,1986.

GEA Process Engineering Inc.Evaporators and Crystallizer Falling Film Evaporators. [online].

2013.Available from:

[http://www.niroinc.com/evaporators\\_crystallizers/falling\\_film\\_evaporators.asp](http://www.niroinc.com/evaporators_crystallizers/falling_film_evaporators.asp)

[2013,Jan 9]

GEA Process Engineering Inc.Evaporators and Crystallizer Forced\_Circulation Evaporators.

[online].2013.Available from:

[http://www.niroinc.com/evaporators\\_crystallizers/forced\\_circulation\\_evaporator.asp](http://www.niroinc.com/evaporators_crystallizers/forced_circulation_evaporator.asp)

[2013,Jan 10]

GEA Process Engineering Inc.Evaporators and Crystallizer Energy Management/Energy  
Optimization. [online].2013.Available from:

[http://www.niroinc.com/evaporators\\_crystallizers/energy\\_evaporation\\_plants.asp](http://www.niroinc.com/evaporators_crystallizers/energy_evaporation_plants.asp)

[2013,Jan 10]

Sarma and Barma.Energy Management in Multiple-Effect Evaporator System:A Heat Balance  
Analysis Approach.Gen.Math.Notes. Volume1 No.2, December2010 (pp.84-88).

GEA Process Engineering Division.Evaporation Technology using Mechanical Vapour

Recompression. [online].2013.Available from: [www.gea-wiegand.com](http://www.gea-wiegand.com)[2013,Jan 15]

William L.Kerr.Food Drying and Evaporation Processing Operations.Handbook of Farm,Dairy  
and Food Machinery,2007:303-340.

Deshpande.Energy Conservation through evaporation and incineration of spent  
wash.Modernisation of Indian Sugar Industry.1990:146-152.

CDM UNFCCC.Incineration of Spent Wash to Operate 1 MW Captive Cogeneration Project at Octaga Green Power and Sugar Co Ltd.(OGPSCL).[online].2012.Available from: <http://cdm.unfccc.int/Projects/Validation/DB/0B4R4FMEOKLSGIBSK429WVXUYQBTP0/view.html> [2012,Sep 30]

Mohana S.,Distillery spent wash:Treatment technologies and potential applications,Journal of Hazardous Materials 163(2009):12-25.

Sheehan G.J., and Greenfield P.F. ,Utilisation, Treatment and Disposal of Distillery Wastewater, Water Research14 (1980):257-277.

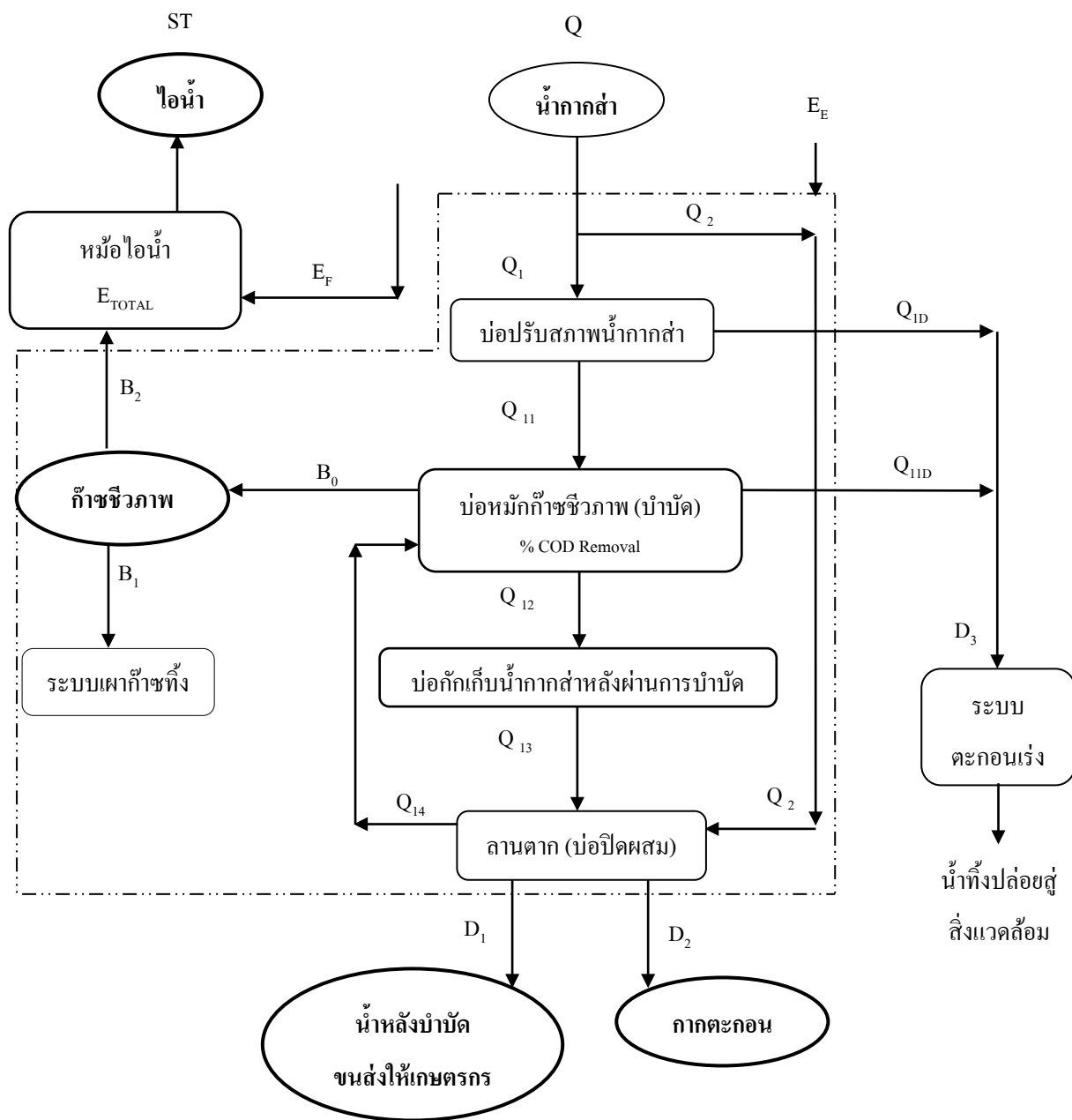
Brotherton F.,Alcohol Recovery in Falling Film Evaporators, Applied Thermal Engineering 22(2002):855-860.

Nagaraj and Kumar.Cost Effective Alternatives for disposal of Distillery Spent Wash with a View to Achieve Zero Discharge.Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference, Washington DC, United states of America, Oct 31- Nov 2,2005.

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก****ข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานของโรงงาน A**

โรงงาน A; ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม



รูป ก-1 แผนผังกระบวนการบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A

ตาราง ก-1 ข้อมูลการดำเนินงานราย 12 เดือนของระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม  
ของโรงงาน A

เดือน	ระบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม (m <sup>3</sup> )									พลังงาน ไฟฟ้า (E <sub>E</sub> ) (kWh)
	Q	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>11</sub>	Q <sub>12</sub>	Q <sub>13</sub>	Q <sub>14</sub>	Q <sub>1D</sub>	Q <sub>11D</sub>	
มกราคม	12,042	4,300	7,742	3,040	3,040	3,040	400	1,260	400	17,744
กุมภาพันธ์	14,025	7,664	6,361	7,844	7,844	7,844	400	(180)	400	30,292
มีนาคม	18,463	10,644	7,819	10,136	10,136	10,136	400	508	400	41,072
เมษายน	17,177	12,150	5,027	11,590	11,590	11,590	400	559	400	47,000
พฤษภาคม	15,446	11,913	3,533	11,658	11,658	11,658	400	255	400	43,956
มิถุนายน	16,063	13,003	3,060	13,392	13,392	13,392	400	(389)	400	48,792
กรกฎาคม	18,971	15,000	3,971	13,533	13,533	13,533	400	1,467	400	50,834
สิงหาคม	16,303	12,439	3,864	13,155	13,155	13,155	400	(716)	400	46,712
กันยายน	13,125	11,845	1,280	11,615	11,615	11,615	400	230	400	44,558
ตุลาคม	13,395	10,845	2,550	10,006	10,006	10,006	400	839	400	41,940
พฤศจิกายน	14,831	11,305	3,526	10,836	10,836	10,836	400	470	400	41,200
ธันวาคม	11,317	7,987	3,330	8,491	8,491	8,491	400	(504)	400	33,034
MAX	18,971	15,000	7,819	13,533	13,533	13,533	400	1,467	400	50,834
MIN	11,317	4,300	1,280	3,040	3,040	3,040		(716)		17,744
Mean*	15,014	10,979	4,035	10,872	10,872	10,872		107		41,856
S.D*	2,119	1,807	1,900	1,807	1,807	1,807		522		5,986
C.V*	14	16	47	17	17	17		-		14

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน  
(Coefficient of Variation, C.V) ไม่พิจารณาเดือนมกราคมและกรกฎาคม

ตาราง ก-1 (ต่อ) ข้อมูลการดำเนินงานราย 12 เดือนของระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบไม่ใช้ออกซิเจน  
ชนิดบ่อปิดคลุมของโรงงาน A

เดือน	ประสิทธิภาพการบำบัด			ก๊าซชีวภาพ				ของเสีย หลังบำบัด	
	COD <sub>Q11</sub> (mg/l)	COD <sub>Q12</sub> (mg/l)	COD Removal (%)	B <sub>0</sub> (Nm <sup>3</sup> )	B <sub>1</sub> (Nm <sup>3</sup> )	B <sub>2</sub> (Nm <sup>3</sup> )	%CH <sub>4</sub> (%)	D <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> )	D <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )
มกราคม	155,960	70,346	55	214,350	160,412	53,938	50	3,040	7,342
กุมภาพันธ์	164,085	69,320	58	628,405	223,102	405,303	52	7,844	5,961
มีนาคม	158,758	67,875	57	771,168	268,592	502,576	52	10,136	7,419
เมษายน	166,340	71,854	57	875,524	396,125	479,399	51	11,590	4,627
พฤษภาคม	167,918	71,395	57	854,176	370,566	483,610	51	11,658	3,133
มิถุนายน	175,288	75,102	57	985,873	468,846	517,027	51	13,392	2,660
กรกฎาคม	174,519	77,484	56	993,217	404,183	589,034	51	13,533	3,571
สิงหาคม	172,906	78,604	55	953,231	416,916	536,315	51	13,155	3,464
กันยายน	163,506	74,996	54	836,010	381,284	454,726	50	11,615	880
ตุลาคม	172,822	73,015	58	775,455	326,662	448,793	51	10,006	2,150
พฤศจิกายน	178,427	75,816	58	838,152	333,615	504,537	54	10,836	3,126
ธันวาคม	176,643	78,582	56	683,702	357,962	325,740	54	8,491	2,930
MAX	178,427	78,604	58	993,217	468,846	589,034	54	13,533	7,419
MIN	155,960	67,875	54	214,350	160,412	53,938	50	3,040	880
Mean*	169,669	73,656	57	820,169	354,367	465,802	52	10,872	3,635
S.D*	6,495	3,625	1	110,431	71,140	62,040	1	1,807	1,900
C.V*	4	5	2	13	20	13	2	17	52

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย (Mean) ,ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation , S.D) และ

สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation,C.V) ไม่พิจารณาเดือนมกราคมและกรกฎาคม

$$(2) \text{ค่า \% COD Removal} = \frac{\text{COD}_{Q11} - \text{COD}_{Q12}}{\text{COD}_{Q11}}$$

(3) Nm<sup>3</sup> หมายถึง Normal Cube โดย Normal แสดงอัตราการไหลของสารที่มีสถานะเป็นก๊าซเทียบกับ  
ก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas) เป็นก๊าซที่อุณหภูมิ 273.15 องศาเซลวิน, ความดัน 1 บรรยากาศ

ตาราง ก-2 ข้อมูลการดำเนินงานราย 12 เดือนของระบบผลิตไอน้ำและการใช้พลังงานความร้อนของโรงงาน A

เดือน	พลังงานความร้อน ของก๊าซชีวภาพ ( $\times 10^6$ MJ)			น้ำมันเตา		พลังงานความร้อนที่ใช้ ในการผลิตไอน้ำ $E_{TOTAL} = E_F + E_{B2}$ ( $\times 10^6$ MJ)	ไอน้ำ ที่ผลิตได้ (ST) (ton ST)
	$E_{B0}$	$E_{B1}$	$E_{B2}$	F (Litre)	$E_F$ ( $\times 10^6$ MJ)		
มกราคม	4.49	3.36	1.13	202,450	8.05	9.18	3,229
กุมภาพันธ์	13.15	4.67	8.48	66,600	2.65	11.13	3,728
มีนาคม	16.14	5.62	10.52	63,100	2.51	13.03	4,338
เมษายน	18.32	8.29	10.03	40,100	1.59	11.63	3,864
พฤษภาคม	17.88	7.76	10.12	32,000	1.27	11.39	3,604
มิถุนายน	20.63	9.81	10.82	2,400	0.10	10.92	3,484
กรกฎาคม	20.79	8.46	12.33	6,850	0.27	12.60	4,028
สิงหาคม	19.95	8.73	11.23	6,150	0.24	11.47	3,592
กันยายน	17.50	7.98	9.52	7,550	0.30	9.82	3,058
ตุลาคม	16.23	6.84	9.39	17,900	0.71	10.11	3,203
พฤศจิกายน	17.54	6.98	10.56	3,200	0.13	10.69	3,454
ธันวาคม	14.31	7.49	6.82	70,100	2.79	9.61	2,976
MAX	20.78	9.81	12.33	202,450	8.05	13.03	4,338
MIN	4.49	4.67	1.13	2,400	0.10	9.18	2,976
Mean*	17.17	7.42	9.75	30,910	1.23	10.98	3,530
S.D*	2.31	1.49	1.30	27,568	1.10	1.01	402
C.V*	0.13	0.20	13	-	-	9	11

หมายเหตุ \* (1) ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D) และ

สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, C.V) ไม่พิจารณาเดือนมกราคมและกรกฎาคม

(2) ไม่พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, C.V)  
ของปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ ( $E_F$ )



ตาราง ก-3 ความสัมพันธ์ที่ใช้ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุมของโรงงาน A

เดือน	ระบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดบ่อปิดคลุม ( $m^3/m^3$ )									$E_E$
	$Q_1/Q$	$Q_2/Q$	$Q_{11}/Q_1$	$Q_{1D}/Q_1$	$Q_{12}$ = $Q_{11}$	$Q_{13}$ = $Q_{12}$	$D_1$ = $Q_{13}$	$Q_{14}$	$Q_{11D}$	
มกราคม	0.36	0.64	0.71	0.29	0.71	0.71	0.71	400	400	1.47
กุมภาพันธ์	0.55	0.45	1.02	(0.02)	1.02	1.02	1.02	400	400	2.16
มีนาคม	0.58	0.42	0.95	0.05	0.95	0.95	0.95	400	400	2.22
เมษายน	0.71	0.29	0.95	0.05	0.95	0.95	0.95	400	400	2.74
พฤษภาคม	0.77	0.23	0.98	0.02	0.98	0.98	0.98	400	400	2.85
มิถุนายน	0.81	0.19	1.03	(0.03)	1.03	1.03	1.03	400	400	3.04
กรกฎาคม	0.79	0.21	0.90	0.10	0.98	0.98	0.98	400	400	2.68
สิงหาคม	0.76	0.24	1.06	(0.06)	0.90	0.90	0.90	400	400	2.87
กันยายน	0.90	0.10	0.98	0.02	1.06	1.06	1.06	400	400	3.39
ตุลาคม	0.81	0.19	0.92	0.08	0.98	0.98	0.98	400	400	3.13
พฤศจิกายน	0.76	0.24	0.96	0.04	0.92	0.92	0.92	400	400	2.78
ธันวาคม	0.71	0.29	1.06	(0.06)	1.06	1.06	1.06	400	400	2.92
MAX	0.90	0.64	1.06	0.29	1.06	1.06	1.06	400	400	3.39
MIN	0.36	0.10	0.71	(0.06)	0.71	0.71	0.71			1.47
Mean*	0.73	0.27	0.99	0.01	0.99	0.99	0.99			2.69
S.D*	0.11	0.11	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05			0.51
C.V*	15	41	5	-	5	5	5			19

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

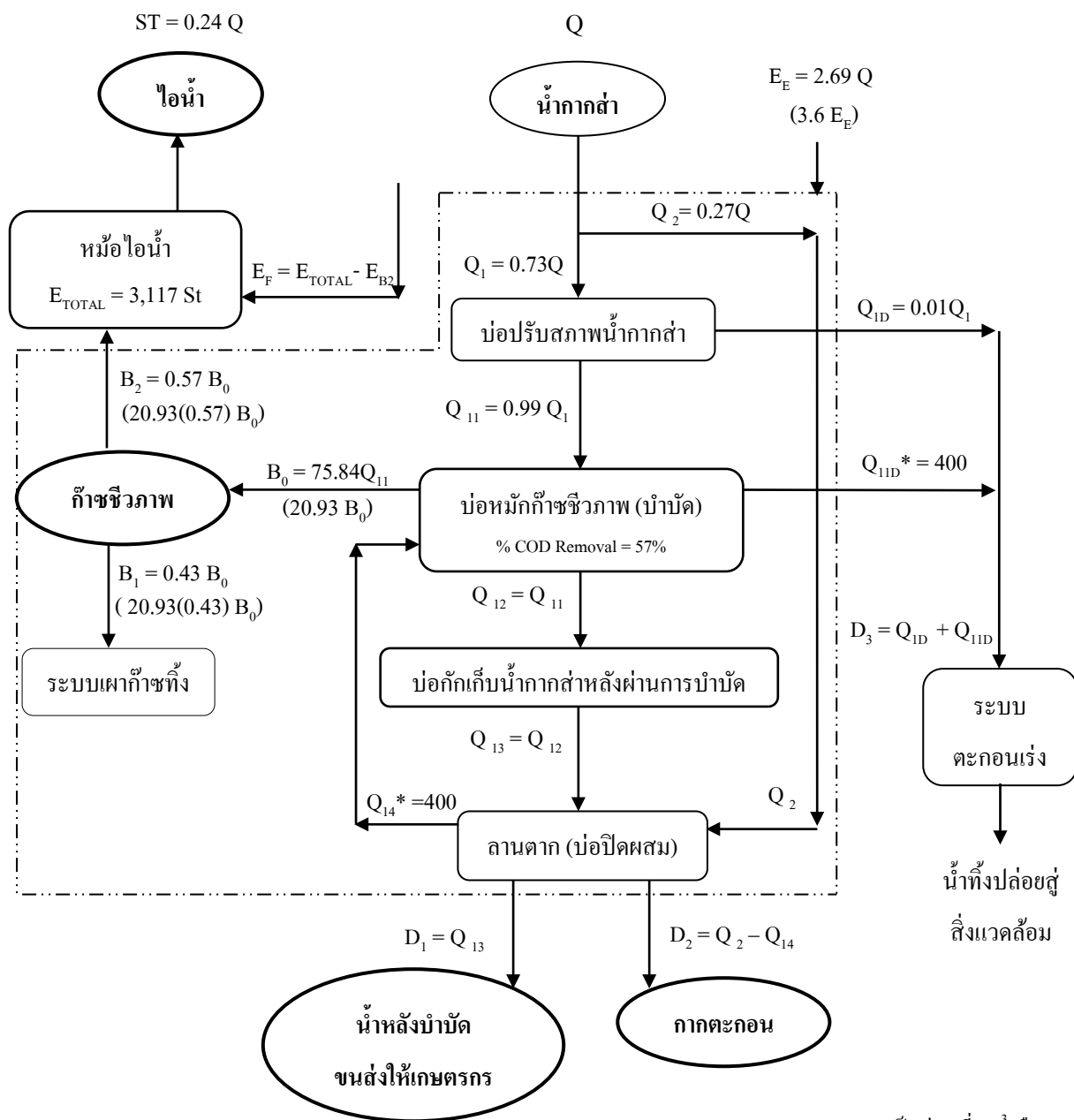
(Coefficient of Variation, C.V) ไม่พิจารณาเดือนมกราคมและกรกฎาคม

ตาราง ก-4 ความสัมพันธ์ด้านการใช้พลังงานความร้อนของโรงงาน A

เดือน	ระบบหม้อไอน้ำ				
	ก๊าซชีวภาพ			St/Q (Ton.St/m <sup>3</sup> )	E <sub>TOTAL</sub> /St (MJ/Ton/St)
	B <sub>0</sub> /Q <sub>11</sub> (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	B <sub>1</sub> /B <sub>0</sub> (Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> )	B <sub>2</sub> /B <sub>0</sub> (Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> )		
มกราคม	71.51	0.75	0.25	0.27	2,842.74
กุมภาพันธ์	80.11	0.36	0.64	0.27	2,985.80
มีนาคม	76.08	0.35	0.65	0.23	3,003.42
เมษายน	75.54	0.45	0.55	0.22	3,009.57
พฤษภาคม	73.27	0.43	0.57	0.23	3,161.96
มิถุนายน	73.62	0.48	0.52	0.22	3,133.41
กรกฎาคม	73.39	0.41	0.59	0.21	3,128.72
สิงหาคม	72.46	0.44	0.56	0.22	3,193.07
กันยายน	71.98	0.46	0.54	0.23	3,210.28
ตุลาคม	77.50	0.42	0.58	0.24	3,155.38
พฤศจิกายน	77.35	0.40	0.60	0.23	3,093.93
ธันวาคม	80.52	0.52	0.48	0.26	3,277.58
MAX	80.52	0.75	0.65	0.27	3,227.58
MIN	71.51	0.35	0.25	0.21	2,842.74
Mean*	75.84	0.43	0.57	0.24	3,117.44
S.D*	3.04	0.05	0.05	0.02	89.85
C.V*	4	12	9	8	3

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

(Coefficient of Variation, C.V) ไม่พิจารณาเดือนมกราคมและกรกฎาคม



\*เป็นค่าคงที่ (m<sup>3</sup>/เดือน)

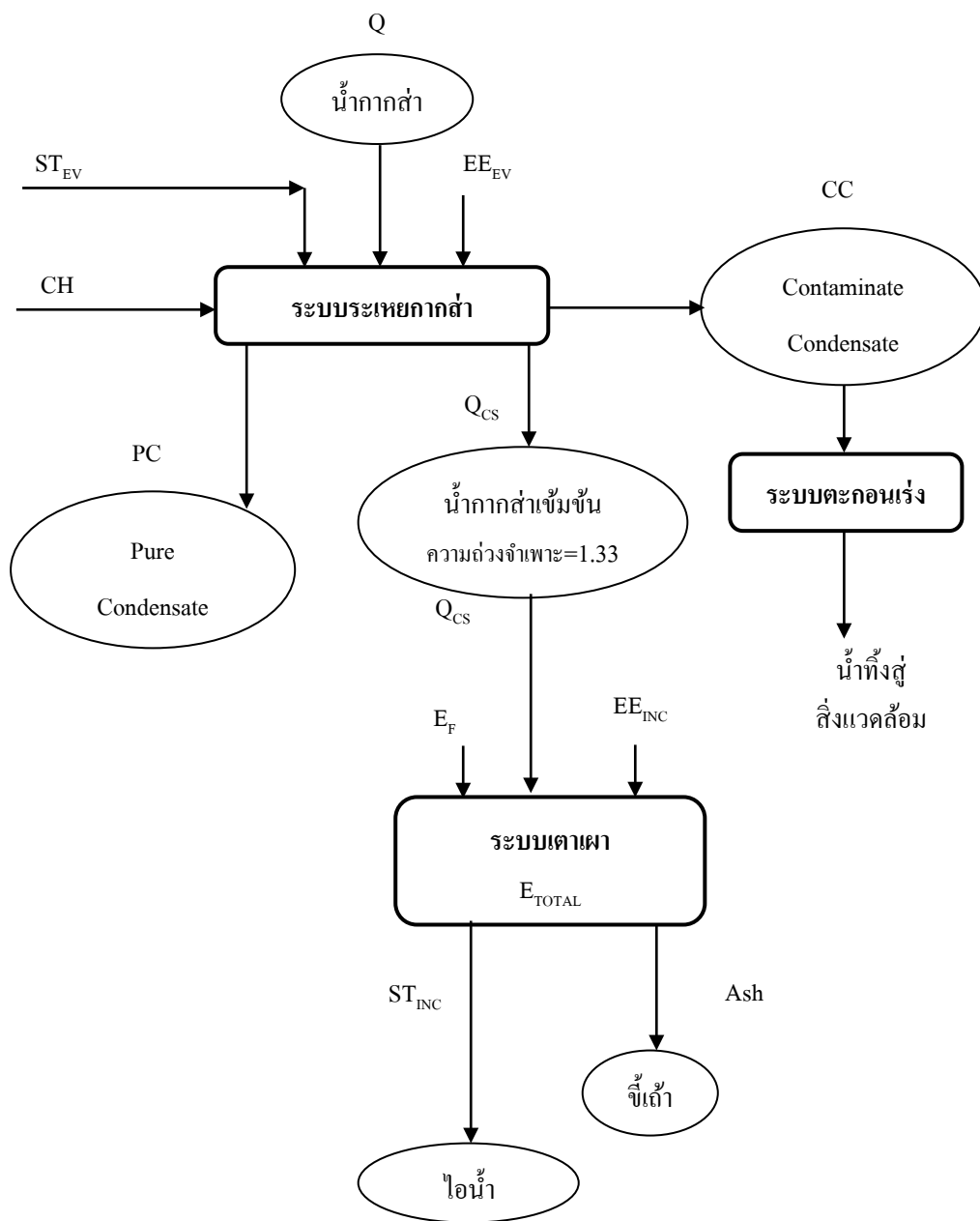
รูป ก-2 ปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A

ตาราง ก-5 ค่าอธิบายตัวแปรและสมการแสดงปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์  
กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน A

ตัวแปร	ความสัมพันธ์	หน่วย	คำอธิบาย
Q	Q	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลั่น
Q <sub>1</sub>	0.73Q	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำกากส่าก่อนปรับสภาพ
Q <sub>2</sub>	0.27Q	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำกากส่าที่ป้อนเข้าบ่อปิดผสม
Q <sub>11</sub>	0.99Q <sub>1</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำกากส่าหลังปรับสภาพที่ส่งเข้าสู่บ่อบำบัด
Q <sub>1D</sub>	0.01Q <sub>1</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำกากส่าที่ล้นออกจากบ่อปรับสภาพ
Q <sub>12</sub>	Q <sub>11</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำเสียที่ออกจากบ่อบำบัดฯเข้าสู่บ่อกักเก็บฯ
Q <sub>13</sub>	Q <sub>12</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำเสียหลังบำบัดที่ส่งเข้าบ่อปิดผสม
Q <sub>14</sub> <sup>*(1)</sup>	400	m <sup>3</sup>	ปริมาณ Sludge ที่ใช้เป็นเชื้อหมักส่งเข้าสู่บ่อบำบัดฯ
Q <sub>11D</sub> <sup>*(1)</sup>	400	m <sup>3</sup>	ปริมาณ Sludge ที่เสื่อมสภาพไหลออกจากบ่อบำบัด
D <sub>1</sub>	Q <sub>13</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำหลังบำบัดที่ขนส่งให้เกษตรกร
D <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub> - Q <sub>14</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณกากตะกอนที่ขายให้กับบริษัทผู้รับซื้อ
D <sub>3</sub>	Q <sub>1D</sub> + Q <sub>11D</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง
B <sub>0</sub>	75.84 Q <sub>11</sub>	Nm <sup>3</sup>	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้
	20.93(B <sub>0</sub> )	MJ	พลังงานความร้อนจากก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ทั้งหมด
B <sub>1</sub>	0.43 B <sub>0</sub>	Nm <sup>3</sup>	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ส่งไปเผาทิ้ง
	20.93(0.43 B <sub>0</sub> )	MJ	พลังงานความร้อนของก๊าซชีวภาพที่ส่งไปเผาทิ้ง
B <sub>2</sub>	0.57 B <sub>0</sub>	Nm <sup>3</sup>	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในหม้อไอน้ำ
	20.93(0.57 B <sub>0</sub> )	MJ	พลังงานความร้อนของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในหม้อไอน้ำ
ST	0.24 Q	ton ST	ปริมาณไอน้ำทั้งหมดที่ผลิตได้
E <sub>TOTAL</sub>	3,117 ST	MJ	พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ
E <sub>F</sub>	E <sub>TOTAL</sub> - E <sub>B2</sub>	MJ	พลังงานความร้อนจากน้ำมันเตาที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ
EE	2.69 Q	kWh	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำกากส่า
	3.6 EE	MJ	พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำกากส่า
หมายเหตุ* (1) Q <sub>14</sub> , Q <sub>11D</sub> เป็นค่าคงที่ต่อเนื่อง (2) Nm <sup>3</sup> หมายถึง Normal Cube โดย Normal แสดงอัตราการไหลของสารที่มีสถานะเป็นก๊าซเทียบกับก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas) เป็นก๊าซที่อุณหภูมิ 273.15 องศาเซลเซียส, ความดัน 1 บรรยากาศ (3) พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าพลังงานความร้อน 3.6 MJ/kWh (4) ค่าความร้อนของน้ำมันเตา = 39.77 MJ/Litre , ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ = 20.93 MJ/Nm <sup>3</sup>			

**ภาคผนวก ข****ข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานของโรงงาน B**

โรงงาน B;ระบบระเหย



รูป ข-1 แผนผังกระบวนการบำบัดน้ำกลั่นของ โรงงาน B

ตาราง ข-1 ข้อมูลการดำเนินงานราย 12 เดือนของระบบระเหยอากาศของโรงงาน B

เดือน	ระบบระเหยอากาศ						
	Q (m <sup>3</sup> )	Q <sub>CS</sub> (m <sup>3</sup> )	ST <sub>EV</sub> (ton ST)	PC (m <sup>3</sup> )	CC (m <sup>3</sup> )	CH (Litre)	EE <sub>EV</sub> (kWh)
มกราคม	12,858	2,959	7,010	3,167	3,843	24,190	319,068
กุมภาพันธ์	24,729	6,142	12,482	5,673	6,809	32,668	520,068
มีนาคม	24,810	4,978	13,067	6,016	7,051	43,604	485,177
เมษายน	17,989	3,663	10,250	4,573	5,677	23,754	437,800
พฤษภาคม	26,463	5,786	15,155	6,167	8,988	36,521	575,652
มิถุนายน	18,660	4,411	8,747	3,577	5,170	29,077	392,414
กรกฎาคม	22,251	5,019	10,336	3,292	7,044	25,875	490,180
สิงหาคม	27,210	6,082	12,037	3,676	8,361	51,134	519,030
กันยายน	25,231	5,425	12,504	5,002	7,502	32,913	470,170
ตุลาคม	7,845	1,711	4,352	1,905	2,447	14,441	191,957
พฤศจิกายน	8,570	1,640	3,703	1,018	2,685	0.00	171,228
ธันวาคม	22,265	4,906	10,767	2,351	8,416	49,377	458,206
MAX	27,210	6,142	15,155	6,167	8,988	51,134	575,652
MIN	7,845	1,640	3,703	1,018	2,447	0.00	171,228
Mean*	22,247	4,937	11,235	4,349	6,886	34,911	466,777
S.D*	4,512	1,030	2,323	1,328	1,600	10,082	71,493
C.V*	20	21	21	31	23	29	15

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, C.V) ไม่พิจารณาเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน

ตาราง ข-2 ข้อมูลคุณภาพน้ำกากส่าเข้มข้นที่ออกจากระบบระเหยกากส่า

ค่าสถิติ	Dilute Slops		Concentrated Slops	
	%TS	Density	%TS	Density
มกราคม	17.15	1,076	60.37	1,345
กุมภาพันธ์	18.84	1,084	60.28	1,344
มีนาคม	17.19	1,076	60.42	1,339
เมษายน	17.74	1,079	60.60	1,343
พฤษภาคม	16.98	1,075	60.68	1,338
มิถุนายน	17.27	1,076	61.25	1,323
กรกฎาคม	16.59	1,073	61.25	1,323
สิงหาคม	17.08	1,075	60.53	1,330
กันยายน	16.39	1,072	61.30	1,340
ตุลาคม	16.35	1,072	60.89	1,338
พฤศจิกายน	17.29	1,077	62.10	1,332
ธันวาคม	16.50	1,073	61.08	1,328
MAX	18.84	1,084	62.10	1,345
MIN	16.35	1,072	60.28	1,323
Mean*	17	1,075	61	1,335
S.D*	1	3	0.40	9
C.V*	4	0.32	1	1

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ย (Mean) ,ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation , S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation,C.V) ไม่พิจารณาเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน

ความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของน้ำกากส่าเมื่อเทียบกับความหนาแน่นของน้ำ โดยกำหนดความหนาแน่นของน้ำ เท่ากับ  $1,000 \text{ kg/m}^3$

ความถ่วงจำเพาะ			
Dilute Slops	1.07	Concentrated Slops	1.33



ตาราง ข-3 ข้อมูลการดำเนินงานราย 12 เดือนของระบบเตาเผาของโรงงาน B

ค่าสถิติ	ระบบเตาเผา					พลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบเตาเผา (x10 <sup>6</sup> MJ)		
	Q <sub>CS</sub> (m <sup>3</sup> )	F (Litre)	ST <sub>INC</sub> (ton ST)	Ash (Ton)	EE <sub>EI</sub> (kWh)	E <sub>QCS</sub>	E <sub>F</sub>	E <sub>TOTAL</sub>
มกราคม	2,959	402,679	15,643	662.45	240,702	33.22	16.01	49.23
กุมภาพันธ์	6,142	351,416	23,296	1,471.86	340,847	68.95	13.98	82.93
มีนาคม	4,978	423,004	26,451	1,469.67	365,200	55.89	16.82	72.71
เมษายน	3,663	208,298	19,449	970.70	270,825	41.12	8.28	49.40
พฤษภาคม	5,786	425,490	28,459	1,416.89	405,797	64.96	16.92	81.88
มิถุนายน	4,411	363,631	20,048	978.54	287,826	49.52	14.46	63.98
กรกฎาคม	5,019	339,466	22,508	1,223.16	332,853	56.35	13.50	69.85
สิงหาคม	6,082	376,434	22,646	1,459.63	399,914	68.28	14.97	83.25
กันยายน	5,425	286,581	19,566	1,100.78	347,646	60.90	11.40	72.30
ตุลาคม	1,711	167,305	6,689	232.74	148,728	19.21	6.65	25.86
พฤศจิกายน	1,640	96,425	6,383	195.22	141,317	18.41	3.83	22.24
ธันวาคม	4,906	434,259	17,236	1,434.10	396,159	55.08	17.27	72.35
MAX	6,142	434,259	28,459	1,472	405,797	68.95	17.27	86.22
MIN	1,640	96,425	6,383	195	141,317	18.41	3.83	22.24
Mean*	4,937	361,126	21,530	1,219	338,777	55.43	14.36	69.79
S.D*	1,030	70,525	3,958	282	56,931	11.56	2.81	12.44
C.V*	21	20	18	23	17	21	21	18

- หมายเหตุ \* (1) ค่าเฉลี่ย (Mean) ,ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation , S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation,C.V) *ไม่พิจารณาเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน*
- (2) ค่าความร้อนของน้ำมันเตา = 39.77 MJ/Litre , ค่าความร้อนของน้ำกากส่าเข้มข้น = 8,441 MJ/Ton (ความถ่วงจำเพาะของน้ำกากส่าเข้มข้น = 1.33)

ตาราง ข-4 ความสัมพันธ์ที่ใช้ในระบบระเหยอากาศของโรงงาน B

เดือน	ระบบระเหยอากาศ					
	CH/Q (Litre/m <sup>3</sup> )	EE <sub>EV</sub> /Q (kWh m <sup>3</sup> )	Q <sub>CS</sub> /Q (m <sup>3</sup> .Q <sub>CS</sub> )	ST <sub>EV</sub> /Q <sub>CS</sub> (ton ST/m <sup>3</sup> .Q <sub>CS</sub> )	PC/ ST <sub>EV</sub> (m <sup>3</sup> )	CC/ ST <sub>EV</sub> (m <sup>3</sup> )
มกราคม	1.88	24.81	0.23	2.37	0.45	0.55
กุมภาพันธ์	1.32	21.03	0.25	2.03	0.45	0.55
มีนาคม	1.76	19.56	0.20	2.62	0.46	0.54
เมษายน	1.32	24.34	0.20	2.80	0.45	0.55
พฤษภาคม	1.38	21.75	0.22	2.62	0.41	0.59
มิถุนายน	1.56	21.03	0.24	1.98	0.41	0.59
กรกฎาคม	1.16	22.03	0.23	2.06	0.32	0.68
สิงหาคม	1.88	19.07	0.22	1.98	0.31	0.69
กันยายน	1.30	18.63	0.21	2.30	0.40	0.60
ตุลาคม	1.84	24.47	0.22	2.54	0.44	0.56
พฤศจิกายน	0.00	19.98	0.19	2.26	0.27	0.73
ธันวาคม	2.22	20.58	0.22	2.19	0.22	0.78
MAX	2.22	24.81	0.25	2.80	0.46	0.78
MIN	0.00	18.63	0.19	1.98	0.22	0.54
Mean*	1.58	21.28	0.22	2.30	0.39	0.61
S.D*	0.34	2.06	0.014	0.08	0.08	0.08
C.V*	21	0.10	6	0.21	21	13

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ย (Mean) ,ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation , S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation,C.V) ไม่พิจารณาเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน

ตาราง ข-5 ความสัมพันธ์ที่ใช้ในระบบเตาเผาของโรงงาน B

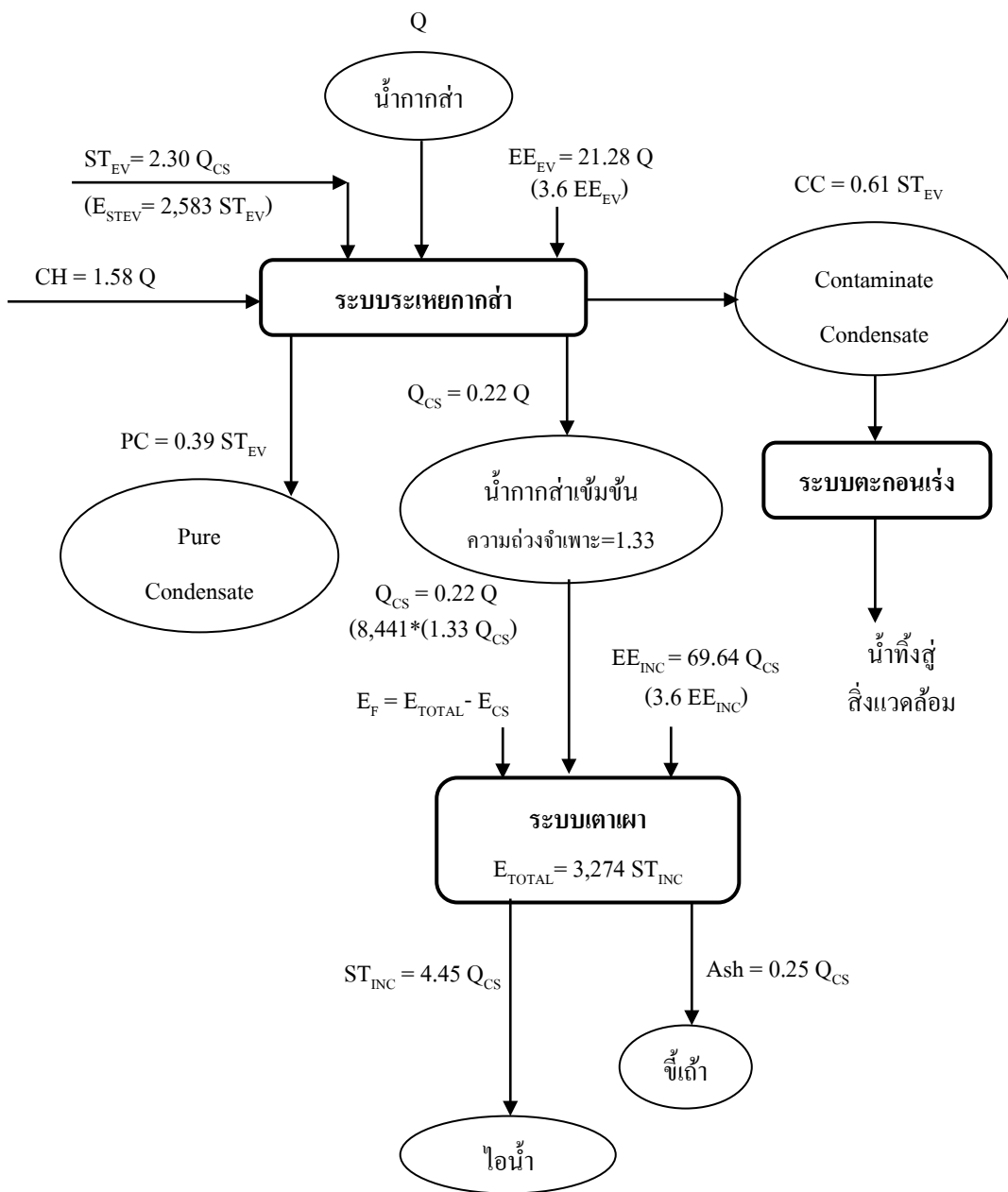
เดือน	ระบบเตาเผา				
	$Q_{CS}/Q$ ( $m^3 \cdot Q_{CS} / m^3$ )	$ST_{INC}/Q_{CS}$ ( $ton \ ST / m^3 \cdot Q_{CS}$ )	$E_{TOTAL} / ST_{INC}$ ( $MJ / Ton / St$ )	$EE_{INC}/Q_{CS}$ ( $m^3 \cdot Q_{CS} / m$ )	$Ash/Q_{CS}$ ( $Ton / m^3 \cdot Q_{CS}$ )
มกราคม	0.23	5.29	3,147.34	81.35	0.22
กุมภาพันธ์	0.25	3.79	3,559.80	55.49	0.24
มีนาคม	0.20	5.31	2,748.80	73.36	0.30
เมษายน	0.20	5.31	2,540.33	73.94	0.27
พฤษภาคม	0.22	4.92	2,877.07	70.13	0.24
มิถุนายน	0.24	4.55	3,191.43	65.25	0.22
กรกฎาคม	0.23	4.48	3,103.19	66.32	0.24
สิงหาคม	0.22	3.72	3,676.17	65.75	0.24
กันยายน	0.21	3.61	3,695.25	64.08	0.20
ตุลาคม	0.22	3.91	3,866.39	86.92	0.14
พฤศจิกายน	0.19	3.89	3,485.25	86.17	0.12
ธันวาคม	0.22	3.51	4,197.48	80.75	0.29
MAX	0.25	5.31	4,197.48	86.92	0.30
MIN	0.19	3.51	2,540.33	55.49	0.12
Mean*	0.22	4.45	3,273.69	69.64	0.25
S.D*	0.01	0.74	505	7.95	0.03
C.V*	6	17	15	11	12

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ย (Mean) ,ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation , S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation,C.V) ไม่พิจารณาเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน

ตาราง ข-6 ข้อมูลการดำเนินงานราย 12 เดือนของระบบหม้อไอน้ำของโรงงาน B

ค่าสถิติ	ระบบหม้อไอน้ำ		พลังงานความร้อน ที่ใช้ในระบบหม้อ ไอน้ำ ( $\times 10^6$ MJ)		$E_{STEV}$ (MJ/ton ST)
	$F_B$ (Litre)	$ST_{EV}$ (ton ST)	$E_{FB}$	$E_{TOTAL(B)}$	
มกราคม	551,846	8,837	21.95	21.95	2,483.53
กุมภาพันธ์	843,976	11,950	33.56	33.56	2,808.78
มีนาคม	630,509	11,561	25.08	25.08	2,168.96
เมษายน	491,485	9,751	19.55	19.55	2,004.55
พฤษภาคม	557,530	9,767	22.17	22.17	2,270.19
มิถุนายน	538,220	8,501	21.41	21.41	2,517.94
กรกฎาคม	672,178	10,917	26.73	26.73	2,448.71
สิงหาคม	935,891	12,831	37.22	37.22	2,900.82
กันยายน	1,204,745	16,433	47.91	47.91	2,915.64
ตุลาคม	588,824	7,677	23.42	23.42	3,050.35
พฤศจิกายน	519,321	7,509	20.65	20.65	2,750.49
ธันวาคม	1,166,548	14,009	46.39	46.39	3,311.70
MAX	1,204,745	16,433	47.91	47.91	3,311.70
MIN	491,485	7,509	19.55	19.55	2,004.55
MEAN	759,293	11,456	30.20	30.20	2,583
S.D.	264,817	2,474	10.53	10.53	398
C.V.	35	22	35	35	15

หมายเหตุ \* (1) ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, C.V) ไม่พิจารณาเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน  
 (2) ค่าความร้อนของน้ำมันเตา = 39.77 MJ/Litre  
 (อ้างอิงค่าความร้อนเชื้อเพลิงของกรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.))



รูป ข-2 ปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำกลั่น( $Q$ )  
ของระบบบำบัดน้ำกลั่นของโรงงาน B

ตาราง ข-7 ค่าอธิบายตัวแปรและสมการแสดงปริมาณการใช้วัสดุและพลังงานที่สัมพันธ์  
กับปริมาณน้ำกากส่า (Q) ของระบบบำบัดน้ำกากส่าของโรงงาน B

ตัวแปร	ความสัมพันธ์	หน่วย	คำอธิบาย
ระบบระเหยกากส่า			
Q	Q	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำกากส่าที่ออกจากหอกลิ้น
Q <sub>CS</sub>	0.22 Q	m <sup>3</sup> .Q <sub>CS</sub>	ปริมาณน้ำกากส่าเข้มข้น
ST <sub>EV</sub>	2.30 Q <sub>CS</sub>	ton ST	ปริมาณไอน้ำจากหม้อไอน้ำส่งเข้าระบบระเหยกากส่า
	2,583 ST <sub>EV</sub>	MJ	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำส่งเข้าสู่ระบบระเหยกากส่า
PC	0.39 ST <sub>EV</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่ไม่ปนเปื้อนเป็นน้ำกากส่า
CC	0.61 ST <sub>EV</sub>	m <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่ปนเปื้อนเป็นน้ำกากส่า
CH	1.58 Q	Litre	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ระบบระเหยกากส่า
EE <sub>EV</sub>	21.28 Q	kWh	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบระเหยกากส่า
	3.6 EE <sub>EV</sub>	MJ	พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบระเหยกากส่า
ระบบเตาเผา			
Q <sub>CS</sub>	0.22 Q	m <sup>3</sup> .Q <sub>CS</sub>	ปริมาณน้ำกากส่าเข้มข้น
ST <sub>INC</sub>	4.45 Q <sub>CS</sub>	ton ST	ปริมาณไอน้ำทั้งหมดที่ผลิตได้จากระบบเตาเผา
Ash	0.25 Q <sub>CS</sub>	Ton	ปริมาณขี้เถ้าจากการเผาไหม้ในระบบเตาเผา
E <sub>TOTAL</sub>	3,274 ST <sub>INC</sub>	MJ	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำในระบบเตาเผา
E <sub>CS</sub>	8,441*(1.33 Q <sub>CS</sub> )	MJ	พลังงานความร้อนจากน้ำกากส่าเข้มข้นที่ใช้ในระบบเตาเผา
E <sub>F</sub>	E <sub>TOTAL</sub> - E <sub>CS</sub>	MJ	พลังงานความร้อนจากน้ำมันเตาที่ใช้ในระบบเตาเผา
EE <sub>INC</sub>	69.64 Q <sub>CS</sub>	kWh	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเตาเผา
	3.6 EE <sub>INC</sub>	MJ	พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบเตาเผา
ประสิทธิภาพการผลิตน้ำกากส่าเข้มข้น = % Total Solids = 60.84% , Density = 1,335 กิโลกรัม/ลบ.ม. พลังงานไฟฟ้า 3.6 MJ/kWh , ค่าความร้อนของน้ำมันเตา = 39.77 MJ/Litre (อ้างอิงกรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)) ค่าความร้อนของน้ำกากส่าเข้มข้น (Q <sub>CS</sub> ) = 8,441 MJ/Ton (ความถ่วงจำเพาะ =1.33)			

**ภาคผนวก ค****การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และความไวของโครงการ**

ตาราง ก-1 ค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่า

รายการ	ทางเลือก A	ทางเลือก B1	ทางเลือก B2
ระบบบำบัดน้ำกากส่า	ระบบหมัก และระบบบำบัดต่อเนื่อง	ระบบระเหย แบบ TVR	ระบบระเหย แบบ MVR
1. ค่าใช้จ่ายเริ่มดำเนินระบบ	350,000,000	410,000,000	490,000,000
1.1 มูลค่าเทคโนโลยี (บาท)	190,000,000	400,000,000	480,000,000
1.2 ค่าเช่าที่ดินราย 15 ปี (บาท)	160,000,000	10,000,000	10,000,000
2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ (บาทต่อปี)	395,635,779	305,890,555	177,392,086
2.1 สารเคมี			
- โซดาไฟ	-	2,573,251	180,960
- กรดไนตริก	-	-	1,209,600
2.2 ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร	2,700,000	2,700,000	2,700,000
2.5 ค่าใช้จ่ายหลังการบำบัด			
- ระบบบำบัดต่อเนื่อง	368,403,080	-	-
- ระบบตะกอนเร่ง	44,639	466,697	1,179,360
2.3 ค่าซ่อมบำรุงประจำปี	600,000	11,800,000	11,000,000
2.4 พลังงาน			
- พลังงานไฟฟ้า	23,888,060	27,670,206	64,502,526
- น้ำมันเตา	-	260,680,401	96,619,640
3. ผลประโยชน์ที่ได้รับ (บาทต่อปี)	112,417,607	427,770,535	426,918,035
3.1 มูลค่าน้ำมันเตาที่ทดแทนได้	83,457,607	409,098,035	409,098,035
3.2 มูลค่าผลพลอยได้อื่นๆ			
- กากตะกอน	28,960,000	-	-
- น้ำคอนเดนเสท	-	852,500	-
- รายได้จากการขายซีเมนต์	-	17,820,000	17,820,000



ตาราง ค-2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของทางเลือก A

ปีที่	ผลตอบแทนรวม อัตราเพิ่มขึ้น 1.03 เท่าต่อปี	ค่าใช้จ่ายค่าเงินระบบ	ผลตอบแทนสุทธิ	อัตรา คิดลด 10%	มูลค่าปัจจุบัน ผลตอบแทน รวม	มูลค่าปัจจุบันค่าใช้จ่ายรวม	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)
0	-	350,000,000	- 350,000,000	1.0000		350,000,000	
1	112,417,607	395,635,779	- 283,218,172	0.9091	102,197,825	359,668,890	- 257,471,065
2	115,790,135	407,504,852	- 291,714,717	0.8264	95,694,327	336,780,870	- 241,086,543
3	119,263,840	419,729,998	- 300,466,158	0.7513	89,604,688	315,349,360	- 225,744,672
4	122,841,755	432,321,898	- 309,480,143	0.6830	83,902,571	295,281,673	- 211,379,102
5	126,527,007	445,291,555	- 318,764,547	0.6209	78,563,317	276,491,021	- 197,927,705
6	130,322,818	458,650,301	- 328,327,484	0.5645	73,563,833	258,896,138	- 185,332,305
7	134,232,502	472,409,811	- 338,177,308	0.5132	68,882,498	242,420,929	- 173,538,431
8	138,259,477	486,582,105	- 348,322,628	0.4665	64,499,066	226,994,143	- 162,495,077
9	142,407,261	501,179,568	- 358,772,307	0.4241	60,394,580	212,549,061	- 152,154,481
10	146,679,479	516,214,955	- 369,535,476	0.3855	56,551,289	199,023,212	- 142,471,923
11	151,079,864	531,701,404	- 380,621,540	0.3505	52,952,571	186,358,098	- 133,405,528
12	155,612,260	547,652,446	- 392,040,186	0.3186	49,582,862	174,498,947	- 124,916,085
13	160,280,627	564,082,019	- 403,801,392	0.2897	46,427,589	163,394,468	- 116,966,880
14	165,089,046	581,004,480	- 415,915,434	0.2633	43,473,106	152,996,638	- 109,523,533
15	170,041,718	598,434,614	- 428,392,897	0.2394	40,706,635	143,260,489	- 102,553,853
รวม	2,090,845,396	7,708,395,784	- 5,617,550,388	8.6061	1,006,996,756	3,893,963,938	- 2,886,967,182
NPV = - 2,886,967,182							

ตาราง ค-3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของทางเลือก B1

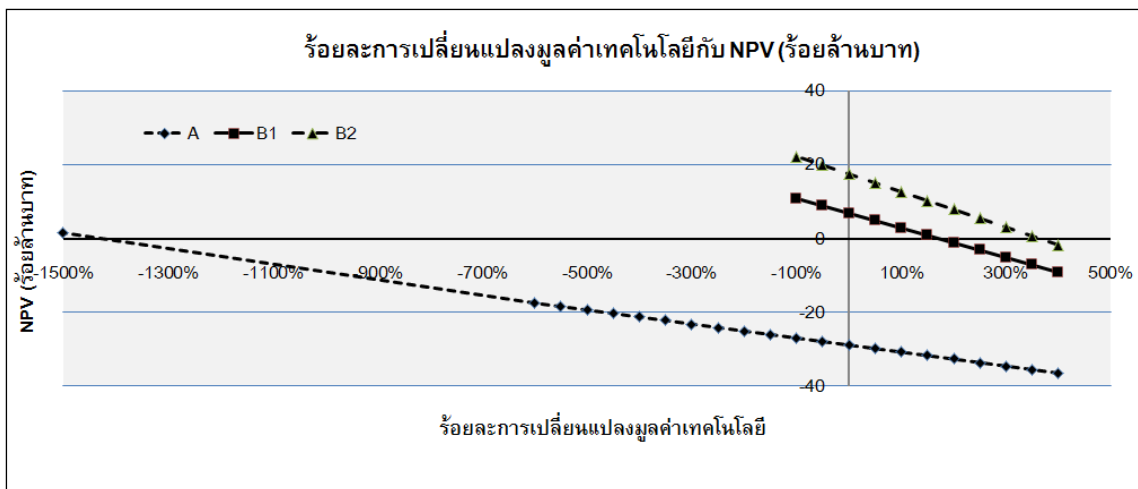
ปีที่	ผลตอบแทนรวม อัตราเพิ่มขึ้น 1.03 เท่าต่อปี	ค่าใช้จ่าย ดำเนินระบบ	ผลตอบแทน สุทธิ	อัตรา คิดลด 10%	มูลค่าปัจจุบัน ผลตอบแทน รวม	มูลค่าปัจจุบัน ค่าใช้จ่ายรวม	มูลค่าปัจจุบัน สุทธิ (NPV)	ผลตอบแทน สะสม	มูลค่าปัจจุบัน ค่าใช้จ่ายรวม - NPV	กระแสเงินสด สุทธิสะสม	
0	-	410,000,000	- 410,000,000	1.0000		410,000,000		-	410,000,000.00	- 410,000,000	
1	427,770,535	305,890,555	121,879,980	0.9091	388,882,304	278,082,323	110,799,981	388,882,304.09	167,282,341.36	- 288,120,021	
2	440,603,651	315,067,272	125,536,379	0.8264	364,135,248	260,386,175	103,749,073	753,017,552.47	156,637,101.46	- 184,370,947	
3	453,821,760	324,519,290	129,302,470	0.7513	340,963,005	243,816,146	97,146,860	1,093,980,557.76	146,669,285.91	- 87,224,087	
4	467,436,413	334,254,868	133,181,544	0.6830	319,265,360	228,300,573	90,964,787	1,413,245,917.27	137,335,785.90	3,740,699	
5	481,459,505	344,282,515	137,176,991	0.6209	298,948,473	213,772,354	85,176,119	1,712,194,390.26	128,596,235.89	88,916,818	
6	495,903,290	354,610,990	141,292,300	0.5645	279,924,479	200,168,659	79,755,820	1,992,118,869.52	120,412,839.06	168,672,638	
7	510,780,389	365,249,320	145,531,069	0.5132	262,111,103	187,430,654	74,680,450	2,254,229,972.82	112,750,203.85	243,353,088	
8	526,103,801	376,206,799	149,897,002	0.4665	245,431,306	175,503,248	69,928,057	2,499,661,278.64	105,575,190.87	313,281,145	
9	541,886,915	387,493,003	154,393,912	0.4241	229,812,950	164,334,860	65,478,090	2,729,474,228.64	98,856,769.64	378,759,235	
10	558,143,522	399,117,793	159,025,729	0.3855	215,188,490	153,877,187	61,311,303	2,944,662,718.18	92,565,884.30	440,070,538	
11	574,887,828	411,091,327	163,796,501	0.3505	201,494,677	144,085,002	57,409,674	3,146,157,394.75	86,675,328.02	497,480,212	
12	592,134,463	423,424,067	168,710,396	0.3186	188,672,288	134,915,957	53,756,331	3,334,829,682.81	81,159,625.33	551,236,544	
13	609,898,497	436,126,789	173,771,708	0.2897	176,665,870	126,330,396	50,335,474	3,511,495,552.54	75,994,921.90	601,572,018	
14	628,195,452	449,210,593	178,984,859	0.2633	165,423,496	118,291,189	47,132,307	3,676,919,048.74	71,158,881.42	648,704,325	
15	647,041,315	462,686,910	184,354,405	0.2394	154,896,546	110,763,568	44,132,979	3,831,815,595.19	66,630,588.96	692,837,304	
รวม	7,956,067,334	6,099,232,091	1,856,835,243	8.6061	3,831,815,595	3,150,058,290	681,757,306				
IRR = 32.01%				NPV = 681,757,306				PB = 3.96 ปี			

ตาราง ค-4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของทางเลือก B2

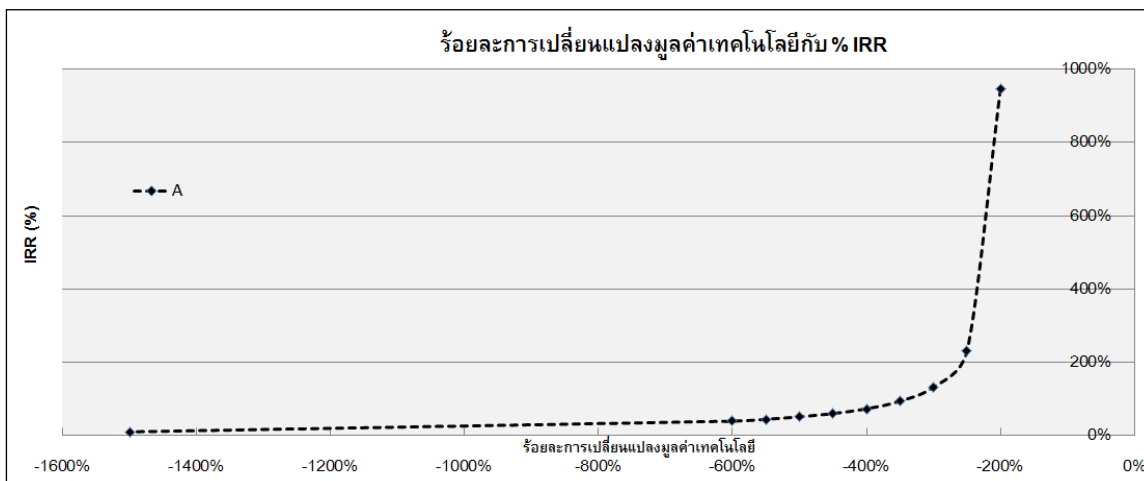
ปีที่	ผลตอบแทนรวม อัตราเพิ่มขึ้น 1.03 เท่าต่อปี	ค่าใช้จ่าย ดำเนินระบบ	ผลตอบแทน สุทธิ	อัตรา คิดลด 10%	มูลค่าปัจจุบัน ผลตอบแทน รวม	มูลค่าปัจจุบัน ค่าใช้จ่ายรวม	มูลค่าปัจจุบัน สุทธิ (NPV)	ผลตอบแทน สะสม	มูลค่าปัจจุบัน ค่าใช้จ่ายรวม -NPV	กระแสเงินสด สุทธิสะสม	
0	-	490,000,000	- 490,000,000	1.0000		490,000,000		-	490,000,000.00	- 490,000,000.00	
1	426,918,035	177,392,086	249,525,949	0.9091	388,107,304	161,265,533	226,841,771	388,107,304.09	- 65,576,238.64	- 240,474,051.50	
2	439,725,576	182,713,849	257,011,727	0.8264	363,409,567	151,003,181	212,406,386	751,516,870.65	- 61,403,205.27	- 28,067,665.59	
3	452,917,343	188,195,264	264,722,079	0.7513	340,283,503	141,393,887	198,889,616	1,091,800,373.88	- 57,495,728.57	170,821,950.31	
4	466,504,863	193,841,122	272,663,741	0.6830	318,629,098	132,396,095	186,233,004	1,410,429,472.36	- 53,836,909.48	357,054,954.29	
5	480,500,009	199,656,356	280,843,653	0.6209	298,352,701	123,970,888	174,381,813	1,708,782,173.66	- 50,410,924.33	531,436,767.11	
6	494,915,009	205,646,046	289,268,963	0.5645	279,366,620	116,081,832	163,284,788	1,988,148,793.98	- 47,202,956.42	694,721,555.48	
7	509,762,460	211,815,428	297,947,032	0.5132	261,588,744	108,694,806	152,893,938	2,249,737,538.45	- 44,199,131.92	847,615,493.67	
8	525,055,333	218,169,891	306,885,443	0.4665	244,942,188	101,777,864	143,164,324	2,494,679,726.46	- 41,386,459.89	990,779,817.62	
9	540,806,993	224,714,987	316,092,006	0.4241	229,354,958	95,301,091	134,053,867	2,724,034,684.32	- 38,752,776.08	1,124,833,684.59	
10	557,031,203	231,456,437	325,574,766	0.3855	214,759,642	89,236,476	125,523,166	2,938,794,326.68	- 36,286,690.33	1,250,356,850.93	
11	573,742,139	238,400,130	335,342,009	0.3505	201,093,120	83,557,791	117,535,328	3,139,887,446.35	- 33,977,537.31	1,367,892,179.42	
12	590,954,403	245,552,134	345,402,270	0.3186	188,296,285	78,240,477	110,055,808	3,328,183,731.13	- 31,815,330.39	1,477,947,987.00	
13	608,683,035	252,918,698	355,764,338	0.2897	176,313,794	73,261,538	103,052,256	3,504,497,525.05	- 29,790,718.45	1,581,000,243.19	
14	626,943,527	260,506,259	366,437,268	0.2633	165,093,825	68,599,440	96,494,385	3,669,591,350.28	- 27,894,945.46	1,677,494,628.53	
15	645,751,832	268,321,447	377,430,386	0.2394	154,587,855	64,234,021	90,353,834	3,824,179,204.81	- 26,119,812.57	1,767,848,462.08	
รวม	7,940,211,760	3,789,300,132	4,150,911,629	8.6061	3,824,179,205	2,079,014,920	1,745,164,285				
IRR = 53.80 %				NPV = 1,745,164,285				PB = 2.14 ปี			

ตาราง ค-5 การวิเคราะห์ความไวของโครงการ: กรณีการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยี

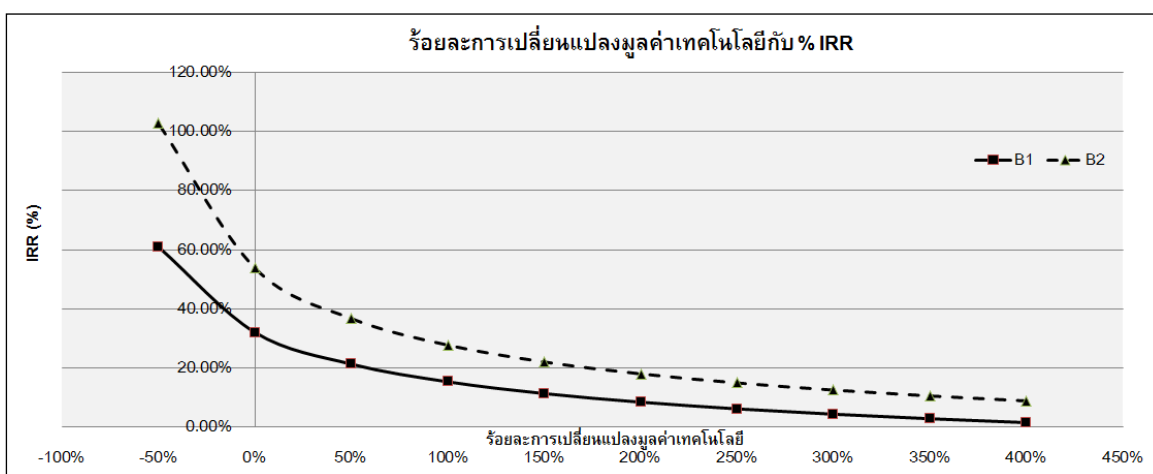
ร้อยละ การเปลี่ยนแปลง ของตัวแปร	การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร								
	NPV (ล้านบาท)			IRR (%)			PBP (ปี)		
	A	B1	B2	A	B1	B2	A	B1	B2
400%	-36.47	-9.18	-1.75		1.44%	8.80%			19.07
350%	-35.52	-7.18	0.65		2.75%	10.48%			14.02
300%	-34.57	-5.18	3.05		4.28%	12.48%			11.65
250%	-33.62	-3.18	5.45		6.12%	14.90%			9.59
200%	-32.67	-1.18	7.85		8.38%	17.96%			7.78
150%	-31.72	0.82	10.25		11.29%	21.99%		12.97	6.16
100%	-30.77	2.82	12.65		15.26%	27.70%		9.35	4.7
50%	-29.82	4.82	15.05		21.25%	36.69%		6.42	3.37
0%	-28.87	6.82	17.45		32%	53.80%		3.96	2.14
-50%	-27.92	8.82	19.85		60.97%	102.81%		1.85	1
-100%	-26.97	10.82	22.25		1222%	2498.26%			0.04
-150%	-26.02	12.82							
-200%	-25.07	14.82		947%			0.11		
-250%	-24.12			230%			0.48		
-300%	-23.17			132%			0.85		
-350%	-22.22			93%			1.13		
-400%	-21.27			72%			1.53		
-450%	-20.32			59%			1.92		
-500%	-19.37			50%			2.33		
-550%	-18.42			43%			2.76		
-600%	-17.47			38%			3.19		
-1500%	1.53			9%					
-2000%	11.03			5%					
-3000%	30.03			-0.58%					



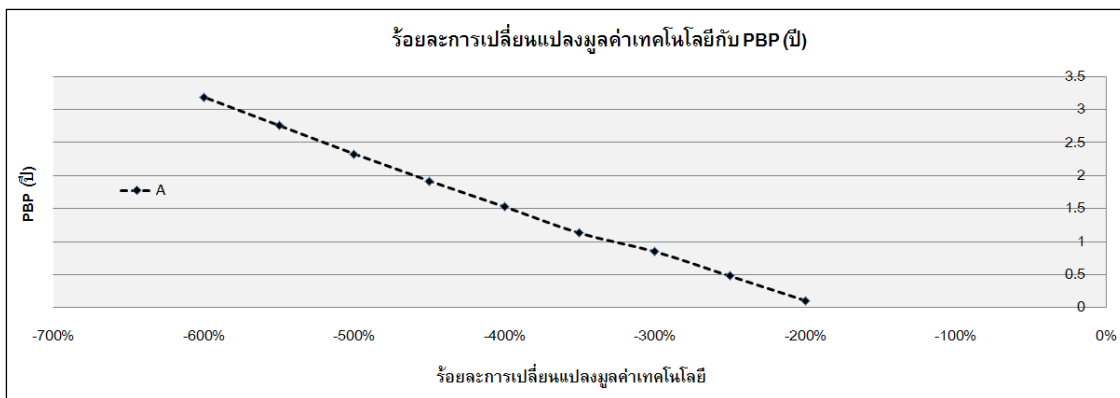
รูปที่ ค-1 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ NPV



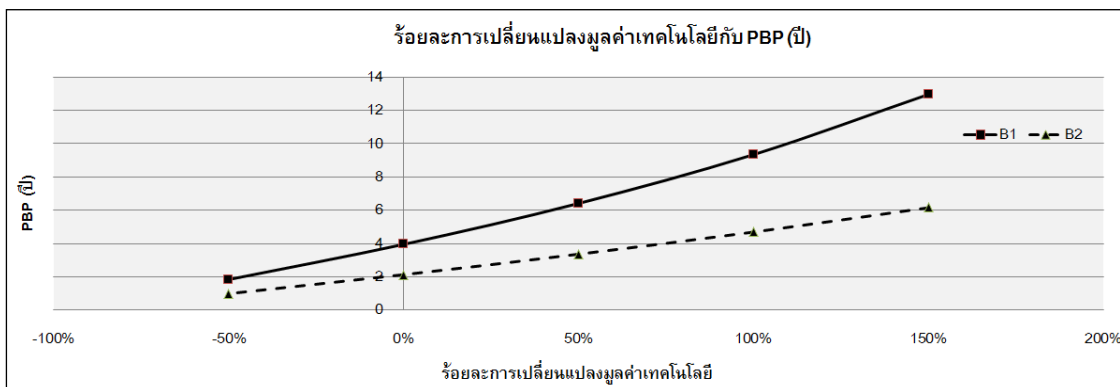
รูปที่ ค-2 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ %IRR ของทางเลือก A



รูปที่ ค-3 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ %IRR ของทางเลือก B1 และ B2



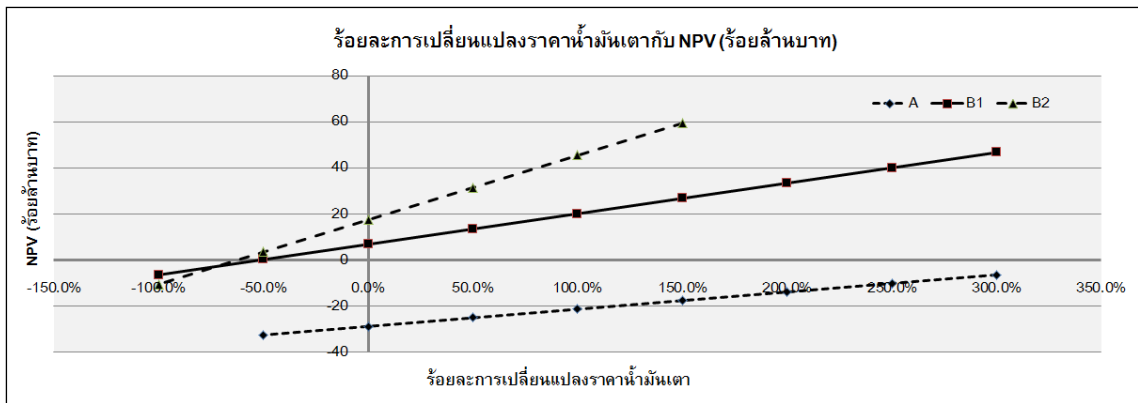
รูปที่ ค-4 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ PBP ของทางเลือก A



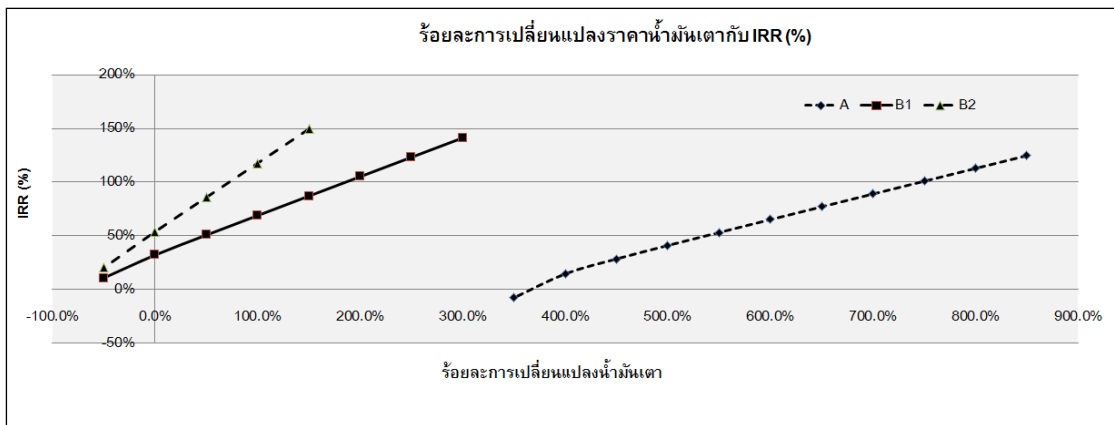
รูปที่ ค-5 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเทคโนโลยีกับ PBP ของทางเลือก B1 และ B2

ตาราง ก-6 การวิเคราะห์ความไวของโครงการ: กรณีการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตา

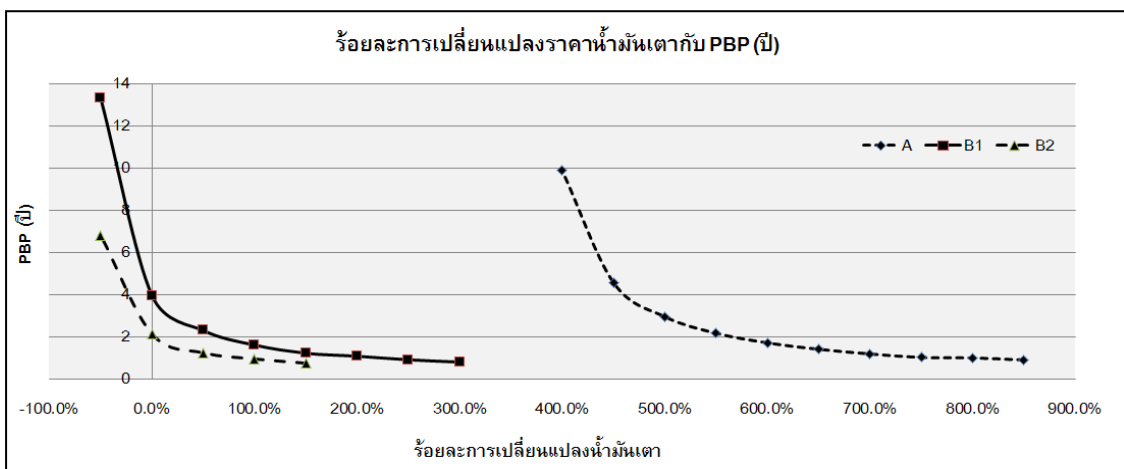
ร้อยละ การเปลี่ยนแปลง ของตัวแปร	การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร								
	NPV (ล้านบาท)			IRR (%)			PBP (ปี)		
	A	B1	B2	A	B1	B2	A	B1	B2
850.0%	34.67			124.76%			0.90		
800.0%	30.94			112.84%			1.00		
750.0%	27.2			100.91%			1.02		
700.0%	23.46			88.99%			1.19		
650.0%	19.72			77.05%			1.41		
600.0%	15.99			65.10%			1.71		
550.0%	12.25			53.10%			2.17		
500.0%	8.509			40.96%			2.95		
450.0%	4.772			28.42%			4.57		
400.0%	1.034			14.51%			9.88		
350.0%	-2.7			-7.77%					
300.0%	-6.44	46.70			141.32%			0.80	
250.0%	-10.2	40.05			123.22%			0.91	
200.0%	-13.9	33.41			105.12%			1.08	
150.0%	-17.7	26.76	59.44		87.02%	149.58%		1.22	0.75
100.0%	-21.4	20.11	45.44		68.89%	117.69%		1.61	0.95
50%	-25.1	13.46	31.45		50.67%	85.80%		2.30	1.24
0%	-28.9	6.82	17.45		32.01%	53.80%		3.96	2.14
-50.0%	-32.61	0.17	3.46		10.67%	20.15%		13.33	6.82
-100.0%		-6.48	-10.54						



รูปที่ ค-6 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตากับ NPV



รูปที่ ค-7 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตากับ %IRR

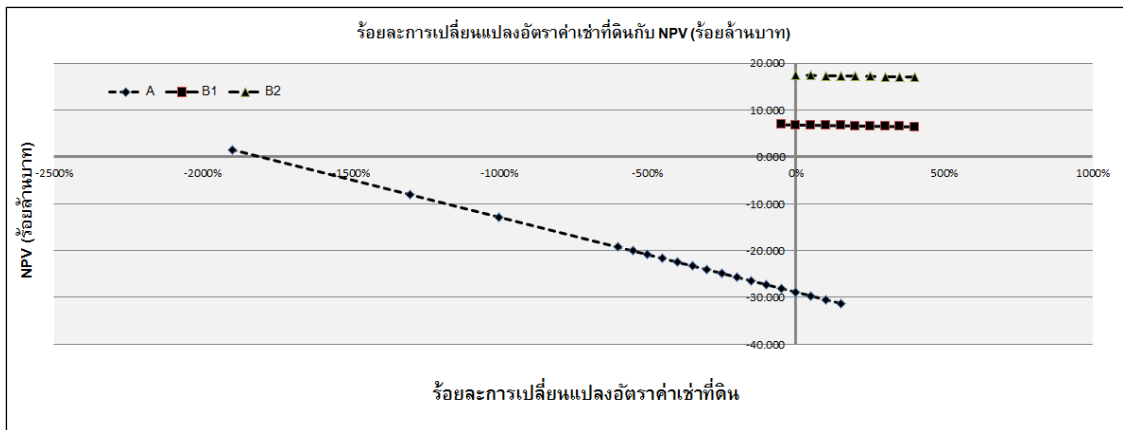


รูปที่ ค-8 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันเตากับ PBP

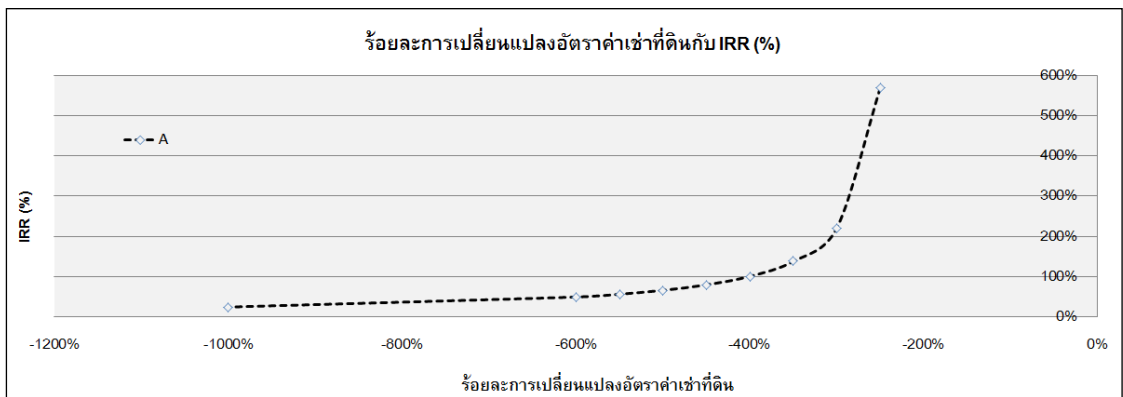


ตาราง ก-7 การวิเคราะห์ความไวของโครงการ: กรณีการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดิน

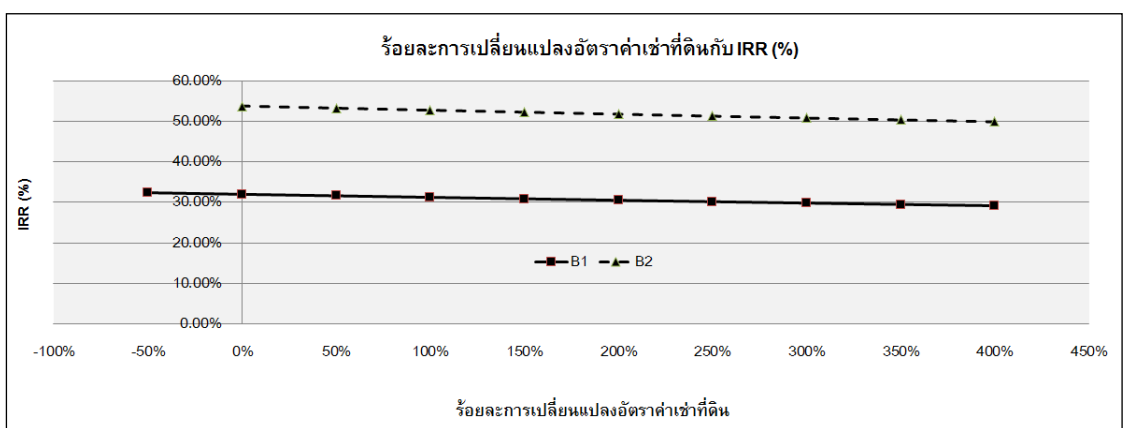
ร้อยละ การเปลี่ยนแปลง ของตัวแปร	การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร								
	NPV (ล้านบาท)			IRR (%)			PBP (ปี)		
	A	B1	B2	A	B1	B2	A	B1	B2
400%	-35.27	6.42	17.05		29.18%	49.91%		4.43	2.34
350%	-34.47	6.47	17.10		29.51%	50.37%		4.37	2.31
300%	-33.67	6.52	17.15		29.84%	50.83%		4.31	2.29
250%	-32.87	6.57	17.20		30.18%	51.30%		4.25	2.26
200%	-32.07	6.62	17.25		30.53%	51.78%		4.19	2.24
150%	-31.27	6.67	17.30		30.89%	52.27%		4.13	2.21
100%	-30.47	6.72	17.35		31.25%	52.77%		4.07	2.19
50%	-29.67	6.77	17.40		31.63%	53.28%		4.01	2.16
0	-28.87	6.82	17.45		32.01%	53.80%		3.96	2.14
-50%	-28.07	6.87			32.40%			3.90	
-100%	-27.27								
-150%	-26.47								
-200%	-25.67								
-250%	-24.87			569.44%			0.19		
-300%	-24.07			220.86%			0.50		
-350%	-23.27			137.87%			0.82		
-400%	-22.47			100.66%			1.03		
-450%	-21.67			79.53%			1.36		
-500%	-20.87			65.89%			1.69		
-550%	-20.07			56.34%			2.02		
-600%	-19.27			49.25%			2.38		
-1000%	-12.87			24.31%			5.50		
-1300%	-8.07			16.93%					
-1900%	1.53			9.07%					
-4000%	35.13			-1.58%					



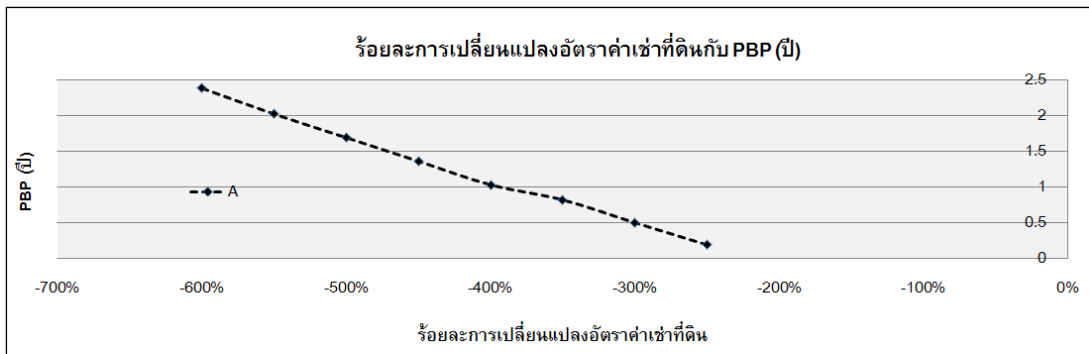
รูปที่ ค-9 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ NPV



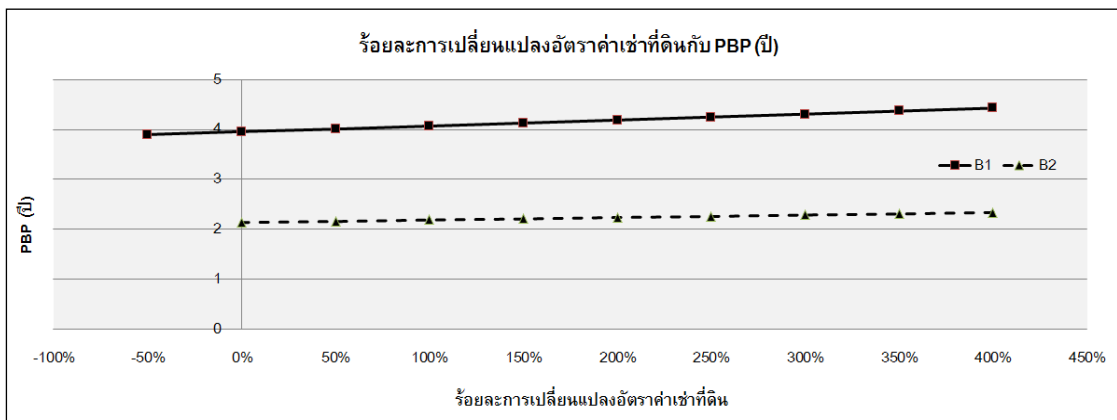
รูปที่ ค-10 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ %IRR ของทางเลือก A



รูปที่ ค-11 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ %IRR ของทางเลือก B1 และ B2



รูปที่ ค-12 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ PBP ของทางเลือก A



รูปที่ ค-13 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราค่าเช่าที่ดินกับ PBP ของทางเลือก B1 และ B2

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรรณวิจิตร พนมเชิง เกิดเมื่อวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและ วัสดุพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขต พระราชวังสนามจันทร์ ปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2553