การปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย กรณีศึกษา : บริษัทผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า

รัฐไกร รอดพุก

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย กรณีศึกษา : บริษัทผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า

รัฐไกร รอดพุก

การค้นคว้าอิสระเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ใบรับรองโครงร่างการค้นคว้าอิสระ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย กรณีศึกษา : บริษัทผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า

โดย รัฐไกร รอดพุก

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย / หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ มีถม)

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มนัสชนก จงประสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร)

ชื่อ : รัฐไกร รอดพุก
ชื่อการค้นคว้าอิสระ : การปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย กรณีศึกษา : บริษัทผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า
สาขาวิชา : วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก : รองศาสตราจารย์สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร
ปีการศึกษา : 2567

บทคัดย่อ

จากปัญหาการลดกำลังการผลิตของบริษัทเนื่องจากมีการนำชิ้นส่วนสำเร็จรูปมาประกอบในโรงงานผลิตที่ 2 และปัญหาค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 สูงมากจากการทำงานที่ไม่มีมาตรฐานในการบำบัดน้ำเสียและการเสียหายของเครื่องรีดตะกอนจึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 สูงกว่าโรงงานผลิตที่ 1 อีกทั้งเมื่อมีการลดกำลังการผลิตลงทำให้ปริมานน้ำเสียของทั้ง 2 โรงงานลดลงเมื่อเดินระบบบำบัดเหมือนเดิมจึงก่อให้เกิดต้นทุนรวมสูง โรงงานผลิตที่ 1 มีต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียต่อปีอยู่ที่ 2,046,273 บาท และโรงงานผลิตที่ 2 มีต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียต่อปีอยู่ที่ 2,239,154 บาท จากการวิเคราะห์พบว่าการบำบัดน้ำเสียของโรงงานไม่เป็นไปตามมาตรฐานจึงจำเป็นต้องปรับปรุงการดำเนินงานให้ได้มาตรฐานผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์ปัญหาและศึกษาหาแนวทางแก้ไขโดยการจัดทำมาตรฐานการบำบัดน้ำเสียเพื่อควบคุมการทำงานและลดค่าใช้จ่าย และการศึกษาเพื่อลดความซ้ำซ้อนในการบริหารจัดการการบำบัดน้ำเสียพบว่าควรลดการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจาก 2 ระบบให้เหลือเพียง 1 ระบบโดยการนำน้ำเสียจากโรงงานที่ 2 มารวมไว้ที่โรงงานที่ 1 ซึ่งมีความจุเพียงพอที่จะทำการบำบัดที่โรงงานที่ 1 เพียงโรงเดียว ผลจากการดำเนินงานพบว่าสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียรวมลงจากเดิมมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 383,925 บาท ลดลงเหลือค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 245,309 บาทคิดเป็นต้นทุนที่ลดลงได้เฉลี่ยเดือนละ 138,616 บาท หรือคิดเป็น 1,663,386 บาทต่อปีหรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 36.1 เงินลงทุนของโครงการนำน้ำเสียจากโรงงานที่ 2 มารวมไว้ที่บ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ 1 ด้วยการวางท่อสูบน้ำเสียมารวมกันที่บ่อบำบัดที่ 1 อยู่ที่ 1,600,000 บาท และพบว่าโครงการนี้มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ประมาณ 1 ปี

คำสำคัญ : คำสำคัญ1, คำสำคัญ2, คำสำคัญ3

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก

Name : RATTHAKAI ROTPHUK
Independent Study Title : The wastewater treatment improvement for cost reductions Case Study
: The electrical appliances company
Major Field : Industrial Management Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Independent Study Advisor :Associate Professor SOMKIAT JONGPRASITHPRON
Academic Year : 2024

ABSTRACT

The problems of company faced a significant reduction in production capacity due to the integration of prefabricated parts in Factory 2, coupled with exorbitant wastewater treatment costs too high attributed to non-standard operations and the sedimentation dewatering machine damage. Consequently, the wastewater treatment costs for Factory 2 was higher than Factory 1. On production capacity was decreased, So the volume of wastewater from both factories also declined; however, On operation the existing treatment system led to elevated total costs. Specifically, Factory 1 incurred annual wastewater treatment costs is 2,046,273 baht, while the treatment cost of Factory 2 is 2,239,154 baht. An analysis indicated that the wastewater treatment operations did not meet to the standards, the operation must be improvements. The researcher undertook a comprehensive analysis to identify solutions, proposing the establishment of wastewater treatment standards to regulate operations and reduce costs. Additionally, a study aimed at minimizing redundancy in wastewater management recommended consolidating the two treatment systems into one by transfer wastewater from Factory 2 to Factory 1, which had sufficient capacity for effective treatment. The implement to standard operation found that resulted can be reduce of total wastewater treatment costs from an average monthly expenditure of 383,925 baht to 245,309 baht. This equates to an average monthly cost reduction of 138,616 baht or an annual savings of 1,663,386 baht, representing a decrease of 36.1%. The project's investment required for connecting the wastewater from Factory 2 to the treatment at Factory 1 has investment at 1,600,000 baht. The findings revealed that this project achieved a break-even point around one year.

Keywords: Keyword1, Keyword2, Keyword 3

_____ Advisor

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์ลุล่วงได้ด้วยดีผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ สมเกียรติ จงประสิทธิ์พรและอาจารย์ที่เป็นกรรมการสอบ สารนิพนธ์ทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รองศาสตราจารย์ ดร.นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตรเป็นอย่างสูง ที่ได้สละเวลาให้แนวคิดและข้อคิดเห็นรวมทั้งตรวจสอบข้อบกพร่องในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เพื่อนนักศึกษาปริญญาโท ศูนย์อมตะศูนย์ระยอง ศูนย์กรุงเทพฯ และรุ่นพี่ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและแนวทางที่ดีและเป็นประโยชน์การวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ภรรยาและลูก เพื่อน พี่ และน้อง ๆ ทุกคนที่ช่วยให้กำลังใจและคำแนะนำที่ดี รวมทั้งพนักงานของบริษัทกรณีศึกษาที่เป็นผู้ช่วยในการรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จด้วยดี ประโยชน์ที่พึงมีจากงานวิจัยนี้ขอมอบเป็นเกียรติแก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัฐไกร รอดพุก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ง

กิตติกรรมประกาศ ฉ

สารบัญตาราง ฌ

สารบัญภาพ ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 9

1.3 ขอบเขตการดำเนินการ 9

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ 9

1.5 ประโยชน์ของผลการวิจัย 10

1.6 แผนงานดำเนินงานวิจัย 10

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

2.1 ทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี 11

2.2 ทฤษฎีการออกแบบระบบท่อระบายน้ำเสีย 24

2.3 ทฤษฎีความรู้เบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำ 27

2.4 ทฤษฎีการวิเคราะห์โครงการเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 33

2.5 ทฤษฎีการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของโครงการ 35

2.6 ทฤษฎีหลัก 4 ข้อของการปรับปรุง ECRS 36

2.7 ทฤษฎีเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 37

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 43

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 51

3.1 การศึกษาสภาพการดำเนินงานปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา 51

3.2 การศึกษาหาต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา 57

3.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุและความสูญเปล่าที่เป็นปัญหาให้ค่าใช้จ่าย ด้านต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียสูง 62

3.4 ศึกษาหาวิธีการลดต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา 71

3.5 การดำเนินการแก้ไขเพื่อลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา 74

3.6 แผนการดำเนินโครงการ 84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 สรุปผลการดำเนินการ	84
บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัยทดลอง	85
4.1 ผลการดำเนินการลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสีย	85
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	105
5.1 สรุปผลการศึกษา	105
5.2 ข้อเสนอแนะ	107
บรรณานุกรม	109
ภาคผนวก ก	111
การออกแบบโครงการ	112
ภาคผนวก ข	129
การวิเคราะห์การลงทุนของโครงการ	130
ภาคผนวก ค	137
กฎระเบียบและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง	138
ประวัติผู้จัดทำสารนิพนธ์	147

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	ข้อมูลค่าใช้จ่ายของระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 โรงงานในปี 2565	5
1-2	ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 2 โรงงานในปี 2565	8
1-3	แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย	10
2-1	ค่าความสามารถในการละลาย (Solubility) ของโลหะคาร์บอเนต และโลหะซัลไฟด์ต่าง ๆ (pKs-logKs)	15
2-2	ข้อมูลสารเคมีบางชนิดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย	18
2-3	ค่า pH ที่เหมาะสมและชนิดของสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อกำจัด หรือแยกมลสารออกจากน้ำเสีย	19
2-4	แสดงค่าปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ในทางทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนผลึกของมลสาร 1 กิโลกรัม	21
2-5	ตารางแสดงคุณสมบัติ ข้อดีและข้อควรระวังในการใช้งานของโพลิอลูมิเนียมคลอไรด์	22
2-6	ตารางแสดงคุณสมบัติ ข้อดีและข้อควรระวังในการใช้งานของโพลิอิเล็กโทรไลต์	23
2-7	ค่าการสูญเสียหลักในเส้นท่อ (หน่วยเมตรต่อความยาวท่อ 100 เมตร)	29
2-8	ค่าการสูญเสียรองในอุปกรณ์ข้อต่อท่อและวาล์ว, เทียบเท่าความยาวท่อ (เมตรต่อความยาวท่อ 100 เมตร)	30
2-9	สรุปทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	49
3-1	ยอดการผลิต 5 ปี ย้อนหลังของบริษัทกรณีศึกษา (เครื่อง/ปี)	52
3-2	แสดงจำนวนชิ้นส่วนที่ถูกพิจารณาให้ยกเลิกการผลิตภายในบริษัท และกำหนดให้มีการสั่งซื้อเป็นชิ้นงานสำเร็จรูปจากโดยผลิตภายนอก (ชิ้น/ปี)	53
3-3	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียเฉลี่ยต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 1	58
3-4	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียเฉลี่ยต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 2	59
3-5	ตารางแสดงต้นทุนค่าบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 (บาท/ลูกบาศก์เมตร)	60
3-6	ตารางแสดงต้นทุนค่าบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 (บาท/ลูกบาศก์เมตร)	61
3-7	ตารางแสดงแนวทางการแก้ไขปัญหาที่ค้นพบจากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา	64
3-8	ตารางแสดงชนิดและปริมานสารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1	65
3-9	ตารางแสดงชนิดและปริมานสารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2	65
3-10	ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากการทดลอง Jar test ก่อนการปรับปรุง	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3-11	ตารางแสดงค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก	76
3-12	สรุประยะทางการเดินท่อส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 ถึง โรงงานผลิตที่ 1	83
3-13	แผนการดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสีย	84
4-1	ข้อมูลปริมาณการใช้สารเคมีของระบบบำบัดโรงงานผลิตที่ 1 ก่อนและหลังการปรับปรุง	91
4-2	ตารางเปรียบเทียบอัตราสารเคมีที่ใช้ภายหลังการปรับปรุงกับค่ามาตรฐาน	93
4-3	ตารางผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำเสียหลังการปรับปรุง	93
4-4	ตารางผลของการดำเนินการแก้ไขเพื่อลดค่าใช้จ่าย	97
4-5	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงานผลิตที่ 1 ก่อนและหลังการปรับปรุง	99
4-6	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงานผลิตที่ 2 ก่อนและหลังการปรับปรุง	100
4-7	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียรวมก่อนและหลังการปรับปรุง	101
5-1	แสดงผลการดำเนินงานลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสีย	97

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	แผนผังกระบวนการผลิตและการใช้น้ำของโรงงานผลิตที่ 1	2
1-2	แผนผังกระบวนการผลิตและการใช้น้ำของโรงงานผลิตที่ 2	4
1-3	แผนภูมิพาเรโตแสดงค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1	6
1-4	แผนภูมิพาเรโตแสดงค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2	6
2-1	เครื่องเติมกรดหรือด่างอัตโนมัติ	13
2-2	เครื่องมือ Jar test	17
2-3	วิธีการตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical Precipitation Method)	18
2-4	กราฟของความสามารถในการละลายน้ำของมลสารต่าง ๆ สำหรับ pH ต่าง ๆ	20
2-5	ภาพตัวอย่างท่อระบายน้ำคอนกรีต	25
2-6	ภาพตัวอย่างท่อเหล็กระบายน้ำ	26
2-7	ภาพตัวอย่างท่อระบายน้ำ HDPE	26
2-8	เส้นโค้งลักษณะสมบัติของเครื่องสูบน้ำ (pump characteristic curve)	31
2-9	ประเภทเครื่องสูบชนิดต่าง ๆ	32
2-10	ลักษณะการกระจายของฮีสโตแกรม	40
2-11	ลักษณะของแผนภูมิพาเรโต	41
2-12	ตัวอย่างแผนภาพก้างปลา	41
2-13	ตัวอย่างแผนภาพกระจาย	42
2-14	ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม	42
3-1	ผังกระบวนการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 1	54
3-2	ผังกระบวนการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 2	55
3-3	กราฟแสดงปริมานน้ำเสียเข้าระบบบำบัดโรงงาน 1 ในปี 2565	55
3-4	กราฟแสดงปริมานน้ำเสียเข้าระบบบำบัดโรงงาน 2 ในปี 2565	56
3-5	ภาพแสดง Lay out ของบริษัทกรณีศึกษา	56
3-6	แผนผังก้างปลาวิเคราะห์ปัญหาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 2 สูง	63
3-7	เอกสารระเบียบปฏิบัติในการดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย	67
3-8	ตารางบันทึกปริมานการใช้สารเคมีในแต่ละวัน	69
3-9	การอบรมให้ความรู้แก่พนักงานประจำระบบบำบัดน้ำเสีย	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

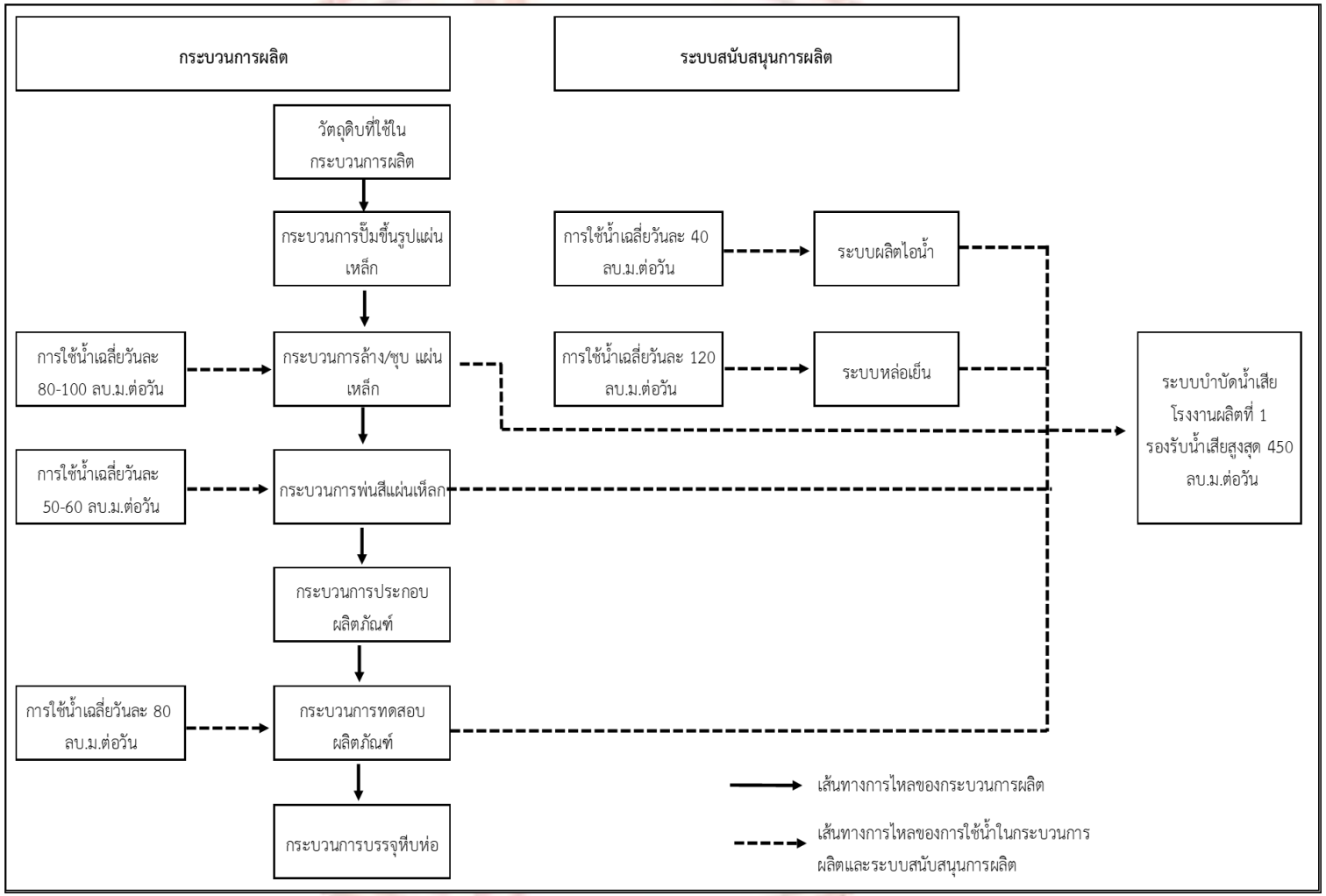
ภาพที่		หน้า
3-10	ตัวอย่างการทำการทดลอง Jar test และผลการทดลอง	72
3-11	เส้นทางในการดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียใหม่ของบริษัทกรณีศึกษา	75
3-12	ภาพแสดงรายละเอียดเส้นทางการเดินท่อส่งน้ำเสียโดยแบ่งเป็น 7 ช่วง	77
3-13	ภาพการดำเนินงานติดตั้งปั๊มน้ำเสีย EBARA รุ่น 65x50 FS2HA5 ที่บริเวณระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2	78
3-14	ภาพการดำเนินงานวางระบบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 2 ถึง หมายเลข 3	78
3-15	ภาพการดำเนินงานวางระบบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 2 ถึง หมายเลข 3	79
3-16	ภาพการดำเนินงานวางระบบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 4 ถึง หมายเลข 5	79
3-17	ภาพการดำเนินงานติดตั้งจุดตรวจสอบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 4 ถึงหมายเลข 5	80
3-18	ภาพการดำเนินงานวางระบบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 5 ถึงหมายเลข 6	80
3-19	ภาพการดำเนินงานติดตั้งท่อส่งน้ำเสียภายในพื้นที่ไลน์สายพานลำเลียงสินค้า	81
3-20	ภาพการดำเนินงานวางระบบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 6 ถึง หมายเลข 7	81
3-21	อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow Meter) รุ่น MAG5100W with MAG6000	82
3-22	รายงานผลการทดสอบการรั่วไหลของระบบท่อส่งน้ำเสียของโครงการฯ	83
4-1	ตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนล้างชิ้นงานแผ่นเหล็กของโรงงานผลิตที่ 2	86
4-2	เอกสารระเบียบปฏิบัติในการดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย	88
4-3	การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ประจำวัน	89
4-4	การตรวจวัดค่า pH ด้วยกระดาษลิตมัส	89
4-5	เอกสารจดบันทึกค่า pH	90
4-6	กราฟแสดงปริมาณน้ำเสียเข้าระบบบำบัดโรงงาน 1 ก่อน-หลัง การปรับปรุง (ลบ.ม. ต่อวัน)	92
4-7	การจดบันทึกการใช้สารเคมีประจำวันที่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 1	94
4-8	เครื่องรีดตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 1	95
4-9	ภาพกราฟเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายก่อนและหลังการดำเนินงาน	98
4-10	ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษาก่อน และหลังการปรับปรุง	102
4-11	สรุปรายละเอียดค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทที่ลดลงได้	103

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าประเทศไทย เป็นหนึ่งในศูนย์การผลิตที่ใหญ่ที่สุดในอาเซียน และเป็นที่ยอมรับทั่วโลกในด้านความสามารถในการผลิต นอกจากจะเป็นผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศรายใหญ่อันดับสองของโลกแล้ว ยังมีความเชี่ยวชาญด้านการผลิตตู้เย็นในระดับโลกอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีเหตุการณ์ในปี 2014 ผู้ผลิตเครื่องใช้ในครัวเรือนระดับโลกสัญชาติทูร์เคีย ประกาศว่าจะสร้างโรงงานแห่งแรกในอาเซียนที่ประเทศไทย โดยโรงงานมีมูลค่า 98 ล้านเหรียญสหรัฐจะมุ่งเน้นการผลิตตู้เย็น โดยมีเป้าหมายในการผลิตตู้เย็นหนึ่งล้านเครื่องต่อปี
(ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน 15 ตุลาคม 2562)

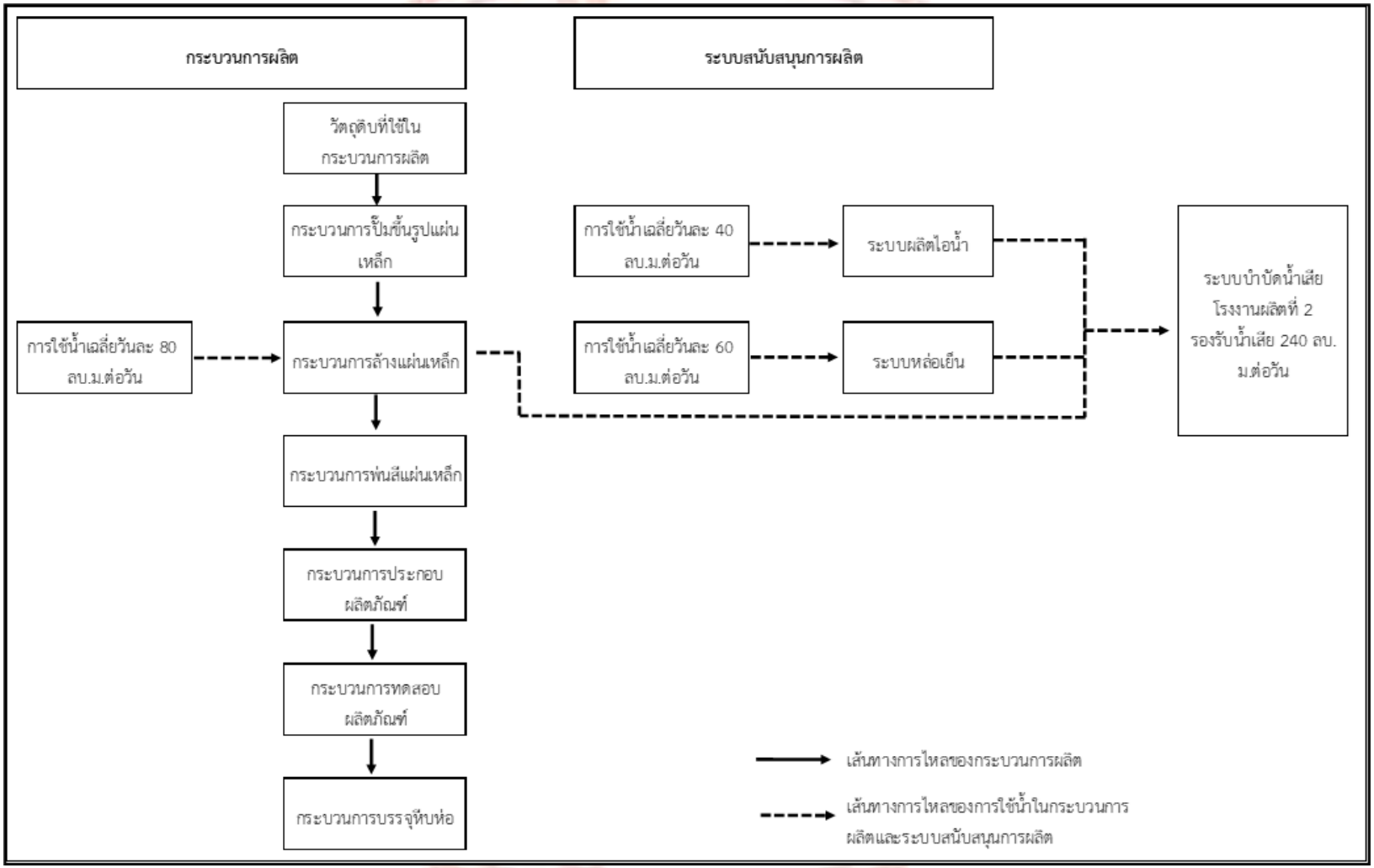
ทั้งนี้บริษัทกรณีศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้เป็นหนึ่งในกลุ่มบริษัทผู้ผลิตสินค้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่อยู่ในกลุ่มบริษัทสัญชาติทูร์เคียดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยมีโรงงานผลิตตั้งอยู่ในประเทศไทยและถือเป็นฐานการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งมีกำลังการผลิตมากกว่า 3,000,000 เครื่องต่อปี โดยเมื่อปี พ.ศ. 2540 บริษัทฯได้มีการก่อตั้งโรงงานผลิตแห่งที่ 1 ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตและส่งออก ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเช่น เครื่องซักผ้า เครื่องดูดฝุ่น ปั๊มน้ำ หม้อหุงข้าว เครื่องทำน้ำอุ่น ด้วยแนวทางการผลิตที่เน้นการผลิตชิ้นงานส่วนใหญ่ด้วยตนเอง บริษัทฯจึงมีความจำเป็นที่จะต้องก่อสร้างระบบการผลิตรวมถึงระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อรองรับการผลิต ดังนั้นบริษัทฯ จึงได้มีการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้สารเคมีในการบำบัดขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการพ่นสี กระบวนการชุบ กระบวนการล้างชิ้นงาน กระบวนการทดสอบผลิตภัณฑ์เครื่องซักผ้าและกระบวนการทดสอบผลิตภัณฑ์ปั๊มน้ำ ซึ่งถือเป็นระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 ซึ่งมีความสามารถในการรองรับน้ำเสียสูงสุดอยู่ที่ 450 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 แผนผังกระบวนการผลิตและการใช้น้ำของโรงงานผลิตที่ 1

ต่อมาในปี พ.ศ. 2545 บริษัทฯได้มีการขยายกำลังการผลิตเพื่อรองรับความต้องการสินค้าที่เพิ่มมากขึ้นจึงได้มีการเพิ่มกำลังการผลิตโดยมีการก่อสร้างโรงงานผลิตแห่งที่ 2 ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ตู้เย็นจึงทำให้บริษัทกรณีศึกษามีความจำเป็นต้องก่อสร้างระบบระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อรองรับน้ำจากกระบวนการผลิตและระบบสนับสนุนการผลิตตามที่ออกแบบไว้เฉลี่ย 180 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ดังนั้นบริษัทฯจึงลงทุนก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้สารเคมีในการบำบัดขึ้นซึ่งถือเป็นระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 ซึ่งมีความสามารถในการรองรับน้ำเสียสูงสุดโดยมีค่าเผื่อสำหรับการขยายกำลังการผลิตที่ 30% จึงได้ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความสามารถในการรองรับน้ำเสียสูงสุดอยู่ที่เฉลี่ย 240 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ตามภาพที่ 1-2)

จากภาพ 1-1 และ 1-2 โดยสรุปจะเห็นได้ว่าที่โรงงานผลิตที่ 1 มีน้ำเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 370-400 ลูกบาศก์เมตรต่อวันและโรงงานผลิตที่ 2 มีน้ำเสียเฉลี่ย 180 – 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวันขึ้นอยู่กับยอดการผลิตเมื่อพิจารณาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน 1 ในขณะนั้นจะพบว่าไม่สามารถรองรับน้ำเสียของทั้ง 2 โรงงานได้

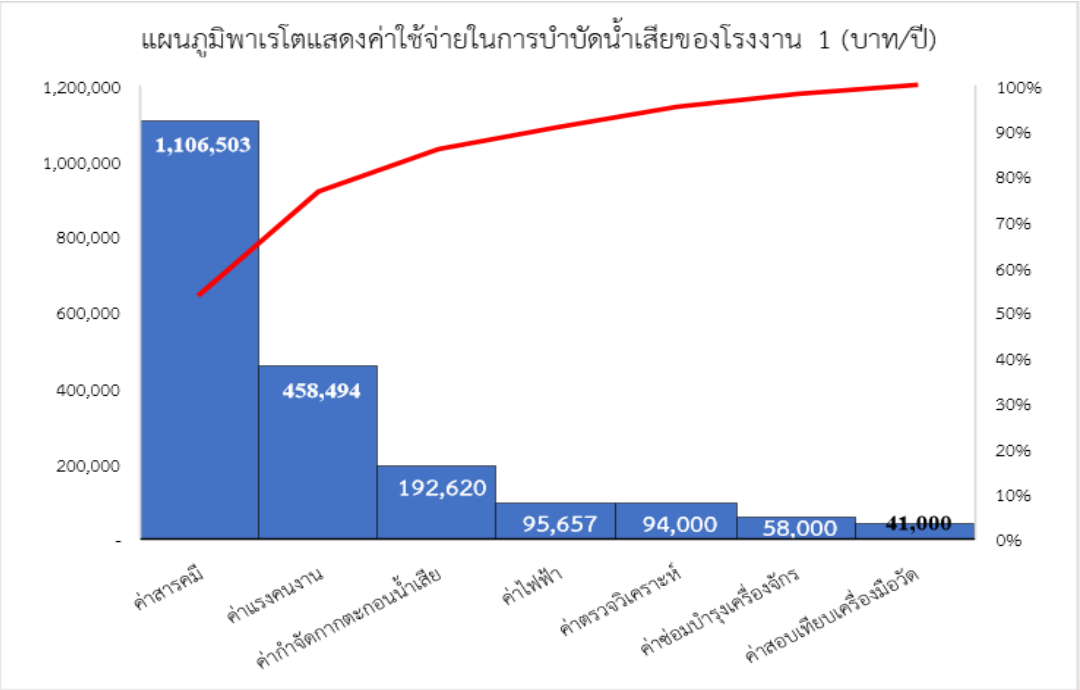


ภาพที่ 1-2 แผนผังกระบวนการผลิตและการใช้น้ำของโรงงานผลิตที่ 2

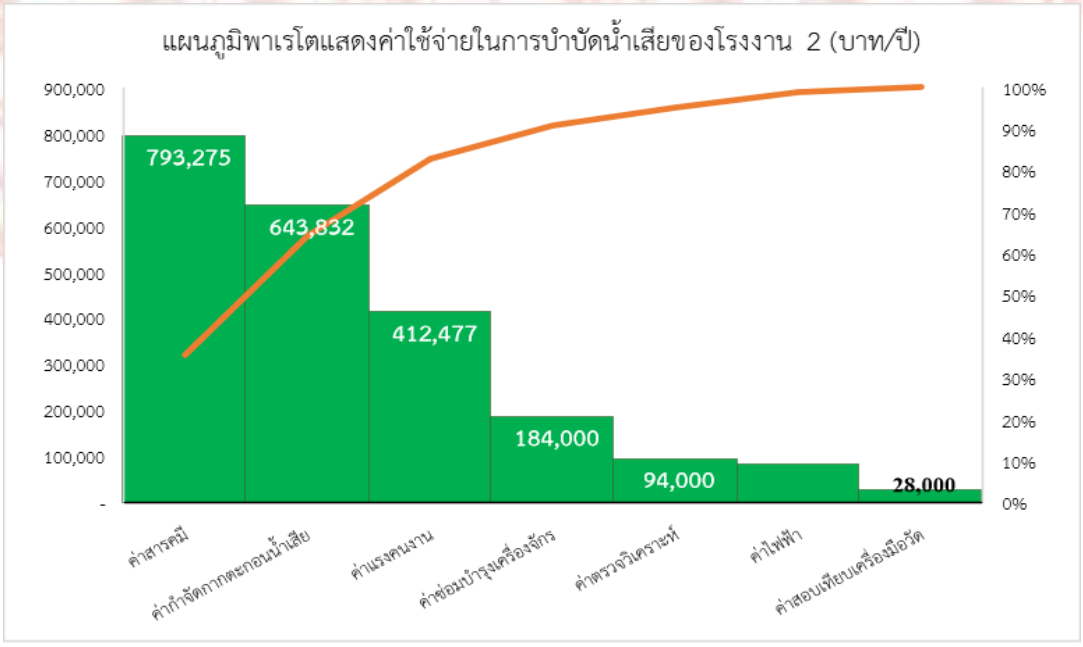
ผู้วิจัยจึงได้มีการศึกษาข้อมูลต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในปี 2565 ของทั้ง 2 โรงงานพบว่า โรงงานผลิตที่ 1 มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียทั้งหมดอยู่ที่ 2,046,273 บาท/ปี แบ่งเป็น ค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย 1,106,503 บาท/ปี คิดเป็น 54% ค่าแรงคนงาน 458,494 บาท/ปี คิดเป็น 22% ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย 192,620 บาท/ปี คิดเป็น 9% ค่าตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย 94,000 บาท/ปี คิดเป็น 5% ค่าไฟฟ้า 95,657 บาท/ปี คิดเป็น 5% ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร 58,000 บาท/ปี คิดเป็น 3% ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัดค่า pH 41,000 บาท/ปี คิดเป็น 2% และโรงงานผลิตที่ 2 มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียทั้งหมดอยู่ที่ 2,239,154 บาท/ปี แบ่งเป็น ค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย 793,275 บาท/ปี คิดเป็น 35% ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย 643,832 บาท/ปี คิดเป็น 29% ค่าแรงคนงาน 412,477 บาท/ปี คิดเป็น 18% ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร 184,000 บาท/ปี คิดเป็น 8% ค่าไฟฟ้า 83,570 บาท/ปี คิดเป็น 4% ค่าตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย 94,000 บาท/ปี คิดเป็น 4% ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัดค่า pH 28,000 บาท/ปี คิดเป็น 1% ดังแสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 แสดงข้อมูลค่าใช้จ่ายของระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 โรงงานในปี 2565

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าใช้จ่ายแต่ละโรงงาน (บาท/ปี)		รวม (บาท/ปี)
		โรงงานผลิตที่ 1	โรงงานผลิตที่ 2	
1	ค่าสารคมี	1,106,503	793,275	1,899,778
2	ค่าแรงคนงาน	458,494	412,477	870,971
3	ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	192,620	643,832	836,452
4	ค่าไฟฟ้า	95,657	83,570	179,226
5	ค่าตรวจวิเคราะห์	94,000	94,000	188,000
6	ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	58,000	184,000	242,000
7	ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด	41,000	28,000	69,000
รวม (บาท/ปี)		2,046,273	2,239,154	4,285,427



ภาพที่ 1-3 แผนภูมิพาเรโตแสดงค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1



ภาพที่ 1-4 แผนภูมิพาเรโตแสดงค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าใช้จ่ายในด้านค่ากำจัดตะกอนน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าโรงงานผลิตที่ 1 เนื่องมาจากการยกเลิกการใช้งานเครื่องรีดตะกอนน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 เพราะมีค่าซ่อมบำรุงสูงจึงเป็นสาเหตุให้ตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดเป็นตะกอนแบบเปียกมีน้ำหนักมากและต้องใช้รถขนส่งแบบพิเศษเพื่อขนส่งตะกอนน้ำเสียแบบเปียก อีกทั้งในช่วงเดือนเมษายนปี 2565 ที่ผ่านมาโรงงานผลิตที่ 2 มีการดำเนินการเปลี่ยนถังไฟเบอร์กลาสใหม่เนื่องจากถังเดิมชำรุดจึงทำให้มีต้นทุนค่าซ่อมบำรุงสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวจึงเป็นเหตุให้โรงงานผลิตที่ 2 มีต้นทุนค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสียสูงกว่าโรงงานผลิตที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 แสดงข้อมูลค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 2 โรงงานในปี 2565

ปี 2565	โรงงานผลิตที่ 1				โรงงานผลิตที่ 2			
	น้ำหนักตะกอนน้ำเสีย	รวมค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ค่าขนส่ง	รวมค่ากำจัดและค่าขนส่ง	น้ำหนักตะกอนน้ำเสีย	รวมค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ค่าขนส่ง	รวมค่ากำจัดและค่าขนส่ง
	ตัน/เดือน	(บาท/เดือน)	(บาท/เดือน)	(บาท/เดือน)	ตัน/เดือน	(บาท/เดือน)	(บาท/เดือน)	(บาท/เดือน)
มกราคม	5.6	8,467	7,986	16,453	20.5	36,879	13,231	50,111
กุมภาพันธ์	5.8	8,714	8,220	16,935	21.4	38,526	13,822	52,348
มีนาคม	5.2	7,806	7,363	15,169	23.8	42,806	15,358	58,164
เมษายน	5.0	7,434	7,013	14,447	24.0	43,136	15,476	58,612
พฤษภาคม	5.1	7,723	7,285	15,008	23.6	42,477	15,240	57,717
มิถุนายน	5.1	7,682	7,246	14,928	23.6	42,477	15,240	57,717
กรกฎาคม	5.2	7,764	7,324	15,089	22.3	40,172	14,413	54,585
สิงหาคม	5.5	8,219	7,753	15,971	22.5	40,501	14,531	55,032
กันยายน	5.6	8,343	7,870	16,212	22.0	39,513	14,177	53,690
ตุลาคม	5.9	8,880	8,376	17,256	21.0	37,867	13,586	51,453
พฤศจิกายน	6.1	9,086	8,571	17,657	20.3	36,550	13,113	49,663
ธันวาคม	6.0	9,003	8,493	17,496	18.3	32,928	11,814	44,742
รวม	66.1	99,120	93,500	192,620	263.2	473,832	170,000	643,832

จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบว่าต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานกรณีศึกษาอยู่ที่ 4,285,427 บาท/ปี ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะดำเนินกิจกรรมการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษาโดยวิธีการตามมาตรฐานในการทำงานได้แก่การฝึกอบรมพนักงานที่มีหน้าที่ควบคุมการบำบัดน้ำเสีย การควบคุมการใช้สารเคมีเพื่อไม่ให้เกิดการสิ้นเปลืองตลอดจนการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบบำบัดน้ำเสียที่โรงงานผลิตที่ 2 แต่ก็ยังพบว่ายังคงมีค่าใช้จ่ายคงที่อยู่ เช่น ค่าแรงคนงาน ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย ค่าไฟฟ้า เป็นต้น ทำให้ไม่สามารถบรรลุเป้าหมายในการลดค่าใช้จ่ายของบริษัทกรณีศึกษาได้ และจากการเก็บข้อมูลในด้านความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ระบบ พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน 1 มีความสามารถเพียงพอในการรองรับน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 ได้ทั้งหมด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถลดต้นทุนการบำบัดลงอย่างน้อย 30%

1.2.2 เพื่อเป็นตัวอย่างในการปรับปรุงของโรงงานที่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่คล้ายคลึงกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษาเท่านั้น

1.3.2 ศึกษาต้นทุนการบำบัดน้ำเสียและความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ของบริษัทกรณีศึกษา

1.3.3 ออกแบบและแก้ไขเพื่อลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาข้อมูลและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายของระบบบัดน้ำเสียของบริษัทในปี 2565 (ระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนธันวาคม)

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.3 วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุความสูญเสียในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

1.4.4 ทำการปรับปรุงพัฒนาวิธีการทำงานเพื่อลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา

1.4.5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ของการทำงานวิจัย

1.5.1 ลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทฯ กรณีศึกษา

1.5.2 เป็นข้อมูลรายงานต่อฝ่ายบริหารโดยมีการนำหลักวิชาการทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมาวิเคราะห์โครงการและเป็นแนวทางการปรับปรุงต่าง ๆ ต่อไป

1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้เรียงลำดับการดำเนินงานวิจัยให้สอดคล้องกับขั้นตอนการศึกษารวมทั้งระยะเวลาในการทำการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี พ.ศ.2566						ปี พ.ศ.2567		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาข้อมูลและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายของระบบบัดน้ำเสียของบริษัทในปี พ.ศ.2565	←								
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		↔							
3. วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุความสูญเสียในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย		↔	↔						
4. ทำการปรับปรุงพัฒนาเพื่อลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา			↔	↔	↔	↔			
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ							↔		
6. นำเสนอสารนิพนธ์ฉบับสมบูรณ์								↔	↔

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยใช้ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี
2.2 ทฤษฎีการออกแบบระบบท่อระบายน้ำเสีย
2.3 ทฤษฎีความรู้เบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำ
2.4 ทฤษฎีการวิเคราะห์โครงการเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม
2.5 ทฤษฎีการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของโครงการ
2.6 ทฤษฎีหลัก 4 ข้อของการปรับปรุง ECRS
2.7 ทฤษฎีเครื่องมือควบคุมคุณภาพ
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

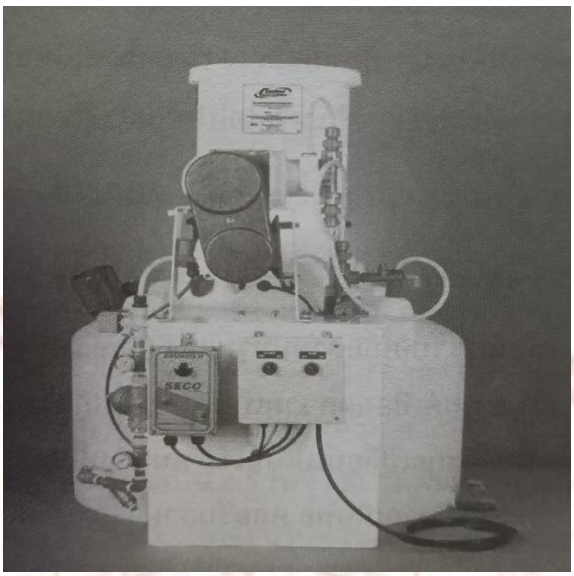
โดยรายละเอียดของทฤษฎีทั้งหมดสามารถสามารถแสดงได้ดังนี้

2.1 ทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี (สันทัด, 2549)

การบำบัดน้ำเสียทางเคมีส่วนใหญ่จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกทั้งสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่ละลายในน้ำเสีย หรือแขวนลอยอยู่ในน้ำเสียและไม่สามารถจมตัวหรือแยกชั้นออกจากน้ำเสียโดยง่ายโดยวิธีทางกายภาพ นอกจากนี้แล้วยังใช้เพื่อช่วยเร่งให้สิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียสามารถแยกออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าปกติ เพื่อลดระยะเวลาหรือเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดทางกายภาพให้สูงขึ้น และยังเป็นวิธีการที่ใช้ในการปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียให้เหมาะสมที่จะปล่อยทิ้งลงสู่สาธารณะหรือเป็นการเตรียมน้ำเสียให้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปบำบัดในขั้นที่สูงขึ้น กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีอาจแบ่งออกเป็นหลายประเภทดังนี้

2.1.1 การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) การทำให้เป็นกลางเป็นการปรับสภาพน้ำเสียให้มีความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลางซึ่งอาจใช้กับน้ำเสียก่อนหรือหลังผ่านกระบวนการบำบัดก็ได้ กล่าวคือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมผลไม้ดองหรือผลไม้กระป๋อง มักจะมีสภาพเป็นกรดมากต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมก่อนที่จะนำไปบำบัดต่อไป ตัวอย่างเช่น หากจะต้องนำน้ำเสียดังกล่าวไปบำบัดด้วยกระบวนการทางชีววิทยา ก็จำเป็นที่จะต้องปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้เป็นกลาง คือ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.8-7.2 เพื่อจะได้

เหมาะสมกับจุลินทรีย์ในระบบบำบัดทางชีวภาพที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วในบางครั้งก็มีความจำเป็น คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่ออกโดยกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ว่าน้ำทิ้งที่จะปล่อยลงสู่สาธารณะ (แม่น้ำ ลำคลอง หรือลำธารสาธารณะ) ควรจะมีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.5-9.0 ดังนั้น ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย การปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียไม่ว่าก่อนหรือหลังการบำบัดจึงมีความจำเป็น หากความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียนั้นไม่เป็นไปตามความต้องการกล่าวคือไม่เป็นไปตามมาตรฐานของน้ำทิ้งที่หน่วยงานราชการกำหนดหรือไม่เหมาะสมที่จะนำไปบำบัดในขั้นต่อไป ตัวอย่างเช่น มาตรฐานของน้ำทิ้งที่หน่วยงานราชการ (กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด) คือความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.5-9.0 วิธีการในการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียให้เป็นกลางหรือให้เป็นค่าตามที่ต้องการนั้นควรจะมีเครื่องมือวัด โดยเครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียจะเป็นเครื่องมือเฉพาะที่เรียกว่า pH-meter หากน้ำเสียมีสภาพเป็นด่างสูงก็จะเติมสารละลายกรดลงไปเพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำลง โดยกรดที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4) เข้มข้น หรือหากน้ำเสียมีสภาพความเป็นกรด-ด่างต่ำมาก ๆ ก็จะต้องเติมสารละลายด่างลงไปเพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้สูงขึ้น โดยด่างที่ใช้ก็จะมีทั้งโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ก็ได้ สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการคำนวนปริมาณของกรดหรือด่างที่ใช้ต้องมีปริมาณที่แน่นอน เนื่องจากการเติมการเติมกรดหรือด่างมากหรือน้อยเกินไปจะส่งผลให้ความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียไม่เป็นไปตามที่ต้องการ การติดตั้งอุปกรณ์ในการป้อนกรดหรือด่างอัตโนมัติในบางครั้งก็มีความจำเป็นเพื่อแก้ปัญหาการเติมกรดหรือด่างไม่เหมาะสม ในทางปฏิบัติ การใช้กรดหรือด่างในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากสะดวกและไม่ยุ่งยาก แต่ค่าใช้จ่ายสูง และหากเลือกใช้สารเคมีบางตัวที่มีราคาสูงก็จะยิ่งทำให้ค่าใช้จ่ายสูงมากขึ้นไปด้วย ยังมีวิธีอื่นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย ตัวอย่างเช่น การใช้น้ำเสียจากแหล่งอื่น ๆ หรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย กล่าวคือ ในบางครั้งโรงงานอาจจะมีแหล่งน้ำเสียหลายแหล่งและแต่ละแหล่งจะมีความเป็นกรด-ด่างต่างกันมาก อาจมีความจำเป็นต้องนำมารวมกันเพื่อปรับความเป็นกรด-ด่างตามที่ต้องการ หรืออาจจะมีบางกรณีที่นำเอาน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วซึ่งส่วนใหญ่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาและมีความเป็นกรด-ด่างที่ค่อนข้างเป็นกลาง สามารถนำมาใช้ปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเป็นกรดหรือด่างสูงได้ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสารเคมีลงได้แต่สิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษคือปริมาณที่ใช้อาจมากเกินไปจนเกิดความไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติและอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียโดยรวม



ภาพที่ 2-1 เครื่องเติมกรดหรือด่างอัตโนมัติ

ที่มา : http://www.wastechengineering.com/neutralization.html

2.1.2 กระบวนการออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and reduction) เป็นวิธีการทางเคมีที่ใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกในรูปของสารอนินทรีย์ เช่น พวกโลหะหนักชนิดต่าง ๆ น้ำเสียเหล่านี้มักจะมาจากโรงงานชุบโลหะ โรงงานผลิตฟิล์มถ่ายรูป ร้านถ่ายรูป เป็นต้น โดยน้ำเสียเหล่านี้จะถูกบำบัดด้วยการเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาในการรับอิเล็กตรอน (Reduction) หรือเกิดปฏิกิริยาในการถ่ายอิเล็กตรอน (Oxidation) ของสิ่งสกปรก เพื่อให้สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบที่ไม่มีพิษ หรือสามารถตกตะกอนออกจากน้ำเสียได้ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ระบบหรือกระบวนการออกซิเดชันและรีดักชันจะเป็นกระบวนการที่มีการใช้สารเคมีในการเพิ่มหรือลดค่า Oxidation number ของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยสารเคมีที่ใช้มีดังนี้

2.1.2.1 สารรับอิเล็กตรอน (Oxidizing agent) สารเคมีที่ใช้ในการรับอิเล็กตรอนมีด้วยกันหลายชนิด เช่น อากาศ ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮเปอร์คลอไรต์ (Hyperchlorite : $HClO^{-}$) เปอร์แมงกาเนต (Permanganate : MnO_4^{-}) โครเมต (Chromate : $Cr_2O_3^{-6}$) และไนเตรต (Nitrate : NO_3^{-}) เป็นต้น

2.1.2.2 สารให้อิเล็กตรอน (Reducing agent) สารเคมีที่ใช้ในการให้อิเล็กตรอนมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) โซเดียมเมตาซัลไฟล์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น

2.1.3 การทำให้เกิดตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) เป็นกระบวนการที่เติมสารเคมีลงไปในน้ำเสียเพื่อให้สิ่งสกปรกที่ละลายน้ำเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนได้ กระบวนการตกตะกอนทางเคมีแบ่งเป็นวิธีต่าง ๆ มากมาย เช่น

2.1.3.1 Hydroxide precipitation คือการทำให้สิ่งสกปรกที่ละลายน้ำอยู่ซึ่งอยู่ในสภาวะอนุภาคบวกตกตะกอนออกมาในรูปเกลือไฮดรอกไซด์ โดยวิธีการง่าย ๆ คือการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียให้สูงขึ้นโดยให้เป็นด่างสูง (คือมีความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7) สารเคมีที่นิยมใช้ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และปูนขาว ส่วนใหญ่แล้วกระบวนการ Hydroxide Precipitation มักนิยมใช้กับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักในรูปของไอออน แต่สิ่งที่ควรพิจารณาเพิ่มเติม คือ สิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียมักจะประกอบด้วยสิ่งสกปรกหลายชนิด และแต่ละชนิดก็จะมีลักษณะสมบัติในการตกตะกอนที่สภาพความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกันออกไป ในกรณีของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียที่มาจากโรงงานชุบโลหะมักจะประกอบด้วยสังกะสี โครเมียม ตะกั่ว ฯลฯ เป็นต้น ดังนั้น อาจจะต้องมีการตกตะกอนโลหะหนักเหล่านั้นออกมาที่สภาพความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียเป็น 8.5 ในช่วงแรกเพื่อให้สังกะสีและโครเมียมตกตะกอนออกมาในรูปของโลหะออกไซด์ก่อน แล้วจึงค่อยปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียเป็น 10 เพื่อให้ทองแดงและแคดเมียมตกตะกอนออกมาในขั้นที่ 2 เป็นต้น

2.1.3.2 Carbonate precipitation เป็นการตกตะกอนอนุภาคบวก (Cation) หรือโลหะหนักออกจากน้ำเสียในรูปของผลึกคาร์บอเนตซึ่งส่วนใหญ่เป็นไอออนของโลหะ โดยโลหะคาร์บอเนตเกือบทุกตัวมีค่าความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำดังแสดงในตารางที่ 2-1 อย่างไรก็ตาม การตกตะกอนโลหะในรูปของคาร์บอเนตจำเป็นต้องปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมด้วยเพื่อที่จะได้เกิดการตกตะกอนที่สมบูรณ์ซึ่งสภาพความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของการตกตะกอนโลหะมักจะอยู่ในสภาวะที่เป็นด่างสูง ๆ

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าความสามารถในการละลาย (Solubility) ของโลหะคาร์บอเนตและโลหะซัลไฟด์ต่าง ๆ (pKs-logKs)

Compound	pKs	Compound	pKs
$CaCO_3$	8.3	SnS_2	18.3
$NiCO_3$	8.2	FeS	21.2
$BaCO_3$	8.3	ZnS	24.7
$SrCO_3$	9.0	SnS	25.9
$ZnCO_3$	9.1	Sb_2S_3	26.0
$CuCO_3$	9.9	NiS	26.6
$MnCO_3$	9.3	CdS	27.0
$CoCO_3$	10.0	PbS	27.5
Ag_2CO_3	11.1	As_2S_3	50.1
$FeCO_3$	10.5	CuS	53.3
$PbCO_3$	13.5	Ag_2S	50.1
$CdCO_3$	13.7	HgS	53.3
$HgCO_3$	16.0		
$CrPO_4$	17.0		

2.1.3.3 Sulfide precipitation การตกตะกอนด้วยอนุมูลซัลไฟด์เป็นการตกตะกอนโลหะหนักในรูปของเกลือซัลไฟด์ โดยสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน ได้แก่ Na_2S, H_2S หรือ $N_2S_2O_3$ ซึ่งมักนิยมใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักพวกอาร์เซนิก แคดเมียม เหล็ก อะลูมิเนียม และปรอท เป็นต้น โลหะหนักซัลไฟด์ดังกล่าวจะมีค่าการละลายต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนต ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพในการตกตะกอนโลหะดังกล่าวด้วยซัลไฟด์ไอออนมีค่าสูง แต่โลหะซัลไฟด์ที่ตกตะกอนออกมาจากน้ำเสียจะมีสีดำและมักจะมีกลิ่นเหม็น ซึ่งเป็นข้อเสียในการบำบัดน้ำเสียตามวิธีการนี้

2.1.3.4 Sulfate precipitation การตกตะกอนด้วยอนุมูลซัลเฟตเป็นการตกตะกอนอนุภาคบวกหรือโลหะหนัก (Cation) ออกจากน้ำเสียในรูปของโลหะซัลเฟต ตัวอย่างเช่น การตกตะกอนแบเรียมออกจากน้ำเสียในรูปของแบเรียมซัลเฟตหรือเกลือซัลเฟต เป็นต้น

2.1.4 การสร้างรวมตะกอน (Coagulation – flocculation) คือการทำให้ตะกอนหรือสารแขวนลอยขนาดเล็ก (Colloid) รวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นและตกตะกอนออกจากน้ำเสีย ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำหรือน้ำเสียมักจะมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กและ

ไม่สามารถจมตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวมันเอง เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าลบเป็นส่วนใหญ่ และเมื่ออนุภาคเหล่านั้นมาพบกันก็จะผลักกันไม่สามารถรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ ดังนั้นถ้าต้องการให้อนุภาคเหล่านั้นมารวมตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่และตกตะกอนออกจากน้ำหรือน้ำเสียก็ต้องทำลายประจุของอนุภาคเหล่านั้นหรือทำให้อนุภาคเหล่านั้นเป็นกลางซึ่งการทำลายประจุหรือการทำให้เป็นกลางทำได้โดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงไป ขั้นตอนในการตกตะกอนเคมีจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

2.1.4.1 Coagulation คือกระบวนการทำให้สารแขวนลอย (Colloid) ในน้ำเสียซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นกลางหรือมีประจุเป็นศูนย์ โดยการใช้สารเคมีที่เรียกว่า Coagulant เมื่อสารแขวนลอยไม่มีประจุหรือประจุเป็นกลางมาพบกันก็จะไม่ผลักกัน และรวมตัวกันเป็นตะกอนใหญ่ขึ้น สามารถตกตะกอนออกจากน้ำเสียได้โดยง่าย

2.1.4.2 Flocculation คือกระบวนการที่ทำให้สารแขวนลอยที่เกาะกันอยู่สามารถเกาะรวมกันได้มากขึ้น โดยการเติมสารเคมีที่เรียกว่า Flocculants ลงไปช่วยยึดหรือจับให้กลุ่มตะกอนที่รวมตัวกันเข้ามาจับเป็นกลุ่มตะกอนใหญ่ขึ้นจนมองด้วยตาเปล่าเห็นได้ชัดเรียกว่า ฟล็อก (Floc) เมื่อตะกอนกลุ่มใหญ่มีน้ำหนักมากขึ้นก็จะสามารถจมตัวลงสู่ก้นถังได้เร็วมากขึ้น

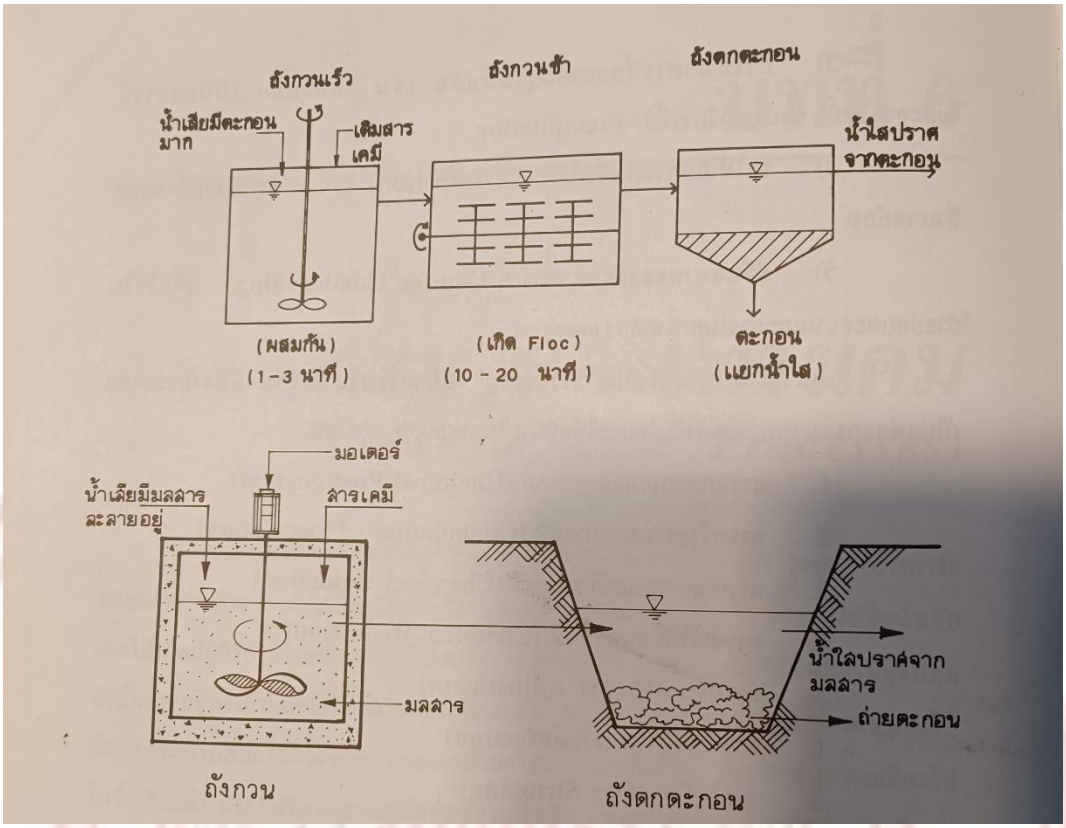
2.1.5 การทดลอง Jar test เป็นการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมและสารเคมีที่เหมาะสมในการใช้สร้างรวมตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ โดยมีรูปแบบของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังแสดงดังภาพที่ 2-2 ข้อมูลที่ได้จากการทำการทดลอง Jar test เช่น ปริมาณสารเคมีที่ใช้ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย ระยะเวลาในการสร้างรวมตะกอน จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการคำนวณออกแบบระบบบำบัดแบบสร้างรวมตะกอนในน้ำเสีย รวมทั้งการควบคุมระบบบำบัด ในการทดลอง Jar test แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การหาสารเคมีที่เหมาะสม ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม และความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม

ภาพที่ 2-2 เครื่องมือ Jar test
ที่มา : https://www.youtube.com/watch?v=4G20ewt9GTU

2.1.6 กระบวนการทางเคมี (เกรียงศักดิ์, 2542)

กระบวนการตกตะกอนผลึกทางเคมี หลักการคือกระบวนการนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพของสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในรูปของสารละลาย (Soluble) ให้เป็นสารที่อยู่ในสภาพไม่ละลายน้ำ (Insoluble) โดยวิธีการเติมสารเคมีผสมกับน้ำเสียให้ทั่วถึง เช่น สารส้ม (Alum), Ferric chloride ($FeCl_3$), ปูนขาว (Lime) เป็นต้น ซึ่งเมื่อผสมเข้ากันดีแล้วจะเกิดการจับตัวกันระหว่างสารเคมีดังกล่าวกับสารละลายทำให้สามารถแยกมลสารที่ไม่ต้องการออกจากน้ำเสียด้วยวิธีตกตะกอนผลึกทางเคมีดังแสดงไว้ในภาพที่ 2-3 สำหรับข้อมูลสารเคมีบางชนิดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-2

การเกิดการตกตะกอนผลึกให้ได้ดีต้องพิจารณาค่า pH หลังจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแล้ว โดยทั่วไปต้องมี pH สูงกว่า 7 จึงจะได้ผลดี ตารางที่ 2-3 ได้แสดงค่า pH ที่เหมาะสมและชนิดของสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อกำจัด หรือแยกมลสารออกจากน้ำเสีย และภาพที่ 2-4 ได้แสดงกราฟของความสามารถในการละลายน้ำของมลสารต่าง ๆ สำหรับ pH ใด ๆ ซึ่งพบว่าแต่ละมลสารจะมีค่า pH ที่เหมาะสมแตกต่างกัน และตารางที่ 2-4 ได้แสดงค่าปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ในทางทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนผลึกของมลสาร 1 กิโลกรัม



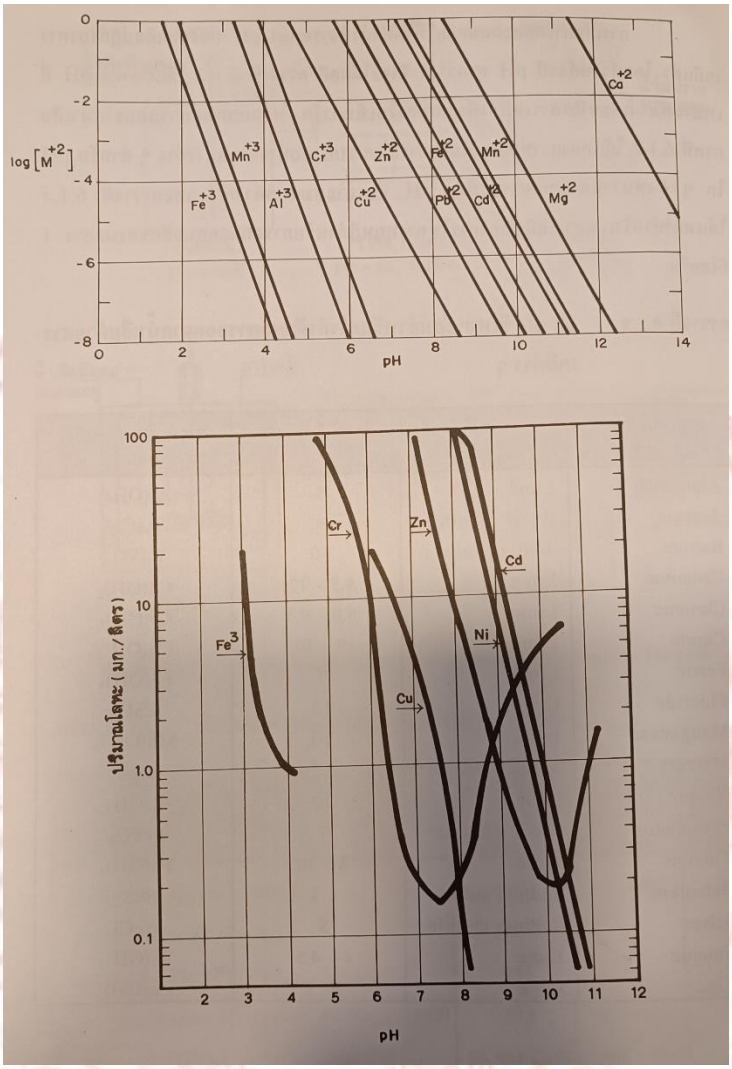
ภาพที่ 2-3 วิธีการตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical Precipitation Method)

ตารางที่ 2-2 ข้อมูลสารเคมีบางชนิดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

สารเคมี	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนาแน่น, กก/ลบ.ม	
		ชนิดแห้ง	ชนิดของเหลว
สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	666.7	961-1201	1249-1281
Ferric Chloride ($FeCl_3$)	162.1	-	1346-1490
Ferric Sulfate ($Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$)	454	-	1121-1153
Ferrous Sulfate (Copperas, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$)	278	993-1057	-
Lime ($Ca(OH)_2$)	56 ของ CaO	561-801	-

ตารางที่ 2-3 ค่า pH ที่เหมาะสมและชนิดของสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อกำจัด หรือแยกมลสารออกจากน้ำเสีย

มลสารที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย	สารเคมีที่เติมผสมลงไป	ค่า pH ที่เหมาะสม	สารเคมีที่ตกตะกอนได้
Aluminum	Lime	5	$Al(OH)_3$
Arsenic	Ferric chloride	8	$AsCl_2$
Barium	Sodium sulfate	10	$BaSO_4$
Cadmium	Lime	9.5-12	$Cd(OH)_2$
Chromic	Lime	8.0-9.5	$Cr(OH)_3$
Cupric	Lime	9-10	Cu(OH)2
Ferric	Lime	7	Fe(OH)3
Fluoride	Lime	12	CaF2
Manganese	Lime	10	Mn(OH)2
Mercury	Sodium sulfate	8.5	HgS
Nickel	Lime	10	Ni(OH)2
Phosphorus	Ferric chloride	7	FePO4
Plumbic	Lime	6-10	Pb(OH)2
Selenium	Sodium sulfate	6.5	SeS2
Silver	Sodium chloride	8	AgCl
Stannic	Lime	4-4.5	Sn(OH)2
Zinc	Lime	5-6	Zn(OH)2



ภาพที่ 2-4 กราฟของความสามารถในการละลายน้ำของมลสารต่าง ๆ สำหรับ pH ต่าง ๆ

การทดลองหาปริมาณสารเคมี จำเป็นอย่างมากต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี เพราะจะได้ทราบแน่ชัดว่า น้ำเสียจากโรงงานแห่งนี้ต้องการการเติมสารเคมีด้วยปริมาณเท่าไร การเติมสารเคมีมาก ๆ ไม่ได้หมายความว่าจำสามารถกำจัดมลสารได้มาก ซึ่งเห็นได้จากในภาพที่ 2-4 ดังนั้นจึงควรนำตัวอย่างน้ำเสียมาทำการทดลองโดยใช้ปริมาตร 2 ลิตร เทลงในถ้วยทดลองหลายใบวางเรียงกันแล้วจึงค่อย ๆ เติมสารเคมีด้วยปริมาณที่แตกต่างกัน นำมากวนให้เข้ากัน ทำการวัดค่า pH แล้วปล่อยให้ตกตะกอนจนได้น้ำใสจากนั้นนำน้ำใสมาทำการวิเคราะห์ค่ามลสารว่ามีความเข้มข้นเท่าไหร่ ดังนั้นก็จะสามารถเลือกปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดได้ซึ่งก็คือการใช้ปริมาณสารเคมีที่น้อยที่สุดและกำจัดมลสารได้มากที่สุด

ตารางที่ 2-4 แสดงค่าปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ในทางทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนผลึกของมลสาร 1 กิโลกรัม

สารเคมีที่ใช้	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ (กก.) มลสารต่างๆ (1 กก. ของแต่ละมลสาร)					
	Cr^{+3}	Cu^{+2}	Fe^{+2}	Fe^{+3}	Ni^{+2}	Zn^{+2}
Calcium Oxide (CaO)	1.62	0.88	1.00	1.50	0.96	0.86
Lime ($Ca(OH)_2$)	2.13	1.16	1.34	2.01	1.26	1.14
Sodium Hydroxide (NaOH)	2.31	1.26	1.44	2.16	1.36	1.22
Sodium Carbonate (Na_2CO_3)	3.07	1.68	1.90	2.85	1.81	1.62
Magnesium Oxide (MgO)	1.17	0.63	0.73	1.10	0.69	0.62
Magnesium Hydroxide ($Mg(OH)_2$)	1.69	0.92	1.05	1.58	1.00	0.90

สารเคมีที่ใช้ในการสร้างตะกอน (การประปาส่วนภูมิภาค, 2561) โพลีอลูมินัมคลอไรด์ (PAC หรือ Poly Aluminium Chloride) เป็นสารสร้างตะกอนที่นำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่นและบางประเทศในทวีปยุโรป PAC ถูกเตรียมขึ้นโดยอลูมิเนียมในรูป Al_2O_3 ทำปฏิกิริยากับ HCl ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้รวมตัวเป็น $AlCl_3$ เมื่อ PAC ละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันทีเป็นอลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย การรวมตัวเป็นอลูมิเนียมขึ้นอยู่กับระดับการรวมตัวของด่างกับสารละลายอลูมิเนียมชนิดและความเข้มข้นของด่าง ความเข้มข้นของสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์จึงสามารถตกตะกอนได้โดยทำให้การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำหลังตกตะกอนเปลี่ยนแปลงไปเหมาะกับน้ำที่มีความขุ่นสูง คุณสมบัติ ข้อดีและข้อควรระวังในการใช้งานของ PAC แสดงดังตารางที่ 2-5

สารเคมีช่วยตกตะกอน (Coagulation aid) เป็นสารที่ช่วยสร้างแกนตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคคอลลอยด์หลาย ๆ ตัว ทำให้ตะกอนมีขนาดใหญ่ เกาะกันแน่นและตกตะกอนได้ง่ายในปัจจุบันสารช่วยสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุดจะเป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์แบบต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า โพลิเมอร์ (Polymer) มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมต่อการใช้งานกับน้ำแต่ละประเภทคุณสมบัติ ข้อดีและข้อควรระวังในการใช้งานของ Polymer แสดงดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-5 ตารางแสดงคุณสมบัติ ข้อดีและข้อควรระวังในการใช้งานของโพลิอลูมิเนียมคลอไรด์

ชนิดสารเคมี	ช่วง pH ที่เหมาะสม	คุณสมบัติ	ข้อดี	ข้อควรระวังการใช้งาน
2) โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl หรือ Polyaluminum Chloride)$Al_2(OH)_xCl_{(6-x)}$ เมื่อ x =0-6	กว้างกว่า 5.5-8.0	**1. ชนิดผง :** เป็นผงหรือเป็นเกล็ด สีขาว หรือสีเหลือง **คุณลักษณะเฉพาะ** - อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ไม่น้อยกว่า 29 % (w/w) - เบสิกซิตี้ (Basicity) 1.) 45 ถึง 85 % (w/w) 2.) 45 ถึง 65 % (w/w) 3.) 65 ถึง 85 % (w/w) - ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 3.5 ถึง 5.0 - ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไม่เกิน 10 % (w/w) - เหล็ก (Fe) แบ่ง ตามค่าเบสิกซิตี้ 1.) 45 ถึง 85 % (w/w) และ 65 ถึง 85 % (w/w) เหล็กไม่เกิน 0.2 % (w/w) 2.) 45 ถึง 65 % (w/w) เหล็กไม่เกิน 300 % (w/w) - เกลือแอมโมเนียม (N) ไม่เกิน 300 มก.ต่อกก. - แมงกานีส (Mn) ไม่เกิน 45 มก.ต่อกก. - สารหนู (As) ไม่เกิน 3.0 มก.ต่อกก. - แคดเมียม (Cd) ไม่เกิน 3.0 มก.ต่อกก. - ตะกั่ว (Pb) ไม่เกิน 15 มก.ต่อกก. - ปรอท (Hg) ไม่เกิน 0.3 มก.ต่อกก. - โครเมียม (Cr) ไม่เกิน 15 มก.ต่อกก.	- เหมาะสำหรับน้ำที่มีความขุ่นสูง หรือน้ำที่มีคุณสมบัติตกตะกอนยากด้วยสารส้ม - ละลายน้ำได้เร็วกว่า สารส้ม ใช้งานได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ - ใช้ในปริมาณน้อยกว่าสารส้ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ - การใช้สาร PACl แทนสารส้มสามารถเพิ่มกำลังผลิตโดยไม่ปรับโครงสร้างระบบผลิต ลดระยะเวลาการเตรียมสารและการใช้พลังงาน - เหมาะสำหรับ กปภ.สาขาขนาดใหญ่ ซึ่งมีอัตราการผลิตน้ำสูง ใช้สารเคมีปริมาณมาก - การเปลี่ยนแปลงของ pH/Alkalinity น้อยกว่าการใช้สารส้ม ทำให้ลดปริมาณการใช้สารเคมีในการปรับ pH	- PACl ชนิดผงมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 2ปี - PACl ชนิดเหลวมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 1ปี - กรณีเป็นของเหลว ให้เก็บในภาชนะประเภทพลาสติก หรือไฟเบอร์กลาส - การสัมผัสฝุ่นหรือไอเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองและกัดกร่อนต่อผิวหนัง ตาและทางเดินหายใจ

ตารางที่ 2-6 ตารางแสดงคุณสมบัติ ข้อดีและข้อควรระวังในการใช้งานของโพลิอิเล็กโทรไลต์

ชนิดสารเคมี	คุณสมบัติ	ข้อดี	ข้อควรระวังการใช้งาน
1) โพลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte)	- มีทั้งชนิดเป็นเม็ดและเป็นของเหลว - เป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของโมโนเมอร์เป็นสายยาว ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคหรือฟลอกให้เกิดเป็นฟลอกขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ง่าย - มี 3 ประเภท ได้แก่ 1) โพลิเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) สามารถรวมตัวกับตะกอนที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี นิยมใช้ในการปรับสภาพตะกอน 2) โพลิเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer) เป็นสารที่มีประจุลบเมื่อละลายน้ำ ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคคอลลอยด์หลายๆตัวทำให้มีขนาดใหญ่ เกาะกันแน่นและตกตะกอนได้ง่าย 3)โพลิเมอร์ที่ไม่มีประจุ (Nonlonic Polymer) ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำแต่ทำให้ตะกอนรวมกลุ่มกันได้ดี ทำให้ฟลอกมีขนาดใหญ่เกาะกันแน่นและตกตะกอนได้ง่าย	- เหมาะสำหรับน้ำดิบที่มีความขุ่นสูง หรือน้ำดิบที่มีคุณสมบัติตกตะกอนยากตะกอนมีน้ำหนักเบา - โพลิเมอร์แบบประจุลบและแบบไม่มีประจุทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคคอลลอยด์หลายๆตัว ทำให้มีขนาดใหญ่ เกาะกันแน่นและตกตะกอนได้ง่าย โดยเติมหลังการสร้างตะกอน - โพลิเมอร์ประจุบวก สารมารถใช้เติมร่วมกับสารส้มซึ่งช่วยลดการใช้สารส้มลงได้	- โพลิเมอร์มีราคาแพง - การเติมโพลิเมอร์แต่ละชนิด ต้องเลือกจุดจ่ายให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2.2 ทฤษฎีการออกแบบระบบท่อระบายน้ำเสีย (ธงชัย, 2549)

2.2.1 หลักการออกแบบระบบท่อระบาย การออกแบบระบบท่อระบายที่ดี กล่าวโดยกว้าง ๆ ก็คือการจัดทำและก่อสร้างระบบที่สามารถระบายน้ำให้ออกไปได้หมดที่สภาวะอัตราน้ำสูงยอดโดยไม่เป็นอุปสรรค รวมทั้งสามารถทำให้น้ำไหลในเส้นท่อด้วยความเร็วที่ล้างท่อโดยตัวเอง (self-cleansing velocity) ได้และไม่มีสิ่งตกค้างอยู่ในท่อ นอกจากนี้ยังต้องมีการระบายอากาศที่ดีพอซึ่งจะเป็นการช่วยลดปัญหาการกัดกร่อนของท่อและวัสดุอื่น ๆ ในระบบระบายได้ หัวข้อที่วิศวกรควรพิจารณาเพื่อประกอบการตัดสินใจในการจัดวางขอบข่ายระบบท่อ คือ

2.2.1.1 สถานที่และตำแหน่ง ตำแหน่งและแนวท่อที่จะวางเป็นส่วนสำคัญที่มีผลกระทบต่อราคาของโครงการแนวท่อระบายที่ดีควรสั้นและตื้นที่สุด โดยยังสามารถรับระบายน้ำเสียได้จากทุกจุดแหล่งกำเนิด

2.2.1.2 ขนาดของท่อ ท่อที่มีขนาดใหญ่มีขีดความสามารถในการระบายน้ำได้มากกว่าท่อเล็ก แต่ก็มีราคาสูงกว่าเป็นธรรมดา วิศวกรจักต้องคำนวณหาท่อขนาดเล็กที่สุดที่ยังสามารถใช้งานได้ในกรณีฉุกเฉิน และไม่ใหญ่เกินไปสำหรับกรณีเมื่อมีอัตราน้ำไหลน้อย ๆ

2.2.1.3 ความลาดของท่อ มีบทบาทในด้านที่มีผลกระทบต่อความลึกของท่อ ท่อที่มีความชันมากจะลึกมากตามไปด้วยเมื่อระยะทางหรือความยาวของท่อยืดยาวออกไป ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องมีบ่อสูบเป็นระยะ ๆ เพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้นแทนการขุดดินวางท่อที่นับแต่จะลึกลงตามลำดับ

2.2.1.4 ความลึกของท่อ เป็นผลกระทบโดยตรงจากความลาดของท่อ และมีส่วนอย่างมากในการควบคุมงบประมาณของโครงการ การวางท่อแบบขุดเปิดหน้าดินธรรมดาโดยไม่มีมาตรการป้องกันและลึกมากกว่า 3 เมตร อาคารข้างเคียงอาจเกิดการทรุดตัวและแตกร้าวเนื่องจากการไหลตัวของดินข้างเคียงได้ วิศวกรจำเป็นต้องออกแบบให้มีการป้องกันดังกล่าวที่ดีพอ ในกรณีที่ท่อมีความลึกมากอาจจะต้องใช้ระบบอุโมงค์ที่ขุดเจาะโดยไม่มีการขุดเปิด สำหรับในกรณีหลังนอกจากจะมีปัญหาในการก่อสร้างแล้วยังเป็นอุปสรรคต่อการจราจรอีกด้วย

2.2.1.5 ชนิดของท่อ ท่อต่างชนิดกันมีประโยชน์ในการใช้งาน อายุ ความเสียดทาน ความคงทน และราคาไม่เหมือนกัน วิศวกรควรทำความคุ้นเคยกับท่อที่มีอยู่ในท้องตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศและทำการเลือกให้เหมาะสมกับโครงการนั้น ๆ ชนิดของท่อระบายน้ำเสีย ปัจจุบันท่อระบายน้ำมีให้เลือกหลากหลายรูปแบบ ทั้งวัสดุ ขนาด และความแข็งแรง ตามวัตถุประสงค์และประเภทของการนำไปใช้งาน โดยส่วนใหญ่แล้วท่อระบายน้ำจะนำไปใช้ในเพื่อการระบายน้ำเมื่อฝนตก ใช้ระบายน้ำของแม่น้ำ ลำธาร เพื่อให้รถสัญจรได้สะดวก รวมถึงใช้สำหรับงานวางสายไฟ สายเคเบิ้ลต่าง ๆ ด้วย โดยท่อระบายน้ำแบ่งออกตามวัสดุ ดังนี้

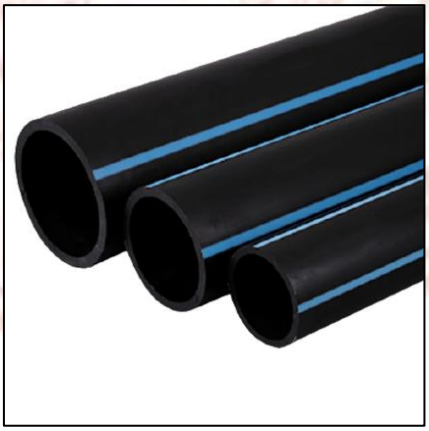
2.2.1.5.1 ท่อระบายน้ำคอนกรีต เป็นท่อระบายน้ำที่นิยมนำมาใช้กับมากที่สุด เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงทานทาน สามรถนำไปใช้งานได้ยาวนานถึง 75 – 100 ปี มีประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยม ป้องกันการรั่วซึมได้ดี สามารถเพิ่มความแข็งแรงของท่อระบายน้ำด้วยการเสริมเหล็กได้ อย่างไรก็ตามข้อเสียของท่อระบายน้ำคอนกรีต คือ หากดินหรือสภาพแวดล้อมโดยรอบของท่อระบายน้ำมีความเป็นกรดอาจเกิดการกัดกร่อนจนเกิดความเสียหายได้ รวมถึงมีน้ำหนักที่มาก ทำให้การขนย้ายและการติดตั้งเป็นเรื่องที่ยากจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการติดตั้ง และต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมาก ท่อระบายน้ำคอนกรีตมีการผลิตออกมาหลากหลายรูปแบบ และมีหลายขนาดตามสภาพของพื้นผิวหรือลักษณะการนำไปใช้ ซึ่งการเลือกนำไปใช้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ความลึกของพื้นดิน ความสูงของถนน และปริมาณของน้ำ เป็นต้น ดังภาพที่ 2-5

ภาพที่ 2-5 ภาพตัวอย่างท่อระบายน้ำคอนกรีต

2.2.1.5.2 ท่อเหล็กระบายน้ำ ในอดีตท่อเหล็กมักนำมาใช้สำหรับงานระบายน้ำเสีย เนื่องจากมีความทนทานเป็นอย่างมาก แต่มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่สูง มีอายุการใช้งานเพียง 25-50 ปี เพราะง่ายต่อการยุบหรือการกัดกร่อน ทำให้ปัจจุบันท่อเหล็กระบายน้ำถูกแทนด้วยท่อเหล็กระบายน้ำแบบลูกฟูกแทน มักนำไปใช้กับงานทางหลวงและทางรถไฟ ท่าเรือขนาดใหญ่ เหมืองแร่ โดยท่อระบายน้ำเหล็กทำมาจากแผ่นโลหะ ข้อดีของท่อระบายน้ำประเภทนี้ คือ มีคุณภาพสูง ต้นทุนต่ำ ทำให้ง่ายต่อการขนส่ง ติดตั้งง่ายเพราะไม่ต้องใช้อุปกรณ์ขนาดใหญ่ ทำให้ลดระยะเวลาการทำงานได้ดี มีความแข็งแรงมาก เสียรูปทรงได้ยาก สามารถรับแรงอัดได้มากกว่าท่อซีเมนต์ และมีอายุการใช้งานตั้งแต่ 80-100 ปี ดังภาพที่ 2-6

ภาพที่ 2-6 ภาพตัวอย่างท่อเหล็กระบายน้ำ

2.2.1.5.3 ท่อระบายน้ำ HDPE ท่อระบายน้ำชนิด HDPE หรือท่อระบายน้ำลูกฟูก สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ได้แก่ งานส่งน้ำประปา ท่อส่งร้อยสานโทรศัพท์ สายไฟฟ้า ท่อลอดใต้น้ำ รวมถึงท่อระบายน้ำทั้งน้ำฝน และน้ำเสีย เหมาะกับชุมชน โครงการหมู่บ้าน ไปจนถึงนิคมอุตสาหกรรม และเหมืองแร่ ด้วยคุณสมบัติของท่อระบายน้ำที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกเอทิลีน ทำให้ตัวท่อมีความยืดหยุ่นมาก โค้งงอได้ดี ไม่รั่วซึมได้ง่าย ทนทาน มีความต้านทานต่อแรงกดทับจากภายนอกได้ดี สามารถทนต่อการขัดสี และการกัดกร่อนจากสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ จึงไม่เกิดสนิม และตะกรัน ทำให้ท่อระบายน้ำชนิดนี้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานถึง 50 ปี เหมาะกับการติดตั้งโดยไม่ต้องใช้การขุดร่อง นอกจากนี้ยังง่ายต่อการขนย้ายและติดตั้ง เพราะท่อมีน้ำหนักที่เบา สามารถติดตั้งในพื้นที่ที่จำกัดได้ แต่มีข้อเสียตรงที่อาจเกิดความอ่อนตัวหากมีอุณหภูมิที่สูงมากเกินไป ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 ภาพตัวอย่างท่อระบายน้ำ HDPE

2.3 ทฤษฎีความรู้เบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำ (ธงชัย, 2549)

2.3.1 ความรู้เบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำ ความรู้เบื้องต้นที่วิศวกรระบบระบายน้ำพึงรู้เกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำ ได้แก่ ลักษณะทางชลศาสตร์ในรูปของ 1) กำลังสูบ 2) หัวน้ำ 3) ประสิทธิภาพของการสูบรวมทั้งหลังงานที่จ่ายเข้าระบบสูบน้ำนี้ อันอาจอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า (มอเตอร์) หรือพลังงานกลที่ได้มาจากการสันดาปของน้ำมัน (เครื่องยนต์ เช่น ดีเซล)

2.3.1.1 กำลังสูบหรืออัตราสูบ คือปริมาตรของของไหลที่ถูกสูบไปจากระบบเทียบต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น ลิตร/วินาที, ลบ.ม./นาที เป็นต้น

2.3.1.2 หัวน้ำ (head) “หัว” ในที่นี้หมายถึงระดับของผิวน้ำที่อยู่เหนือหรือใต้ระดับอ้างอิงหนึ่ง ๆ ในระบบสูบ “หัวเครื่องสูบ” (pump head) หมายถึงความสูงที่เครื่องสูบนั้น ๆ สามารถยกของไหลให้ถึงได้ในท่อส่งหนึ่ง ๆ มักวัดกันเป็นเมตรของความสูงของ ๆ ไหลในท่อนั้น ๆ “หัว” นี้ต้องมีมากกว่าความสูญเสียหัวในระบบท่อที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลด้วยอัตราเร็วหนึ่ง ๆ ในกรณีนี้มีชื่อเรียกว่า “หัวระบบ” (system head)

2.3.2 การเลือกใช้ปั๊มให้เหมาะสมกับการใช้งาน (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมและสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2555)

การเลือกเครื่องปั๊มน้ำสำหรับอาคารขนาดใหญ่และโรงงาน ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการเลือกและนำไปใช้งานเฉพาะปั๊มแบบแรงเหวี่ยงเท่านั้น เนื่องจากปั๊มแบบนี้ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน การเลือกปั๊มประเภทนี้ควรทราบข้อมูล ดังต่อไปนี้

ก) ชนิดของของเหลว ที่ต้องการสูบ อุณหภูมิ ความหนืด ความหนาแน่น

ข) อัตราการสูบ หรือ Flow rate ที่ต้องการ

ค) ความดัน หรือความสูงที่ต้องยกน้ำนั้น ๆ ขึ้นไป หรือที่เรียกกันว่า HEAD

ง) ลักษณะของระบบท่อ

จ) การเปลี่ยนแปลงของสภาพของการทำงานและข้อจำกัดของพื้นที่และการจัดวาง

ฉ) ค่าใช้จ่ายในการซื้อ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและอายุการใช้งาน

ช) ข้อมูลจากผู้แทนจำหน่ายเครื่องปั๊มน้ำ ได้แก่ Pump curve

เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลในระบบท่อแบ่งเป็น การสูญเสียหลักในท่อตรงและสูญเสียรองในอุปกรณ์วาล์วและข้อต่อ เฮดรวมของเครื่องปั๊มน้ำ เพื่อส่งน้ำจากตำแหน่งหนึ่งไปสู่อีกตำแหน่งหนึ่งหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$h_p = Z_d + Z_s + h_f \quad (2\text{-}1)$$

โดยที่

h_p = เฮดรวมของเครื่องปั๊มน้ำ

Z_d = ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงทางด้านจ่ายของปั๊ม

Z_s = ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงทางด้านดูดของปั๊ม

h_f = เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลในระบบท่อ

และค่า h_f สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$h_f = h_{pipe} + h_{fitting} \quad (2\text{-}2)$$

โดยที่

h_{pipe} = การสูญเสียหลักในเส้นท่อ, เทียบเท่าความยาวท่อ (เมตรต่อความยาวท่อ 100 เมตร)

$h_{fitting}$ = การสูญเสียรองในอุปกรณ์ข้อต่อท่อและวาล์ว, เทียบเท่าความยาวท่อ (เมตรต่อความยาวท่อ 100 เมตร)

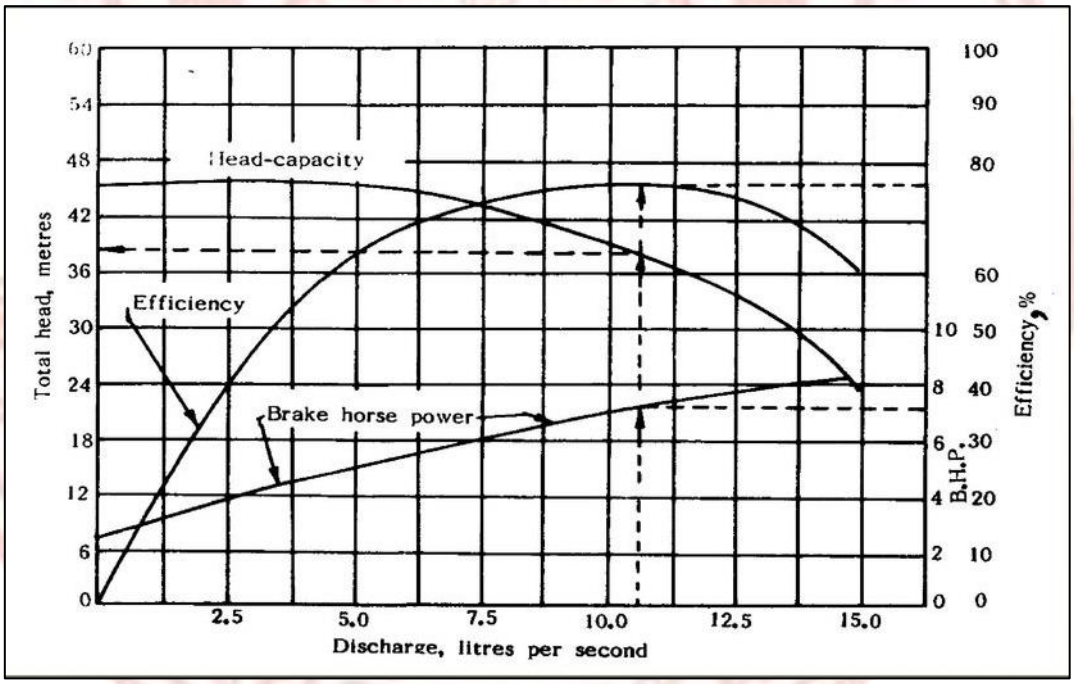
ตารางที่ 2-7 ตารางแสดงค่าการสูญเสียหลักในเส้นท่อ (หน่วยเมตรต่อความยาวท่อ 100 เมตร)

ท่อขนาด 1 นิ้ว		ท่อขนาด 2 นิ้ว		ท่อขนาด 3 นิ้ว		ท่อขนาด 4 นิ้ว		ท่อขนาด 5 นิ้ว		ท่อขนาด 6 นิ้ว		ท่อขนาด 8 นิ้ว		ท่อขนาด 10 นิ้ว		ท่อขนาด 12 นิ้ว	
Usgpm	h_f	Usgpm	h_f	Usgpm	h_f	Usgpm	h_f	Usgpm	h_f	Usgpm	h_f	Usgpm	h_f	Usgpm	h_f	Usgpm	h_f
6	2.68	24	1.2	50	0.66	90	0.52	140	0.38	200	0.3	400	0.279	600	0.19	800	0.14
8	4.54	25	1.29	60	0.92	100	0.62	160	0.487	220	0.357	450	0.348	650	0.224	850	0.154
10	6.86	30	1.82	70	1.22	120	0.88	180	0.606	240	0.419	500	0.424	700	0.256	900	0.173
12	9.62	35	2.42	80	1.57	140	1.17	200	0.736	260	0.487	600	0.597	750	0.291	950	0.191
14	12.8	40	3.1	90	1.96	160	1.49	220	0.879	280	0.56	650	0.694	800	0.328	1000	0.21
16	16.5	45	3.85	100	2.39	180	1.86	240	1.035	300	0.637	700	0.797	850	0.366	1100	0.251
18	20.6	50	4.67	120	3.37	200	2.27	260	1.2	350	0.851	750	0.911	900	0.41	1200	0.296
20	25.1	55	5.51	140	4.51	220	2.72	280	1.38	400	1.09	800	1.02	950	0.455	1300	0.344
22	30.2	60	6.59	160	5.81	240	3.21	300	1.58	450	1.36	850	1.13	1000	0.5	1400	0.395
		65	7.7	180	7.28	260	3.74	350	2.11	500	1.66	900	1.27	1100	0.6	1500	0.45
		70	8.86			280	4.3	400	2.72	600	2.34	950	1.42	1200	0.703	1600	0.509
		75	10.15			300	4.89	450	3.41	650	2.72	1000	1.56	1300	0.818	1700	0.572
		80	11.4			350	6.55	500	4.16	700	3.13	1100	1.87	1400	0.94	1800	0.636
								550	4.94	750	3.59	1200	2.2	1500	1.07	1900	0.704
												1300	2.56	1600	1.21	2000	0.776
														1700	1.36	2100	0.853
														1800	1.52	2200	0.936
														1900	1.68	2500	1.187
														2000	1.86		

ตารางที่ 2-8 ตารางแสดงค่าการสูญเสียรองในอุปกรณ์ข้อต่อท่อและวาล์ว, เทียบเท่าความยาวท่อ (เมตรต่อความยาวท่อ 100 เมตร)

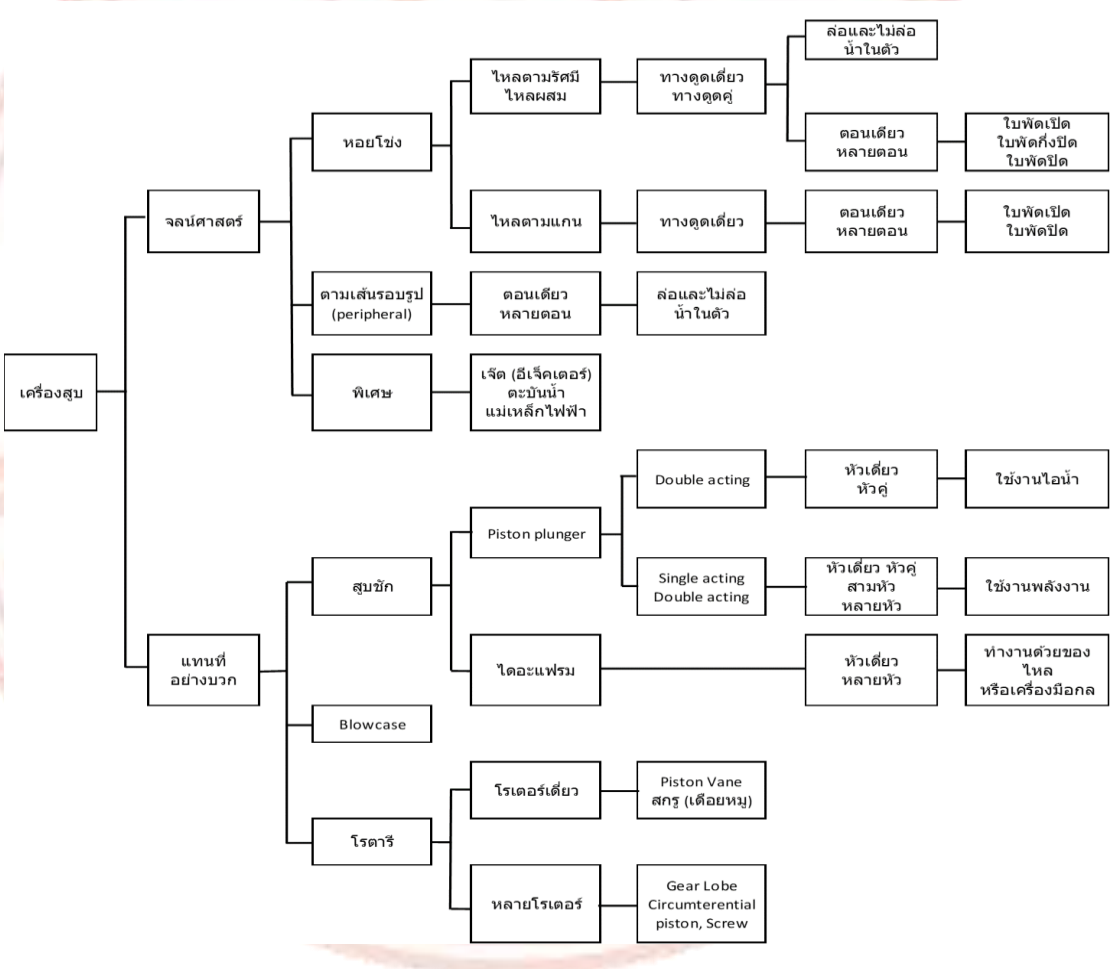
ชนิด	ขนาด (นิ้ว)	1	2	3	4	5	6	8	10	12
Regula 90°	แบบเกลียว	1.58	2.59	3.35	3.96					
	แบบหน้าแปลน	0.49	0.94	1.34	1.8	2.22	2.71	3.66	4.27	5.18
Long Radius 90°	แบบเกลียว	0.82	1.1	1.22	1.4					
	แบบหน้าแปลน	0.49	0.82	1.04	1.28	1.52	1.74	2.13	2.44	2.74
Regula 45°	แบบเกลียว	0.4	0.82	1.22	1.68					
	แบบหน้าแปลน	0.25	0.52	0.79	0.88	1.37	1.71	2.35	2.74	3.35
Tee Line Flow	แบบเกลียว	0.98	2.35	3.66	5.15					
	แบบหน้าแปลน	0.3	0.55	0.67	0.85	1.01	1.16	1.43	1.58	1.83
Tee branch Flow	แบบเกลียว	2.01	3.66	5.18	6.4					
	แบบหน้าแปลน	1.01	2.01	2.86	3.66	4.57	5.49	7.31	9.14	10.36
Globe valve	แบบเกลียว	8.84	16.46	24.08	33.53					
	แบบหน้าแปลน	13.72	21.33	28.65	36.57	45.72	57.91	79.24	94.48	118.87
Gate Valve	แบบเกลียว	0.26	0.46	0.58	0.76					
	แบบหน้าแปลน	0	0.79	0.85	0.88	0.94	0.98	0.98	0.98	0.98
Angle Valve	แบบเกลียว	5.18	5.49	5.49	5.49					
	แบบหน้าแปลน	5.18	6.4	8.53	11.58	15.24	19.2	27.43	36.57	42.67
Swing Check Valve	แบบเกลียว	3.35	5.79	8.23	11.58					
	แบบหน้าแปลน	2.19	5.18	8.23	11.58	15.24	19.2	27.43	36.57	42.67
Coupling or Union	แบบเกลียว	2.19	5.18	8.23	11.58	15.24	19.2	27.43	36.57	42.67
	แบบหน้าแปลน	0.09	0.14	0.16	0.2					

2.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหัวและกำลังสูบของเครื่องสูบน้ำ (Pump Head-Capacity Curve) สำหรับเครื่องสูบน้ำหนึ่งที่หมุนเร็วด้วยสปีดคงที่หนึ่ง ความสัมพันธ์ระหว่างหัวการสูบกับกำลังสูบแสดงได้ดังภาพที่ 2-8 กล่าวคือ เมื่อสูบปริมาณน้ำมากขึ้นก็จะสูบได้หัวหรือความสูงลดลง รวมทั้งกินแรงงานมากขึ้นด้วยส่วนประสิทธิภาพของระบบไม่เป็นความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าว กล่าวคือมีจุดเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดที่จุด ๆ หนึ่ง อันจะผิดแผกกันไปขึ้นอยู่กับการผลิตใบพัด เรือนสูบและชนิดเครื่องสูบ ผู้ผลิตเป็นผู้ที่ต้องให้ข้อมูลเหล่านี้แก่วิศวกร โดยต้องทำการทดสอบเองในห้องทดสอบของตน โดยอาศัยหลักการที่ว่า “หัวเครื่องสูบ” เท่ากับความแตกต่างระหว่างหัวพลังงานที่จุดหัวจ่าย และหัวดูด ในระหว่างการทดสอบจักสามารถปรับอัตราสูบได้โดยการหรี่วาล์วที่ท่อจ่ายและวัดหัวในกรณีนั้น ๆ ไว้ แล้วจึงนำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์ดังกล่าวต่อไป กราฟที่ได้มีชื่อเรียกว่า “เส้นโค้งลักษณะสมบัติของเครื่องสูบ” (pump characteristic curve)



ภาพที่ 2-8 เส้นโค้งลักษณะสมบัติของเครื่องสูบน้ำ (pump characteristic curve)

2.3.4 เครื่องสูบน้ำมีหลายชนิดดังภาพที่ 2-9 แสดงให้เห็นลักษณะการแบ่งประเภทเครื่องสูบน้ำชนิดต่าง ๆ เห็นได้ชัดว่าแบ่งออกได้เป็นหลักใหญ่สองอย่าง คือ แบบพลังงานจลน์และแบบแทนที่อย่างบวก (positive displacement) เครื่องสูบหอยโข่ง (Centrifugal) เป็นเครื่องสูบน้ำที่นิยมใช้กันในงานระบายน้ำ อันแบ่งได้อีก 3 ประเภทย่อย ได้แก่ ไหลตามรัศมี (radial flow) ไหลแบบผสม (mixed flow) และไหลตามแกน (axial flow) โดยทั่วไปสองประเภทแรกใช้กับงานสูบระบายน้ำเสียและน้ำร่วม ส่วนประเภทหลังนิยมใช้กับงานระบายน้ำที่ค่อนข้างสะอาด เช่น น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วหรือน้ำฝน



ภาพที่ 2-9 ประเภทเครื่องสูบชนิดต่าง ๆ

2.4 ทฤษฎีการวิเคราะห์โครงการเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (ชาติชาย, 2547)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เป็นการศึกษาข้อมูลทางการเงิน เพื่อประกอบการตัดสินใจลงทุน โดยจะนำข้อมูลที่ได้จากการตลาดและการศึกษาด้านวิศวกรรม มาประกอบในการศึกษาด้านการเงิน เพื่อพิจารณาดูว่าจำนวนเงินลงทุนทั้งสิ้นในการดำเนินงานตามโครงการ เมื่อลงทุนไปแล้วจะคืนทุนได้ภายในกี่ปีผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ ที่มีผลต่อการตัดสินใจ ซึ่งประเมินโดยใช้เครื่องมือทางการเงิน

การประมาณเงินลงทุนในโครงการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่เป็นต้นทุนสินทรัพย์ถาวรและค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน และส่วนที่เป็นเงินทุนหมุนเวียนต้นทุนสินทรัพย์ถาวร ได้แก่ ที่ดินหรือบริเวณที่ปรับปรุง ตัวอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง เครื่องจักรและอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้ อุปกรณ์ขนถ่าย ยานพาหนะ เป็นต้น ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มโครงการจนถึงวันที่โครงการเริ่มทำการดำเนินการจริง ได้แก่ เงินเดือนผู้บริหารโครงการ และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ค่าเดินทางติดต่อ ค่าเช่าสำนักงาน ค่าฝึกอบรมพนักงาน ส่วนที่เป็นเงินทุนหมุนเวียน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่มาจากการดำเนินการในระยะหนึ่ง เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าจ้างค่าสวัสดิการ ค่าใช้จ่ายในการผลิตส่วนอื่น ไม่รวมค่าเสื่อมราคา ค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซมอุปกรณ์ เป็นต้น

2.4.1 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net Present Value: NPV)

ผลต่างของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิแต่ละปีตลอดอายุของโครงการกับเงินสดจ่ายลงทุน ณ อัตราค่าลงทุน (Cost of capital)

NPV = มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ - มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย

NPV = B – C

จากสูตรดังกล่าวย่อมมีโอกาสเกิดเหตุการณ์ขึ้นได้ 3 กรณี คือ

B – C = 0 แสดงว่าผลตอบแทนเท่ากับต้นทุน หรือจุดคุ้มทุนกล่าวคือโครงการไม่มีกำไร ไม่ขาดทุน

B – C > 0 แสดงว่าผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนกล่าวคือโครงการมีกำไร

B – C < 0 แสดงว่าผลตอบแทนน้อยกว่าต้นทุนกล่าวคือโครงการนั้นขาดทุน

จากสูตรดังกล่าวข้างต้นเป็นการพิจารณาโครงการลงทุนเพียงปีเดียว ถ้าโครงการลงทุนมีหลายปีกระแสเงินสดรับ หรือผลตอบแทนจะมีหลายจำนวน เช่น $B_1, B_2, B_3, \ldots, B_n$ และกระแสเงินสดจ่ายก็จะมีหลายจำนวน เช่น $C_1, C_2, C_3, \ldots, C_n$ จะใช้สูตรดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (2\text{-}3)$$

โดยที่

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน (Net Present Value: NPV)

B_t = ผลตอบแทนในปีที่ 1, 2, 3, ..., n

C_t = ค่าใช้จ่ายในปีที่ 1, 2, 3, ..., n

i = อัตราคิดลดหรือค่าเสียโอกาสของทุน

t = ปีของโครงการคือปีที่ 1, 2, 3, ..., n

n = อายุของโครงการ

2.4.2 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการหรือ IRR คืออัตราคิดลดที่จะทาให้ผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายที่ได้คิดลดเป็นค่าในปัจจุบันแล้วเท่ากัน อัตราคิดลดดังกล่าวจึงเป็นอัตราความสามารถของเงินลงทุนที่จะก่อให้เกิดรายได้คุ้มกับเงินลงทุนนั้นพอดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ก็คือหาดูว่าอัตรา คิดลด (Discount Rate) ตัวใด ที่จะทาให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์

ดังนั้นการคานวณหาค่า IRR จึงคล้ายคลึงกับการคานวณหาค่า NPV แตกต่างกันตรงที่ใช้อัตราดอกเบี้ย (i) ในการหาค่า NPV ส่วนค่า IRR จะใช้อัตราคิดลด (r) ที่ทาให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์พอดี โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2-2)

$$IRR = r_{low} + \frac{\left(r_{high} - r_{low}\right) \times NPV_{tlow}}{\left|NPV_{thigh} + NPV_{tlow}\right|} \quad (2\text{-}4)$$

โดยที่

IRR = อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ

r_{high} = อัตราคิดลดที่ใช้ในการคานวณที่ทาให้ NPV เป็นบวก

r_{low} = อัตราคิดลดที่ใช้ในการคานวณที่ทาให้ NPV เป็นลบ

NPV_{thigh} = มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการที่ใช้อัตราคิดลด r_{high}

NPV_{tlow} = มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการที่ใช้อัตราคิดลด r_{low}

หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อลงทุนในโครงการของวิธีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการโดยดูจากค่าที่คานวณได้ดังนี้

ถ้าค่า IRR ที่ได้สูงกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด (Minimum Attractive Rate of Return: MARR) ที่หน่วยธุรกิจยอมรับได้ แสดงว่าโครงการคุ้มค่าในการลงทุน

ถ้าค่า IRR ที่ได้เท่ากับอัตราผลตอบแทนต่ำสุด (Minimum Attractive Rate of Return: MARR) ที่หน่วยธุรกิจยอมรับได้ แสดงว่าสามารถยอมรับหรือปฏิเสธโครงการก็ได้

ถ้าค่า IRR ที่ได้ต่ำกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด (Minimum Attractive Rate of Return: MARR) ที่หน่วยธุรกิจยอมรับได้ แสดงว่าโครงการไม่คุ้มค่าในการลงทุน ควรปฏิเสธการลงทุน

2.5 ทฤษฎีการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของโครงการ

2.5.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP)

ระยะเวลาคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาที่ทำให้ผลรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิจากการดำเนินโครงการเท่ากับเงินจ่ายลงทุนครั้งแรก วิธีนี้ให้ความสำคัญต่อเงินสดที่ได้รับเข้ามาเนื่องจากเงินสด ที่ได้รับสามารถนำไปลงทุนในโครงการอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดกำไร ระยะเวลาคืนทุนเป็นการคำนึงถึงระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงาน หรือผลกำไรที่ได้รับในแต่ละปีรวมกัน โดยเป็น กำไรสุทธิหลังหักภาษี ดอกเบี้ย และค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน เท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุน เริ่มแรกของโครงการ นั่นคือการพิจารณาจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์กับค่าใช้จ่ายในการลงทุน ดังนั้น หากดำเนินงานแล้วต้นทุนเท่ากับผลตอบแทนได้รวดเร็วจะดีกว่า เพราะความเสี่ยงน้อยและผู้ลงทุนสามารถนำเงินที่ถอนทุนได้ไปลงทุนเพื่อหาประโยชน์ในโครงการอื่น ๆ ต่อไป

หลักเกณฑ์การตัดสินใจ คือ การเลือกการลงทุนที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่ได้เร็วที่สุด แต่ทั้งนี้ต้องเร็วกว่าระยะเวลาการคืนทุนที่หน่วยธุรกิจจะสามารถรอคอยได้และสามารถยอมรับได้ ซึ่งระยะเวลาที่กาหนดเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบไว้นี้มักจะกำหนดจากระยะเวลาที่คาดหวังของหน่วยธุรกิจโดยอาศัยค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการคืนทุนของธุรกิจประเภทนั้นเป็นเกณฑ์กำหนด ในการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนมีหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ เลือกลงทุนทางเลือกที่มีระยะเวลาคืนทุนที่ได้เร็วที่สุด โดยสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้ดังสมการที่ (2-3)

$$\sum_{t=1}^{n} R_t \geq C_0 \qquad (2\text{-}5)$$

โดยที่

C_0 = เงินลงทุนเริ่มแรกที่เวลาศูนย์หรือเวลาปัจจุบัน

R_t = รายรับสุทธิในคาบที่ t

t = ปีที่ 1, 2, 3, ..., n

2.6 ทฤษฎีหลัก 4 ข้อของการปรับปรุง ECRS

ประเสริฐ อัครประถมพงศ์ (2552) หลักการ ECRS เป็นหลักการง่าย ๆ ซึ่งสามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเปล่าลงได้เป็นอย่างมีประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงสภาพปัจจุบันให้เข้าสู่สภาพที่ควรจะเป็นสร้างงานที่เป็นมาตรฐานเพื่อการพัฒนาอย่างต่อเนื่องประกอบด้วย

1. การกำจัด (Eliminate)
2. การรวมกัน (Combine)
3. การจัดใหม่ (Rearrange)
4. การทำให้ง่าย (Simplify)

รูปแบบของกระบวนการหน่วยงานขององค์กรธุรกิจ ประกอบด้วย ส่วนของงานโรงงานและส่วนของงานสนับสนุน ที่สามารถก่อให้เกิดความสูญเปล่าได้ สามารถอธิบายได้ดังนี้ในส่วนของโรงงานคือส่วนที่เกี่ยวโดยตรงกับการผลิตสินค้า ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของกระบวนการหรือเวลาการผลิตการลดความสูญเปล่าในการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นเพราะความสูญเปล่าดังกล่าว ทำให้ต้นทุนของสินค้าที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ถ้าสามารถลดความสูญเปล่าลงได้ผลลัพธ์ที่ได้จากต้นทุนลดลง คือมีความสามารถในการแข่งขันกับคู่แข่งสูงขึ้น โดยแนวทางการลด MUDA ลงสามารถทำได้โดยใช้หลักการ ECRS ดังนี้

1. การกำจัด (Eliminate) หมายถึง การพิจารณาการทำงานปัจจุบันและทำการกำจัดความสูญเปล่าทั้ง 8 ประการ ที่พบในการผลิตออกไป คือการผลิตมากเกินไป การรอคอย การเคลื่อนที่/เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์/กระบวนการที่มากเกินความจำเป็น การเก็บสินค้าที่มากเกินไป การขนส่งที่มากเกินไป การใช้คนไม่คุ้มค่า และของเสีย

2. การรวมกัน (Combine) สามารถลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลงได้ โดยการพิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ เช่น จากเดิมเคยทำ 5 ขั้นตอนก็รวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกันทำให้ขั้นตอนที่ต้องทำลดลงจากเดิม การผลิตก็จะสามารถทำได้เร็วขึ้นและลดการเคลื่อนที่ระหว่างขั้นตอนลงอีกด้วย เพราะถ้ามีการรวมขั้นตอนกัน การเคลื่อนที่ระหว่างขั้นตอนก็จะลดลง

3. การจัดใหม่ (Rearrange) คือ การจัดขั้นตอนการผลิตใหม่เพื่อให้ลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นหรือ การรอคอย เช่นในกระบวนการผลิต หากทำการสลับขั้นตอนที่ 2 กับ 3 โดยทำขั้นตอนที่ 3 ก่อน 2 จะทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ลดลง เป็นต้น

4. การทำให้ง่าย (Simplify) หมายถึง การปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยอาจจะออกแบบจิ๊ก (Jig) หรือ Fixture เข้าช่วยในการทำงานเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งสามารถลดของเสียลงได้ จึงเป็นการลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นและลดการทำงานที่ไม่จำเป็น

สำหรับส่วนของงานสนับสนุนหมายถึง หน่วยงานที่ไม่ได้มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการผลิต แต่ช่วยสนับสนุนการผลิต ตัวอย่างของส่วนงานสนับสนุนเช่นงานด้านระบบบำบัด

น้ำเสียของโรงงาน ซึ่งมีหน้าที่สนับสนุนการผลิต ซึ่งสามารถประยุต์ใช้หลักการ ECRS นี้ในการลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นลงได้เช่น

1. การกำจัด (Eliminate) หมายถึง การกำจัดส่วนงานที่ไม่จำเป็นออกไป หากลองพิจารณาระบบบำบัดน้ำเสียจำนวน 2 ระบบ ที่มีลักษณะวิธีการทำงานเหมือนกันอาจะพิจารณาได้ว่าควรกำจัดระบบบำบัดใดออกเพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนในการดำเนินงานของบริษัทฯ

2. การรวมกัน (Combine) คือ การรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกัน หากลองพิจารณาระบบบำบัดน้ำเสียจำนวน 2 ระบบ ที่มีลักษณะวิธีการทำงานเหมือนกันอาจจะพิจารณาได้ว่าหากสามารถรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกันก็จะสามารถลดขั้นตอนการทำงานลงได้

3. การจัดใหม่ (Rearrange) ตัวอย่างเช่น การจัดการช่วงเวลาในการบำบัดน้ำเสียใหม่เพื่อให้สามารถใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

4. การทำให้ง่าย (Simplify) หมายถึง การจัดรูปแบบของเอกสารวิธีการทำงานให้เข้าใจง่ายและสะดวก เหมาะสมกับการใช้งาน จากแนวคิดดังกล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนี้ ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้แนวคิดหลัก 4 ข้อของการปรับปรุง ECRS กับกระบวนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา

2.7 ทฤษฎีเครื่องมือควบคุมคุณภาพ

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (Quality Control Tools) เป็นเครื่องมือทางสถิติที่สำคัญ สามารถนำไปใช้ควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตได้ทั้งกรณีคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เป็นค่าวัดเชิงปริมาณและเชิงคุณลักษณะโดยคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เชิงปริมาณได้จากการชั่ง ตวง วัด เช่น น้ำหนัก ความยาว ปริมาณการบรรจุ เป็นต้น ส่วนคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เชิงคุณลักษณะได้จากการแบ่งคุณลักษณะของข้อมูลเป็นกลุ่ม ๆ เช่น มีหรือไม่มีรอยตำหนิ ดีหรือเสีย เป็นต้น โดยเครื่องมือควบคุมคุณภาพแบ่งออกเป็น 7 ชนิด ได้แก่ ใบตรวจสอบ กราฟ ฮิสโตแกรม แผนภูมิพาเรโต แผนภาพก้างปลา แผนภาพการกระจาย และแผนภูมิควบคุม เครื่องมือควบคุมคุณภาพแต่ละชนิดหากมีการนำไปใช้ตามความเหมาะสมจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและมีคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพของกระบวนการผลิต ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา คัดเลือกหรือจัดลำดับความสำคัญของปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริงเพื่อให้สามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งติดตามผลอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพที่สำคัญมี 7 ชนิด โดยเครื่องมือแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.7.1 ใบตรวจสอบ (Check sheet) เป็นแบบฟอร์มที่อยู่ในรูปตารางหรือรูปภาพ ใช้สำหรับกรอกรายละเอียดของข้อมูล เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุและติดตามผลการดำเนินงาน ซึ่งลักษณะของใบตรวจสอบต้องคำนึงถึงคือการกำหนดรายละเอียดที่ชัดเจน เช่น รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ผู้ตรวจสอบ วันและเวลาที่ตรวจ เป็นต้น มีการจัดรูปแบบของแบบฟอร์มให้สะดวกต่อการบันทึกข้อมูล ง่ายต่อการจำแนกข้อมูล และวิเคราะห์ผล และ ที่สำคัญควรกำหนดและใช้ใบตรวจสอบให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบด้วย ทั้งนี้ใบตรวจสอบในอุตสาหกรรมการผลิตมีหลายแบบในที่นี้จะกล่าวถึง 6 แบบ ซึ่งในแต่ละแบบแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งาน มีดังนี้

2.7.1.1 ใบตรวจสอบการผลิต เป็นใบตรวจสอบที่ใช้ในการบันทึกคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งลักษณะของข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ทั้งนี้ในการใช้ใบตรวจสอบการผลิต เริ่มต้นผู้ตรวจสอบจะทำการวัดผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ก่อน หลังจากนั้นจะทำการบันทึกค่าของผลิตภัณฑ์ที่วัดได้ ซึ่งค่าที่วัดได้ในแต่ละชิ้นอาจจะมีค่าไม่เท่ากัน จึงทำให้เราทราบว่าผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานหรือไม่

2.7.1.2 ใบตรวจสอบข้อบกพร่อง เป็นใบตรวจสอบที่ใช้ในการบันทึกคล้ายกับใบตรวจสอบการผลิต แต่จะแยกตามลักษณะของข้อบกพร่องและลักษณะของข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ผู้ตรวจสอบจะบันทึกโดยทำเครื่องหมายรอยขีด ตามจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพรองที่เก็บรวบรวมได้ ใบตรวจสอบชนิดนี้จะทำให้ทราบถึงจำนวนของเสียและจำนวนของดี หรือจำนวนทั้งหมดที่ตรวจพบข้อบกพร่อง

2.7.1.3 ใบตรวจสอบตำแหน่งข้อบกพร่อง เป็นใบตรวจสอบที่ใช้บันทึกคล้ายกับใบตรวจสอบการผลิต และใบตรวจสอบข้อบกพร่อง แต่ใบตรวจสอบชนิดนี้จะบอกตำแหน่งบริเวณที่มีข้อบกพร่อง โดยแสดงรูปภาพบริเวณของผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่อง ผู้ตรวจสอบจะบันทึกโดยทำเครื่องหมายตามตำแหน่งที่พบข้อบกพร่อง หากพบข้อบกพร่องมากกว่า 1 ประเภท จะใช้เครื่องหมายอื่นเพื่อแสดงความแตกต่างของข้อบกพร่อง ใบตรวจสอบชนิดนี้จะทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่เกิดข้อบกพร่องและหาสาเหตุของปัญหาได้

2.7.1.4 ใบตรวจสอบสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง เป็นใบตรวจสอบที่ใช้บันทึกคล้ายกับใบตรวจสอบการผลิต ใบตรวจสอบข้อบกพร่อง และใบตรวจสอบตำแหน่งข้อบกพร่อง แต่จะบันทึกความสัมพันธ์ของคน เครื่องจักร และข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ผู้ตรวจสอบจะบันทึกโดยทำเครื่องหมายแทนลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ถ้าหากมีลักษณะข้อบกพร่องมากกว่า 1 ประเภท จะเปลี่ยนไปใช้เครื่องหมายอื่นแทนเพื่อแสดงความแตกต่าง ใบตรวจสอบชนิดนี้จะทำให้ทราบถึงต้นเหตุที่ทาให้เกิดข้อบกพร่องได้

2.7.1.5 ใบตรวจสอบสุดท้าย เป็นใบตรวจสอบที่ใช้บันทึกคล้ายกับใบตรวจสอบการผลิต ใบตรวจสอบข้อบกพร่อง ใบตรวจสอบตำแหน่งข้อบกพร่อง และใบตรวจสอบสาเหตุที่ทาให้เกิด

ข้อบกพร่อง แต่เป็นใบตรวจสอบที่ใช้ในการบันทึกหลายรายการ อาจเป็นการซ่อมบำรุงเครื่องจักร หรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป รูปแบบของใบตรวจสอบต้องสอดคล้องกับขั้นตอนการตรวจสอบตามสภาพความเป็นจริง ใบตรวจสอบชนิดนี้ใช้เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดในการตรวจสอบและยืนยันการตรวจสอบ

2.7.1.6 ใบตรวจสอบอื่น ๆ เป็นใบตรวจสอบนอกเหนือจากที่กล่าวมา ในอุตสาหกรรมอาจพบใบตรวจสอบในลักษณะอื่น ๆ ได้อีก ซึ่งใบตรวจสอบอาจมีลักษณะเฉพาะ โดยอาจมีความจำเป็นที่จะต้องดัดแปลงใบตรวจสอบให้เหมาะสมกับการใช้งานของของแต่ละอุตสาหกรรม

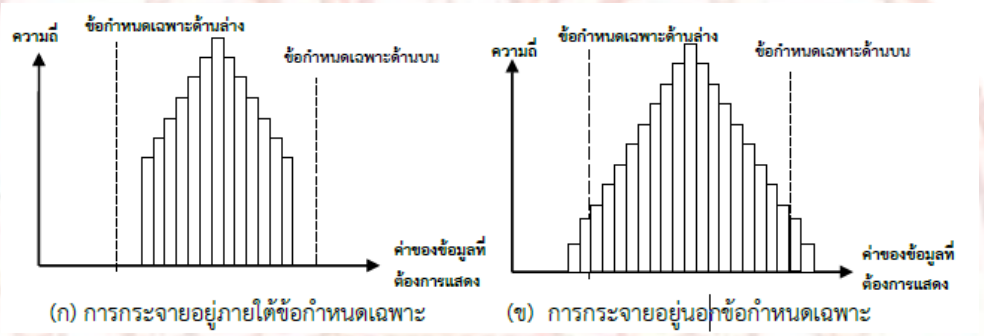
2.7.2 กราฟ (Graph) เป็นแผนภาพที่อธิบายความแตกต่างของข้อมูลจากการเก็บบันทึก กราฟใช้สำหรับนำเสนอข้อมูลที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจโดยอาศัยการพิจารณาด้วยตาเปล่าได้ สามารถให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีกว่าการนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีอื่น กราฟที่สำคัญได้แก่ กราฟเส้น กราฟแท่ง และกราฟวงกลม โดยรายละเอียดของกราฟแต่ละชนิดมีดังนี้

2.7.2.1 กราฟเส้น เป็นเส้นกราฟที่ใช้แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของข้อมูลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ลักษณะของกราฟเส้นจะมีแกนตั้งเป็นค่าข้อมูล และแกนนอนเป็นช่วงเวลา กราฟเส้นใช้สำหรับการนำเสนอข้อมูลในกรณีที่ต้องการทราบแนวโน้มของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา หรือใช้สำหรับการดูการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป เช่น ราคาขายปลีกน้ำมันดีเซลระหว่างปี พ.ศ. 2555-2559 เป็นต้น

2.7.2.2 กราฟแท่ง เป็นกราฟรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้างเท่ากัน โดยจะใช้ขนาดความยาวหรือความสูงของแท่งกราฟเปรียบเทียบจำนวนข้อมูล การนำเสนอข้อมูลคล้ายกับกราฟเส้น โดยที่กราฟแท่งสามารถนำเสนอได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน กราฟแท่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ กราฟแท่งเชิงเดี่ยว กราฟแท่งเชิงซ้อน และกราฟแท่งเชิงประกอบ โดยกราฟแท่งเชิงเดี่ยวใช้แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลชุดเดียว และแสดงลักษณะของข้อมูลที่สนใจเพียงลักษณะเดียว เช่น ปริมาณการจำหน่ายน้ำมันของบริษัทแห่งหนึ่งในแต่ละวันในหนึ่งสัปดาห์ เป็นต้น ส่วนกราฟแท่งเชิงซ้อนใช้แสดงการเปรียบเทียบของข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป เช่น จำนวนอุบัติเหตุทางอากาศกับจำนวนอุบัติเหตุทางเรือระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคมในปี พ.ศ. 2558 เป็นต้น และกราฟแท่งเชิงประกอบใช้เปรียบเทียบข้อมูลในช่วงเวลาต่างกัน โดยในแต่ละแท่งจะแสดงรายละเอียดหรือส่วนย่อยของข้อมูลที่เรียงต่อกันในแนวตั้ง เช่น สินค้าส่งออก 3 ประเภทในปี พ.ศ. 2555 -2560 เป็นต้น

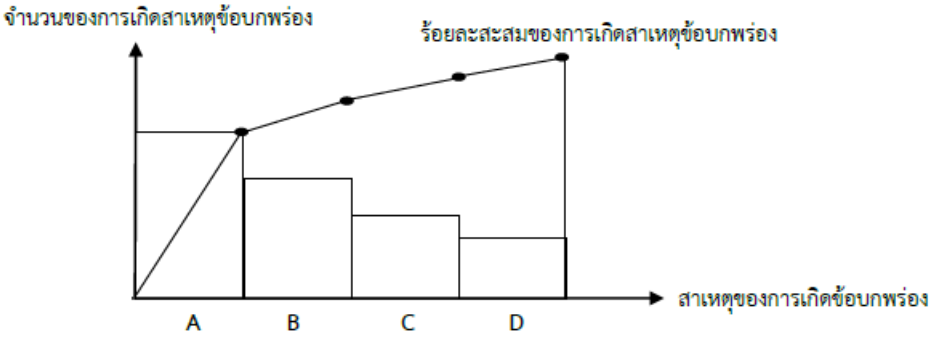
2.7.2.3 กราฟวงกลม มีลักษณะเป็นวงกลมที่มีการแบ่งส่วนของข้อมูลจากจุดศูนย์กลางของวงกลมออกเป็นกลุ่ม ๆ ใช้สำหรับเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลชนิดเดียวกันในรูปแบบร้อยละ ซึ่งการนำเสนอข้อมูลคล้ายกับกราฟเส้นและกราฟแท่ง เช่น สัดส่วนการใช้น้ามันเชื้อเพลิง 3 ประเภทในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2559 ยอดขายของห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่งที่มี 3 สาขาในปี พ.ศ. 2558 เป็นต้น

2.7.3 ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นแผนภูมิใช้ในการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของข้อมูลกับข้อกำหนดเฉพาะ เพื่อตรวจสอบความผิดปกติหรือติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต ฮิสโตแกรมมีลักษณะเป็นกราฟแท่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเท่ากัน และในแต่ละแท่งจะเรียงชิดติดกัน โดยแกนตั้งเป็นความถี่ และแกนนอนเป็นค่าของข้อมูลที่ต้องการแสดง เมื่อพิจารณาระหว่างฮิสโตแกรมกับข้อกาหนดเฉพาะ หากพบว่า ฮิสโตแกรมมีการกระจายของข้อมูลอยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะ แสดงว่ากระบวนการผลิตดำเนินไปด้วยดี ไม่ต้องมีการแก้ไขกระบวนการผลิตแต่ถ้าการกระจายอยู่นอกภายใต้ข้อกาหนดเฉพาะจะต้องปรับให้ค่าความแปรปรวนของข้อมูลการผลิตต่ำลง เพื่อให้การกระจายของข้อมูลนั้นแคบลงอยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะดังภาพที่ 2-10



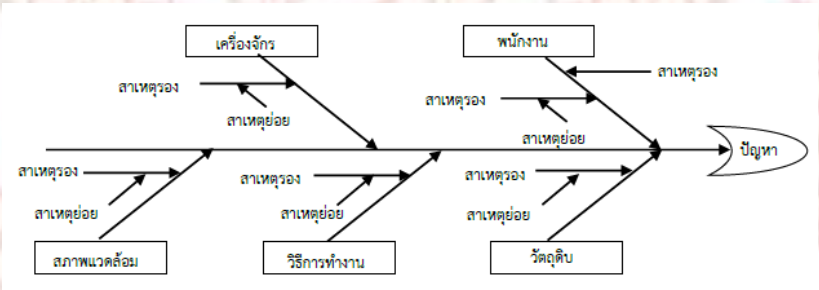
ภาพที่ 2-10 ลักษณะการกระจายของฮีสโตแกรม

2.7.4 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิใช้แสดงสาเหตุของปัญหาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่อง โดยแสดงสาเหตุหลักและสาเหตุรองตามลำดับ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจว่าควรปรับปรุงสาเหตุใดก่อน และใช้ตรวจสอบผลที่เกิดขึ้นหลังจากการแก้ไขปรับปรุง แผนภูมิพาเรโตมีลักษณะคล้ายกับฮิสโตแกรมคือ เป็นกราฟแท่งรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเท่ากัน และในแต่ละแท่งจะเรียงชิดติดกัน แต่แผนภูมิพาเรโตจะประกอบด้วยแกนตั้ง 2 แกนและแกนนอน 1 แกน คือ แกนตั้งด้านซ้ายเป็นจำนวนของการเกิดสาเหตุข้อบกพร่อง แกนตั้งด้านขวาเป็นร้อยละสะสมของการเกิดสาเหตุข้อบกพร่อง ส่วนแกนนอนเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย และมีเส้นแสดงร้อยละสะสมดังภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 ลักษณะของแผนภูมิพาเรโต

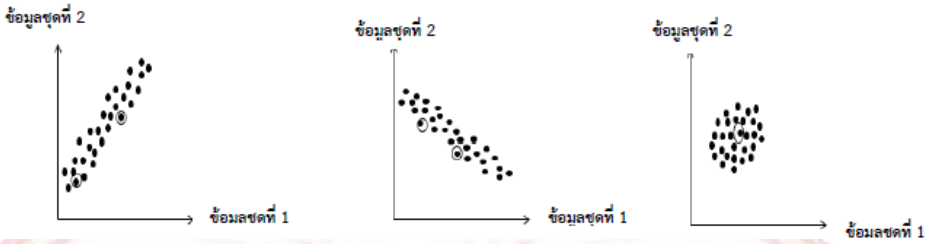
2.7.5 แผนภาพก้างปลา (Fish bone diagram) เป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาที่ต้องการแก้ไขกับสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา ซึ่งผู้วิเคราะห์สามารถมองภาพรวมของปัญหาและสาเหตุทั้งหมดได้ง่ายขึ้น แผนภาพก้างปลามีลักษณะคล้ายกับก้างปลา โดยส่วนหัวของก้างปลาจะแสดงปัญหาที่เกิดขึ้น ส่วนก้างปลาหลักจะแสดงสาเหตุหลัก และก้างปลาย่อยแสดงสาเหตุย่อย ซึ่งการหาสาเหตุหลักของปัญหาจะใช้หลักการของ 4M 1E ได้แก่ พนักงาน (Man), เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (Machine), วัตถุดิบ (Material), วิธีการทำงาน (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment) ดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 ตัวอย่างแผนภาพก้างปลา

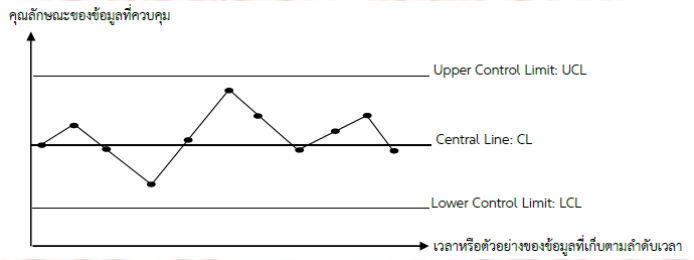
2.7.6 แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) เป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุด ที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณโดยแกนตั้งเป็นค่าของข้อมูลชุดที่ 1 และแกนนอนเป็นค่าของข้อมูลชุดที่ 2 โดยลักษณะความสัมพันธ์และทิศทางของความสัมพันธ์จะพิจารณาได้จากแนวของจุดที่พล็อตลงในแผนภาพ ถ้าจุดมีลักษณะเป็นแนวโน้มขึ้นตลอดหรือลงตลอดด้วยอัตราคงที่ แสดงว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุด น่าจะมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ถ้ามีลักษณะชันขึ้นแสดงว่า มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และค่าความชันจะเป็นบวกแต่ถ้ามีลักษณะชันลงแสดงว่า มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามและ

ค่าความชันจะเป็นลบ ถ้าจุดมีลักษณะกระจัดกระจายไม่เป็นรูปแบบ แสดงว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุดไม่มีความสัมพันธ์กันดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 ตัวอย่างแผนภาพกระจาย

2.7.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิต ติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตได้อย่างรวดเร็ว และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้กลับเข้าสู่สภาพปกติ โดยลักษณะของแผนภูมิจะเป็นกราฟ โดยมีแกนตั้งเป็นคุณลักษณะของข้อมูลที่ควบคุม และแกนนอนเป็นเวลาหรือตัวอย่างของข้อมูลที่เก็บมาตามลำดับเวลา แผนภูมิควบคุมจะประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นควบคุมบน (Upper Control Limit: UCL) เส้นควบคุมล่าง (Lower Control Limit: LCL) และเส้นกลาง (Central Line: CL) โดย CL จะอยู่ที่ค่าเฉลี่ย และมีระยะห่างของ CL ถึง UCL และ LCL เท่ากับ 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิจัยและทำให้การทำวิจัยในครั้งนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งจะกล่าวถึงโดยสรุปดังนี้

วศิน (2563) งานวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาความเป็นไปได้ ในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในระบบสาธารณูปโภคลงไม่น้อยกว่า 10 % ซึ่งจะทาการศึกษาการเปลี่ยนไปใช้เครื่องผลิตน้ำ

หล่อเย็น (Chiller) รุ่นใหม่ 3 ชนิดได้แก่ Chiller Screw type , Chiller Centrifugal type และ Chiller Magnetic type แต่เนื่องจากเครื่องผลิตน้ำหล่อเย็นทั้ง 3 ชนิด ทางเลือกมีการลงทุนและมีข้อจากัดที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงทาการประเมินโครงการทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและข้อจากัดอื่นที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้พิจารณาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการลงทุนจากผลการวิจัยเครื่องผลิตน้าหล่อเย็น (Chiller) ทั้ง 3 ชนิดโดยประเมินโครงการที่ระยะเวลา 5 ปี พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จะมีมูลค่ามากกว่าศูนย์ซึ่งหมายถึงโครงการนี้มีผลตอบแทนมากกว่าอัตราผลตอบแทนน้อยที่สุดที่น่าสนใจ (MARR) ที่กาหนดไว้ที่ 5% และโครงการนี้มีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP) เร็วกว่าระยะเวลาที่โรงงานกรณีศึกษากาหนดไว้ 5 ปี ทำให้โครงการนี้มีระยะเวลาของความเสี่ยงต่อการขาดทุนสั้นลง โดยอ้างผลจากตารางที่ 4-25 สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องผลิตน้ำหล่อเย็น(Chiller)ทั้ง 3 ชนิดผลการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมโดยอ้างผลจากตารางที่ 4-26 และตารางที่ 4-27 พบว่า เมื่อปริมาณการผลิตลดลงร้อยละ 15 พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน(Net Present Value: NPV) เท่ากับ 734,179 บาท มากว่าศูนย์ซึ่งหมายความว่า โครงการนี้ได้กำไรเพราะมีรายรับมากกว่ารายจ่าย และพบว่าอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) ที่ได้คือ 16.51 % ซึ่งสูงกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด (Minimum Attractive Rate of Return: MARR) ที่ 5% ที่หน่วยธุรกิจยอมรับได้ ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period: PBP) เท่ากับ 3 ปี 3 เดือน 8 วัน จากนโยบายการลงทุนไม่เกิน 5 ปี แสดงว่าโครงการคุ้มค่าในการลงทุน

นนทกร (2554) การลดต้นทุนของอคิเลตโมโนเมอร์ ที่ใช้ผลิตอคิลิคเรซิ่น โดยการเปลี่ยนบรรจุภัณฑ์ ซึ่งพบว่าต้นทุนของโมโนเมอร์แบบขนส่งโดย ISO tank จะมีต้นทุนที่ถูกกว่าการขนส่งแบบบรรจุในถัง 200 ลิตร แต่ต้องมีการลงทุนสร้างถังเก็บโมโนเมอร์ขนาด 80 ลูกบาศก์เมตรจำนวน 3 ถัง เพื่อเก็บโมโนเมอร์จำนวน 3 ชนิด ที่งบประมาณ 25 ล้านบาท จากการวิเคราะห์พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการที่ระยะเวลา 5 ปีมีมูลค่าเท่ากับ 3,613,874 บาท กาหนด MARR = 8% ซึ่งหมายถึงโครงการนี้น่าลงทุน โครงการนี้มีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 13.14% และโครงการนี้มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3 ปี 8 เดือน จากการวิเคราะห์ความไว (Sensibility analysis) ของการเปลี่ยนแปลงการใช้โมโนเมอร์ พบว่าถ้าปริมาณการใช้โมโนเมอร์ลดลงมากกว่าร้อยละ 12.28% จะมีผลกระทบต่อการตัดสินใจ โดยจะทำให้โครงการมีผลตอบแทนต่ำกว่าที่คาดหวังและจากการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนการก่อสร้างถังเก็บโมโนเมอร์ ถ้าต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.80 จะทำให้โครงการไม่น่าลงทุน

บัณฑิต (2557) การศึกษาหาความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อการตัดสินใจลงทุนเครื่อง CNC 6 Axis Tools Grinding Machine เพื่อผลิตเครื่องมือตัด และประกอบไปด้วยการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านการตลาด ทางด้านวิศวกรรม ทางด้านการบริหารและทางด้าน

การเงิน โดยมีมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value) เท่ากับ 55,950,176 บาท ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1 ปี 1 เดือน อัตราผลตอบแทนของโครงการเท่ากับ 92.74% สรุปได้ว่าโครงการการศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนเครื่อง CNC 6 Axis Tools Grinding Machine มีความเหมาะสมในการลงทุนสูงเมื่อเทียบกับอัตราดอกเบี้ยในปัจจุบันและเนื่องจากอัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดและระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าระยะเวลาโครงการกำหนด และจากผลการวิเคราะห์ความไวในเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่ามูลค่าผลผลิตและต้นทุนวัตถุมีความไวเชิงเศรษฐศาสตร์

ประพันธ์ (2556) ผู้ทำการวิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลในการสั่งซื้อของลูกค้าและข้อมูลการจ้างผลิตเพื่อทำการศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อการตัดสินใจลงทุนผลิตโดยใช้ทฤษฎีทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์ความไวเชิงเศรษฐศาสตร์เข้ามาช่วยเปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนการลงทุนโดยผู้ทำการวิจัยได้ตั้งเป้าหมายในการลงทุนความต้องการอัตราผลตอบแทนการลงทุนต่ำสุด (Minimum Attractive Rate : MARR) ที่ 13.1% โดยเปรียบเทียบกับอัตราดอกเบี้ยเงินสินเชื่อเพื่อการประกอบธุรกิจ MRR+5 (MRR = 8.1% ; MARR =13.1%) มีระยะดำเนินการของโครงการ 5 ปี ผลการศึกษา วิจัยพบว่า อัตราผลตอบแทนภายในมีค่าเท่ากับ 19.16% ระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 7 เดือน หรือประมาณ 4 ปี จึงสรุปได้ว่าโครงการนี้น่าสนใจลงทุน เนื่องจากค่าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดและระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าระยะเวลาโครงการกำหนด และจากผลการวิเคราะห์ความไวในเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่ามูลค่ายอดขายและต้นทุนวัตถุดิบมีความไวเชิงเศรษฐศาสตร์ กล่าวคือเมื่อมูลค่ายอดขายลดลง 3.30% และต้นทุนวัตถุดิบสูงขึ้น 12.89% ทำให้มีผลต่ออัตราผลการตอบแทนการลงทุนที่ลดลงซึ่งจะส่งผลทำให้โครงการนี้ไม่น่าลงทุน

ณัฐกฤตา (2558) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีการปรับลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศ เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่เหมาะสม ซึ่งทำการศึกษาระหว่างระบบทำความเย็น และระบบฉีดพ่นละอองโดยเปรียบเทียบถึงผลกำลังผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการใช้เทคโนโลยี และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุนที่มีต่อโรงไฟฟ้า โดยใช้วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และคำนวณระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (DPB) ทำการวิเคราะห์จากข้อมูลสภาพอากาศที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในช่วงฤดูร้อนเป็นเวลาย้อนหลัง 2 ปี พบว่าเทคโนโลยีการปรับลดอุณหภูมิอากาศโดยระบบทำความเย็นแบบใช้ไฟฟ้าสามารถลดอุณหภูมิได้เฉลี่ย 14.2 องศาเซลเซียส และเพิ่มกำลังการผลิตสุทธิได้ประมาณ 56.2 MW คิดเป็น 7.4% ของกำลังการผลิตก่อนใช้เทคโนโลยี และเทคโนโลยีการปรับลดอุณหภูมิอากาศโดยระบบฉีดพ่นละอองน้ำสามารถลดอุณหภูมิได้เฉลี่ย 7.3

องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ประมาณ 35.7 MW คิดเป็น 4.7% ของกำลังการผลิตก่อนใช้เทคโนโลยี ในการวิเคราะห์ทางความคุ้มค่าทางการเงินทั้งสองเทคโนโลยีมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการมากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในระยะยาว ซึ่งพบว่าระบบทำความเย็นแบบใช้ไฟฟ้ามีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 129.9 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนภายใน 10.62% และระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด 13.3 ปี ขณะที่ระบบฉีดพ่นละอองน้ำมีปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 125.2 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนภายใน 69.36% และระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด 1.65 ปี เมื่อทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนส่วนเพิ่มระหว่างระบบทำความเย็นแบบใช้ไฟฟ้าและระบบฉีดพ่นละอองน้ำพบว่าโครงการส่วนเพิ่มมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 4.7 ล้านบาทและอัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม 7.1% ดังนั้นงานวิจัยจึงพิจารณาเลือกระบบทำความเย็นแบบใช้ไฟฟ้าให้มีความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมวังน้อย แต่ถ้าอัตราค่าปรับหรืออัตราการเสื่อมสมรรถณะของโรงไฟฟ้าลดลงจากสมมติฐานจะพิจารณาเลือกลงทุนในระบบฉีดพ่นละอองน้ำแทน

มาลินี (2553) ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอิสระแยกเฉพาะอาคาร เปรียบเทียบกับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียรวมทั้งโครงการ โดยการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกรูปแบบระบบบำบัดน้ำเสีย ระหว่างระบบบำบัดน้ำเสียอิสระแยกเฉพาะอาคารกับระบบน้ำเสียแบบรวมทั้งโครงการ ทั้งปัจจัยที่วัดค่าได้และปัจจัยด้านความคิดเห็น โดยใช้โครงการบ้านเอื้ออาทรประเภทอาคารชุดพักอาศัย ของการเคหะแห่งชาติเป็นกรณีศึกษา และหาค่าน้ำหนักของปัจจัยเหล่านี้ด้วยวิธีกระบวนการวิเคราะห์ เชิงลำดับขั้น (AHP) ในมุมมองของพนักงานการเคหะแห่งชาติกลุ่มงานออกแบบ ควบคุมงาน ก่อสร้างและฝ่ายบริหารชุมชน ผลการวิจัยทำให้ทราบถึงปัจจัยที่สำคัญในการตัดสินใจเลือก รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียในมุมมองของพนักงานทั้ง 3 กลุ่ม ให้ความสำคัญมากที่สุดคือ ค่าใช้จ่าย ระยะยาวในการดูแลและบำรุงรักษาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับค่าไฟฟ้าสำหรับการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย การวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางการนำค่าน้ำหนักจากผลวิจัยไปใช้ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบ ระบบบำบัดน้ำเสียโดยรวบรวมเป็นค่ามาตรฐานสามารถนำไปใช้คู่กับการคำนวณเพื่อพิจารณา และ เพื่อพัฒนานำปัจจัยไปใช้เป็นแนวทางการตัดสินใจเลือกรูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับโครงการ ของการเคหะแห่งชาติที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

เทพกัลยา (2553) โครงงานศึกษาทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมนี้เป็นการศึกษาลักษณะสมบัติน้ำเสียอุตสาหกรรม 5 ประเภท พร้อมทั้งทดสอบรูปแบบการบำบัดที่เหมาะสม โดยมุ่งเน้นที่กระบวนการบำบัดทางเคมี การทดสอบอาศัยการทดสอบจาร์เพื่อหาภาวะที่ดีที่สุดในการบำบัด ผลการศึกษาพบว่าน้ำเสียจากโรงงานผลิต แบตเตอรี่รถยนต์มีตะกั่วเป็นสารมลพิษเป้าหมายซึ่งมีค่าเท่ากับ 63.2 มก./ล. แต่เมื่อผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนและ การตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์แล้วพบว่าตะกั่วในน้ำทิ้งเหลือเพียง 0.16 มก./ล. โดยจะเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเท่ากับ 199.7

บาท ต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย น้ำเสียจากโรงงานประกอบรถยนต์มีน้ำมันและไขมันเป็นสารมลพิษเป้าหมายที่ระดับ 99.8 มก./ล. แต่เมื่อผ่านการ บำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ร่วม พบว่าสามารถลดไขมันและน้ำมันให้เหลือต่ำกว่า 1.0 มก./ล. ได้โดย เสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเท่ากับ 138 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย น้ำเสียจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนจักรยานยนต์มีน้ำมันและไขมันเป็นสาร มลพิษเป้าหมายซึ่งมีความเข้มข้นสูงถึง 1550 มก./ล. แต่เมื่อทำการบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับการเติมถ่านกัมมันต์ พบว่าสามารถลดไขมันและน้ำมันให้เหลือเพียง 2.6 มก./ล. ได้ อย่างไรก็ดีพบว่าน้ำทิ้งยังคงมีสารมลพิษอินทรีย์ละลายในรูปของบีโอดีและ ซีโอดีเกินกว่ามาตรฐาน จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดทางชีวภาพต่อไป ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของการบำบัดทางเคมีเท่ากับ 342.4 บาทต่อลูกบาศก์ เมตรของน้ำเสีย น้ำเสียจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีฟลูออไรด์เป็นสารมลพิษเป้าหมายซึ่งสูงถึง 417 มก./ล. แต่เมื่อผ่านการบำบัดด้วย การตกตะกอนผลึกทางเคมีด้วยสารช่วยตกตะกอนผลึกที่จำหน่ายเชิงพานิชย์ น้ำทิ้งมีฟลูออไรด์เหลือเพียง 4.6 มก./ล. โดยจะเสียค่าใช้จ่ายในการ ดำเนินการเท่ากับ 162.2 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย น้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอมีไขมันและน้ำมันเป็นสารมลพิษหลักที่ความเข้มข้นเท่ากับ 67.8 มก./ล. ซึ่งเมื่อผ่านการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับการเติมถ่านกัมมันต์แล้วสามารถลดไขมันและน้ำมันให้ต่ำกว่า 1.0 มก./ล. ได้โดยเสีย ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเท่ากับ 111.7 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย สรุปได้ว่าน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทั้ง 5 ประเภทสามารถบำบัดให้มีคุณ ภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งของทางราชการได้

เกสร (2559) งานวิจัยนี้ศึกษาความเหมาะสมในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบกลุ่มอาคารในพื้นที่เทศบาลนครแหลมฉบังสำหรับใช้เป็นแนวทางในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบกลุ่มอาคาร และแนวทางในการป้องกันปัญหาคุณภาพน้ำในอนาคต ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลพื้นที่ประชากร คุณภาพน้ำย้อนหลัง 10 ปี และปัญหาการจัดการคุณภาพน้ำในพื้นที่ศึกษา เพื่อนำมาพยากรณ์คำนวณหาปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในอีก 10 ปีข้างหน้า โดยใช้สูตรคำนวณการคาดการณ์ประชากรแบบเลขคณิต จากการศึกษาพบว่าในปี พ.ศ. 2570 จะมีประชากรประมาณ 109,792 คน และเมื่อนำมาคำนวณอัตราการเกิดของปริมาณน้ำเสียชุมชนจะเท่ากับ 19,762.56 ลูกบาศก์เมตร หรือ 19,762,560 ลิตร ทั้งนี้จากการศึกษาเพิ่มเติมยังพบว่า การบริหารจัดการคุณภาพนำในพื้นที่ศึกษายังไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นอยู่นอกเขตท่อรวบรวมน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบัน จึงทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินมีสภาพที่เสื่อมโทรมสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในพารามิเตอร์บีโอดีในพื้นที่ศึกษามีค่าอยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5 เพื่อให้คุณภาพน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำประเภทที่ 3 จึงกำหนดแนวทางใน การจัดการคุณภาพน้ำ โดยทำการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบกลุ่มอาคารแบบไร้อากาศขนาด 100 ลูกบาศก์เมตร โดยมีแนวคิดรูปแบบการก่อสร้าง

จำนวน 3 แนวทาง ได้แก่ การใช้ก่อสร้างโดยใช้ถังบำบัดสำเร็จรูป การใช้ก่อสร้างโดยใช้วงซีเมนต์ และการก่อสร้างโดยใช้ ค.ส.ล. จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อทำการออกแบบและประมาณราคาแล้ว แนวทางทั้งสามมีราคาค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 737,000 82,000 และ 132,000 บาท ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสามแนวทางอยู่ที่ร้อยละ 90, 85 และ 95 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายระบบรวบรวมน้ำเสียทั่วทั้งพื้นที่ศึกษากับระบบบำบัดน้ำเสียแบบกลุ่มอาคารทั้งสามแนวทาง พบว่า มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการก่อสร้างระบบรวบรวมน้ำเสียทั้งหมดในเขตพื้นที่ศึกษา

รพีพัฒน์ (2554) ได้ทำการศึกษาน้ำเสียจากหอผึ่งเย็นที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิขาเข้าและขาออก 5 องศาเซลเซียส ถูกบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำด้วยเทคนิคเซลล์ไฟฟ้าเคมี ทั้งในระบบแบบกะและระบบแบบต่อเนื่อง ประสิทธิภาพในการบำบัดพิจารณาจากค่าดัชนีแลงเกลียร์ ผลการทดลองในระบบแบบกะที่ปริมาตร 1.8 ลิตร พบว่าการใช้ขั้วเหล็กพื้นที่ผิว 0.1 ตารางเมตร จำนวน 10 แผ่น ใช้กระแส 25 A/m2 ระยะเวลา ในการทำปฏิกิริยา 40 นาที สามารถลดค่าดัชนีแลงเกลียร์จาก 2.46 เหลือ -0.05 และปริมาณ เชื้อแบคทีเรีย Legionella ได้มากกว่าร้อยละ 80 เป็น แต่พบว่ามีตะกอนที่เกิดจากกระบวนการ ประมาณ 1.1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ขั้วสแตนเลสตีลและไทเทเนียม ที่มีปริมาณตะกอนที่น้อยกว่าแต่ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่า ผลการทดลองในระบบ แบบต่อเนื่อง โดยใช้ขั้วเหล็กพื้นที่ผิว 0.1 ตารางเมตร จำนวน 30 แผ่น ความหนาแน่นกระแส 25 A/m2 ในปฏิกรณ์ปริมาตร 3.25 ลิตร เวลา 40 นาที สามารถลดค่าดัชนีแลงเกลียร์จากมากกว่า 2 เหลือเข้าใกล้ 0 และเมื่อพิจารณาค่าดำเนินการพื้นฐานทั้งในระบบต่อแบบกะและแบบต่อเนื่อง เทียบกับวิธีทางเคมีพบว่าการบำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็กมีราคาแพงกว่าวิธีทางเคมี แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่า สำหรับใช้ขั้วสแตนเลสสตีล ค่าใช้ดำเนินการพื้นฐานต่ำกว่า วิธีเคมีและสามารถลดค่าดัชนีแลงเกลียร์ได้เข้าใกล้ 0 แต่ประสิทธิภาพ ในการลดไอออนที่ละลายน้ำ นั้นยังต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ขั้วเหล็กหรือสารเคมี

โอภาส (2546) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนโดยกระบวนการทางเคมีด้วยวิธีโคแอกกูเลชั่น โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ สารส้ม ปูนขาว และอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) เพื่อศึกษาหาปริมาณและพีเอชที่เหมาะสมผลการทดลองกับน้ำเสียก่อนผ่านการบำบัดที่โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา โดยใช้สารส้มน้ำปูนขาว และโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารสร้างตะกอน พบว่าสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด สามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีปริมาณที่เหมาะสมคือ 280, 1,100 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาพีเอชที่เหมาะสมแล้วพบว่าสารส้มน้ำและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ไม่จำเป็นต้องปรับพีเอชก่อนการบำบัด เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียก่อนการบำบัด ยกเว้นการใช้ปูนขาวจำเป็นต้องปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนการบำบัด เมื่อเปรียบเทียบสารสร้างตะกอนทั้งสามแล้วสามารถสรุปได้ว่า โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) มีความ

เหมาะสมที่จะใช้เป็นสารสร้างตะกอนมากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นได้ร้อยละ 99.54 บำบัดบีโอดี (BOD) ได้ร้อยละ 88.21 บำบัดซีโอดี (COD) ได้ร้อยละ 87.63 บำบัดสารแขวนลอย (SS) ได้ร้อยละ 91.60 บำบัดทีเคเอ็น (TKN) ได้ร้อยละ 24.92 บำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total-P) ได้ร้อยละ 94.14 ค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการบำบัดคือ 10.24 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ปัณภัทร (2549) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ ซึ่งน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ น้ำมันและไขมัน กลีเซอรอล และเมทานอล ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยนี้มีผลต่อปริมาณซีโอดีในน้ำเสีย จากผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่แยกชั้นน้ำมันออกแล้วพบว่า มีซีโอดีสูงถึง 58,620 มก./ล. รวมทั้งมีค่าน้ำมันและไขมัน เมทานอล และกลีเซอรอล เท่ากับ 2,300, 47,237 และ 12,750 มก./ล. ตามลำดับ การบำบัดทางเคมีโดยปรับเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสีย ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนท์และ สาร โคแอกกูแลนท์เอด โดยสารโคแอกกูแลนท์และสารโคแอกกูแลนท์เอดที่ใช้ ได้แก่ โพลิอลูมิเนียมคลอไรด์ โพลิเมอร์ประจุบวก และโพลิเมอร์ประจุลบ จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ การปรับพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 ร่วมกับการใช้โพลิเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล. หรือร่วมกับการใช้โพลิอลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลิเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. สามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้สูงถึงร้อยละ 98 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี กลีเซอรอลและเมทานอล เท่ากับร้อยละ 38-41, 29-41, 16-23 และ 25-33 ตามลำดับ การบำบัดทางชีวภาพของน้ำเสียจากการตกตะกอนทางเคมีที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดมาทดสอบ โดยแบ่งการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพออกเป็น การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน โดยการทดสอบการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนปรับเปลี่ยนความเข้มข้น ซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 2,000 และ 3,000 มก./ล. ส่วนการทดสอบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนปรับเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 3,500, 5,200 และ 8,000 มก./ล. จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน คือ ที่ซีโอดีเริ่มต้นสูงถึง 3,000 มก./ล. ใช้เวลาในการบำบัดซีโอดีได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งเป็นเวลาถึง 4 วัน โดยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ซีโอดีกรอง และเมทานอล ร้อยละ 93, 96 และ 99 ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนควรมีค่า ซีโอดีเริ่มต้นน้อยกว่า 5,200 มก./ล. ใช้เวลาในการบำบัดซีโอดีได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งเท่ากับ 13 วัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ซีโอดีกรอง และเมทานอลสูงถึงร้อยละ 98, 99 และ 98 ตามลำดับ

ตารางที่ 2-9 สรุปทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อผู้วิจัย	ทฤษฎี/หลักการที่เกี่ยวข้อง				
	การบำบัดน้ำเสีย	การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย	NPV	IRR	PBP
วศิน			●	●	●
นนทกร			●	●	●
บัณฑิต			●	●	●
ประพันธ์				●	●
ณัฐกฤตา			●	●	
มาลินี		●			
เทพกัลยา		●			
เกสร		●			
รพีพัฒน์	●				
โอภาส	●				
ปัณภัทร	●				

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทที่ 3 ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขโดยมีการดำเนินการตามหลักการจัดการทางวิศวกรรมอุตสาหการโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาสภาพการดำเนินงานปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา

3.2 การศึกษาหาต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา

3.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุและความสูญเปล่าที่เป็นปัญหาให้ค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียสูง

3.4 ศึกษาหาวิธีการลดต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา

3.5 การดำเนินการแก้ไขเพื่อลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา

3.6 แผนการดำเนินโครงการ

3.7 สรุปผลการดำเนินการ

3.1 การศึกษาสภาพการดำเนินงานปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา

3.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษา ตั้งอยู่ในเขตอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี โดยมีทุนจดทะเบียนประมาน 2,400,000,000 บาท ประกอบกิจการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น ตู้เย็น เครื่องซักผ้า เครื่องดูดฝุ่น ปั๊มน้ำ เครื่องทำน้ำอุ่น หม้อหุงข้าว เป็นต้น ปัจจุบันบริษัทดำเนินกิจการในลักษณะของการร่วมทุนระหว่างกลุ่มบริษัทผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศตุรกี และกลุ่มบริษัทผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าของประเทศญี่ปุ่น โดยมุ่งเน้นการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ ด้วยวิธีการผลิตที่มีมาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับจากทั่วโลกมีลูกค้ามากกว่า 70 ประเทศทั่วโลก และมียอดการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้ารวมทั้งสิ้นมากกว่า 3,000,000 เครื่องต่อปี มีเนื้อที่ในการดำเนินกิจการประมาน 140 ไร่ แบ่งเป็นโรงงานผลิตที่ 1 ทำการผลิตเครื่องซักผ้า เครื่องดูดฝุ่น ปั๊มน้ำ หม้อหุงข้าวเครื่องทำน้ำอุ่น และโรงงานผลิตที่ 2 ทำการผลิตตู้เย็น โดยโรงงานผลิตแต่ละโรงจะมีการก่อสร้างและใช้งานระบบบำบัดน้ำเสียแยกกันซึ่งทำให้มีต้นทุนในการดำเนินการในส่วนนี้ค่อนข้างสูง สืบเนื่องจากสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบันพบว่าบริษัทกรณีศึกษามีแนวโน้มยอดการสั่งซื้อลดลงเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับยอดการสั่งซื้อในอดีต (ตารางที่ 3-1) จะเห็นว่าในปี 2558 บริษัทมียอดการผลิตสินค้าสูงถึง 3,337,373 เครื่อง

ต่อปี ต่อมาในปี 2562 บริษัทมียอดการผลิตสินค้าอยู่ที่ 2,731,035 เครื่องต่อปี ซึ่งคิดเป็นจำนวนสินค้าที่ลดลงมากถึง 18% เมื่อเทียบกับปี 2558

ตารางที่ 3-1 แสดงยอดการผลิต 5 ปี ย้อนหลังของบริษัทกรณีศึกษา (เครื่อง/ปี)

ผลิตภัณฑ์	ยอดการผลิต (เครื่อง/ปี)				
	2558	2559	2560	2561	2562
เครื่องซักผ้า	441,512	387,810	405,200	516,469	452,360
เครื่องดูดฝุ่น	1,025,643	777,485	856,719	813,937	666,451
ปั๊มน้ำ	370,464	385,248	341,485	361,663	388,706
หม้อหุงข้าว	171,677	131,089	73,249	57,230	98,717
มอเตอร์	152,395	155,136	116,557	97,331	116,557
เครื่องทำน้ำอุ่น	67,470	62,140	69,057	67,165	56,566
ตู้เย็น	1,108,212	1,053,837	1,009,877	965,562	951,678
รวม (เครื่อง/ปี)	3,337,373	2,952,745	2,872,144	2,879,357	2,731,035

ทำให้บริษัทฯมีความจำเป็นต้องทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบการดำเนินการผลิตโดยมีการมุ่งเน้นไปที่การสั่งซื้อชิ้นส่วนกึ่งสำเร็จรูปจากภายนอกมากขึ้น (ตารางที่ 3-2) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดขั้นตอนการทำงานภายในบริษัทฯ รวมถึงเพื่อปรับลดจำนวนพนักงานให้มีความเหมาะสมกับปริมาณการผลิตที่ปรับตัวลดลง จึงส่งผลกระทบทำให้ขั้นตอน และกระบวนการทำงานเปลี่ยนไปจากเดิมและมีแนวโน้มการใช้น้ำในกระบวนการผลิตที่ลดลง จากสาเหตุดังกล่าวฝ่ายบริหารจึงพิจารณาให้ทุกหน่วยงานต้องดำเนินการลดต้นทุนในการดำเนินงานและปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานให้สอดคล้องกับสถานการณ์ขององค์กร

ตารางที่ 3-2 แสดงจำนวนชิ้นส่วนที่ถูกพิจารณาให้ยกเลิกการผลิตภายในบริษัท และกำหนดให้มีการสั่งซื้อเป็นชิ้นงานสำเร็จรูปจากโดยผลิตภายนอก (ชิ้น/ปี)

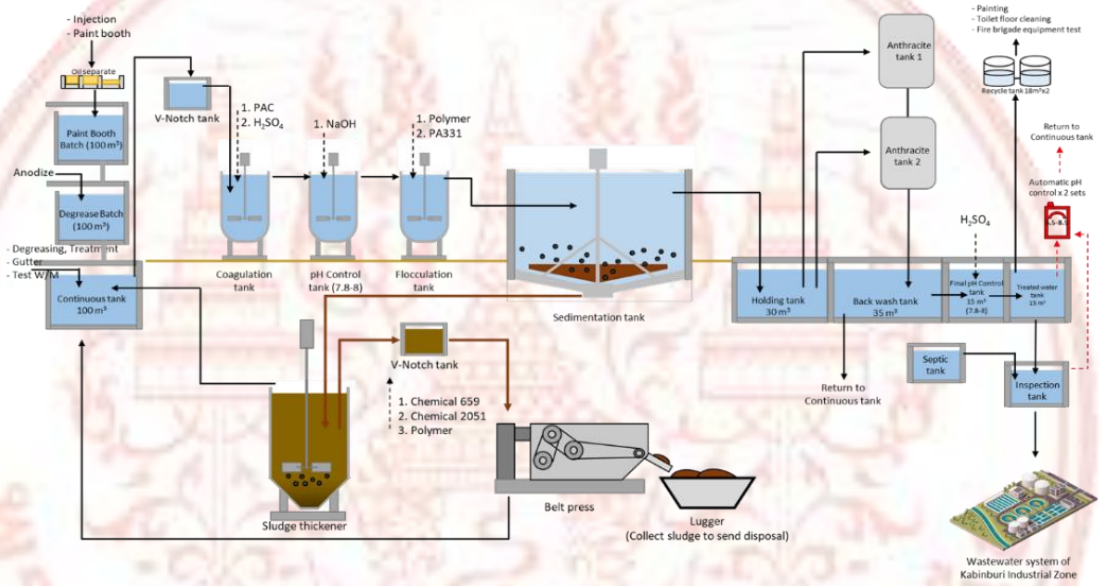
ผลิตภัณฑ์	จำนวนชิ้นส่วนที่ถูกพิจารณาให้ยกเลิกการผลิตภายในบริษัท และกำหนดให้มีการสั่งซื้อเป็นชิ้นงานสำเร็จรูปจากโดยผลิตภายนอก (ชิ้น/ปี)		
	2565	2566	แผนงาน ปี 2567
เครื่องซักผ้า	1,565,036	671,699	537,359
เครื่องดูดฝุ่น	1,108,893	770,838	693,754
ปั๊มน้ำ	889,630	479,044	383,235
เครื่องทำน้ำอุ่น	85,739	68,265	61,439
ตู้เย็น	12,765,672	2,784,312	2,505,881
รวม (ชิ้น/ปี)	16,414,970	4,774,158	4,181,668

จากการที่บริษัทกรณีศึกษาประสบปัญหายอดการผลิตที่ลดลงเนื่องจากบริษัทมีนโยบายใช้ชิ้นส่วนกึ่งสำเร็จรูปมาประกอบในโรงงานส่งผลให้มีการใช้น้ำในกระบวนการต่าง ๆ ลดลงทำให้เกิดน้ำเสียที่ส่งมาที่ระบบบำบัดลดลงตามไปด้วยโดยระบบบำบัดของโรงงานผลิตที่ 1 มีน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ยเหลือเพียง 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวันและระบบบำบัดของโรงงานผลิตที่ 2 มีน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ยเหลือเพียง 120 ลูกบาศก์เมตรต่อวันทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องลดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียลงเพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในท่ามกลางวิกฤต ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 และโรงงานผลิตที่ 2 พบว่าเป็นระบบบำบัดที่ใช้สารเคมีในการตกตะกอนและมีขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียที่เหมือนกัน ดังนี้

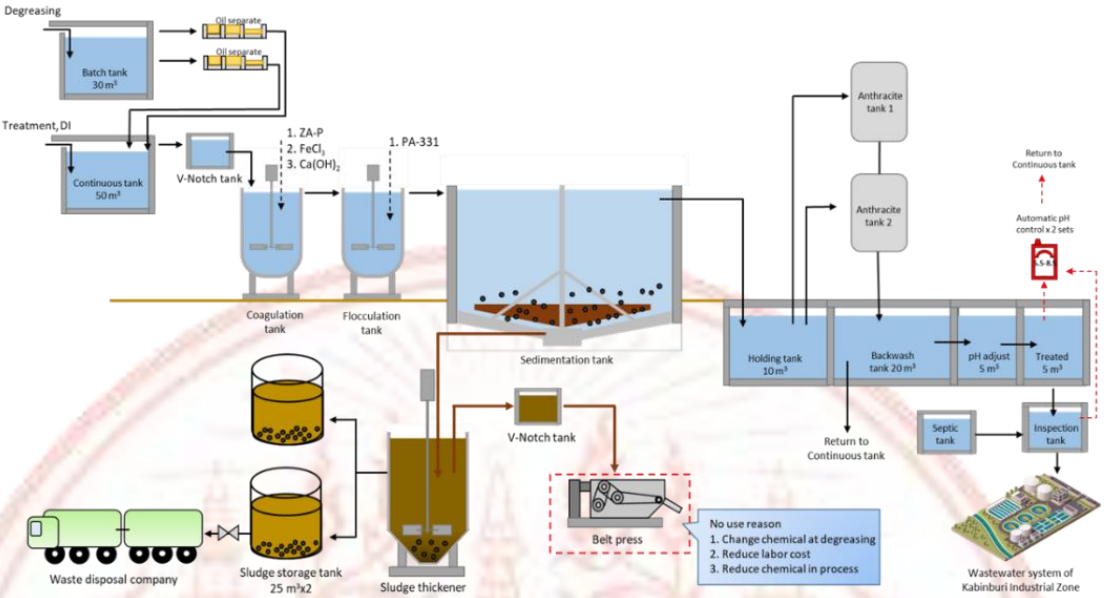
1. น้ำเสียจากกระบวนการผลิตถูกส่งมายังบ่อพักน้ำใต้ดิน
2. ปั๊มจะทำการสูบน้ำเสียไปยังหน่วยบำบัดที่มีชื่อว่าถังปฏิกิริยา (Coagulation Tank) ในขั้นตอนนี้จะมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมเพื่อก่อให้เกิดตะกอนของโลหะหนัก
3. น้ำเสียที่มีการจับตัวเป็นตะกอนของโลหะหนักจะถูกส่งไปยังถังตกตะกอน (Sedimentation Tank)
4. ตะกอนจะถูกส่งไปยังเครื่องรีดตะกอน (Belt press)
5. น้ำเสียที่ตกตะกอนแล้วจะถูกส่งต่อไปยังระบบกรองน้ำด้วยแอนทราไซต์ (Anthracite) ก่อนที่จะถูกส่งต่อไปบำบัดยังระบบบำบัดส่วนกลางของเขตอุตสาหกรรมต่อไป
6. และจากการพิจารณากำลังการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดที่โรงงานผลิตที่ 1 จะพบว่าผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้สามารถรองรับน้ำเสียจากกระบวนการผลิต

ของโรงงานผลิตที่ 1 ประมาณ 450 ลูกบาศก์เมตรต่อวันโดยมีความสามารถในการรองรับน้ำเสียของบ่อพักน้ำต่าง ๆ ดังนี้

7. บ่อพักน้ำเสียใต้ดินหมายเลข 1 สามารถรองรับน้ำเสียได้ประมาณ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
8. บ่อพักน้ำเสียใต้ดินหมายเลข 2 สามารถรองรับน้ำเสียได้ประมาณ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
9. บ่อพักน้ำเสียใต้ดินหมายเลข 3 สามารถรองรับน้ำเสียได้ประมาณ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
10. บ่อ Sedimentation สามารถรองรับน้ำเสียได้ประมาณ 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

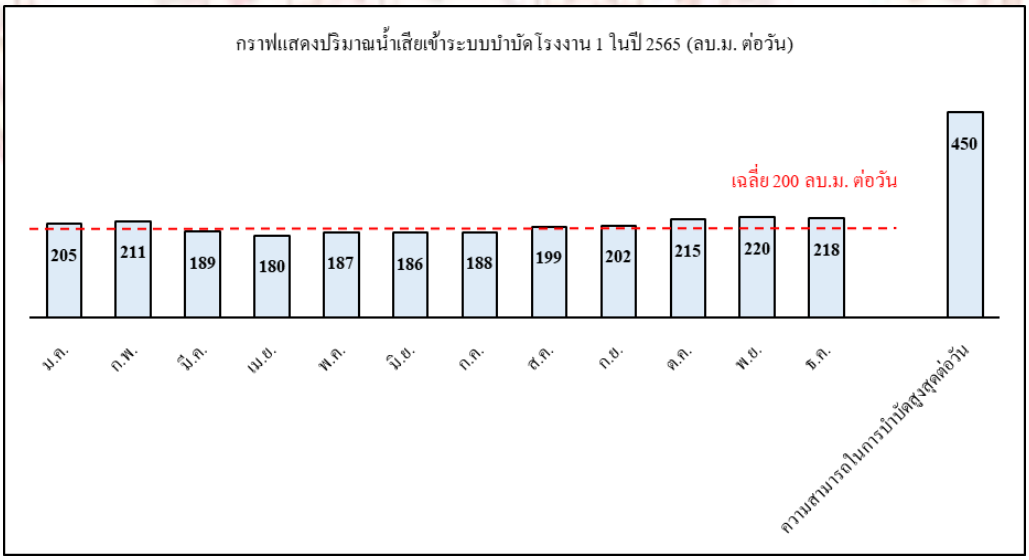


ภาพที่ 3-1 ผังกระบวนการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 1



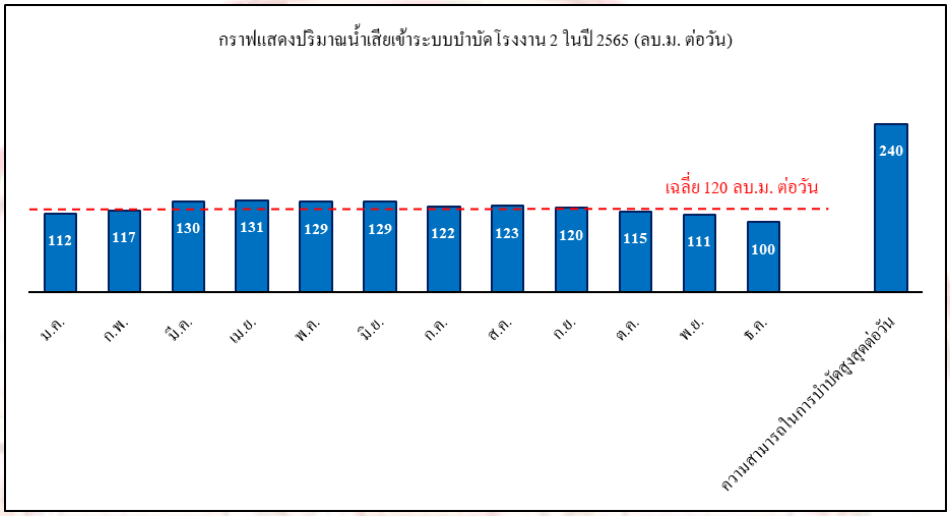
ภาพที่ 3-2 ผังกระบวนการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 2

จากการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่เข้ามายังระบบบำบัดของโรงงานผลิตที่ 1 และ โรงงานผลิตที่ 2 ในช่วงปี 2565 เทียบกับความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดทั้ง 2 แห่งพบว่า โรงงานผลิตที่ 1 มีปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัดเฉลี่ย 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในขณะที่ระบบมีการออกแบบให้มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสูงสุดอยู่ที่ 450 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ดังภาพที่ 3-3

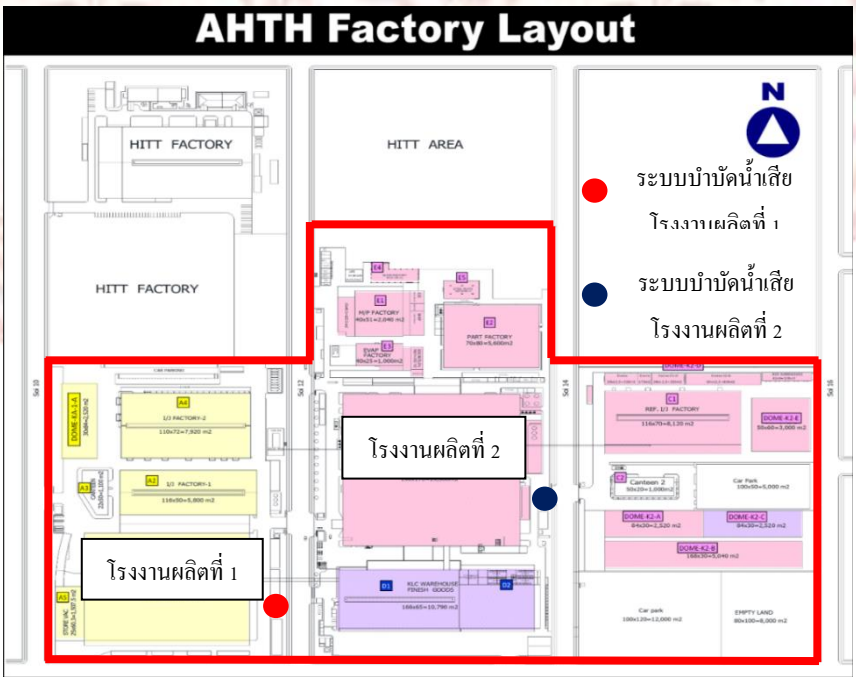


ภาพที่ 3-3 กราฟแสดงปริมาณน้ำเสียเข้าระบบบำบัดโรงงาน 1 ในปี 2565

และโรงงานผลิตที่ 2 มีปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัดเฉลี่ย 120 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในขณะที่ระบบมีการออกแบบให้มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสูงสุดอยู่ที่ 240 ลูกบาศก์เมตรต่อวันดังภาพที่ 3-4 ซึ่งแสดงว่าปริมาณน้ำเสียที่ระบบบำบัดทั้ง 2 ระบบยังทำงานได้ไม่เต็มกำลังการบำบัดทำให้เกิดความสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เสียไปและไม่คุ้มค่าการดำเนินงานบำบัดของทั้ง 2 ระบบ



ภาพที่ 3-4 กราฟแสดงปริมาณน้ำเสียเข้าระบบบำบัดโรงงาน 2 ในปี 2565



ภาพที่ 3-5 แสดง Lay out ของบริษัทกรณีศึกษา

3.2 การศึกษาหาต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา

ผู้วิจัยได้มีการเก็บข้อมูลต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษาในช่วงเดือนมกราคม - ธันวาคม 2565 และนำมาเทียบกับปริมาณน้ำเสียที่เข้ามาในระบบบำบัดในแต่ละเดือนของแต่ละโรงงานมีรายละเอียดดังตาราง 3-3 และตาราง 3-4จากข้อมูลในตารางที่ 3-3 และตารางที่ 3-4 จะพบว่าค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 1 มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยอยู่ที่เดือนละ 170,523 บาท และค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 2
มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยอยู่ที่เดือนละ 186,596 บาท พบว่าบริษัทกรณีศึกษามีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ระบบเฉลี่ยอยู่ที่ 357,119 บาท/เดือน ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าใช้จ่ายในด้านค่ากำจัดตะกอนน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าโรงงานผลิตที่ 1 เนื่องมาจากการยกเลิกการใช้งานเครื่องรีดตะกอนน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 เพราะมีค่าซ่อมบำรุงสูง จึงเป็นสาเหตุให้ตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดเป็นตะกอนแบบเปียกมีน้ำหนักมากและต้องใช้รถขนส่งแบบพิเศษเพื่อขนส่งตะกอนน้ำเสียแบบเปียกอีกทั้งในช่วงเดือนเมษายนปี 2565 ที่ผ่านมาโรงงานผลิตที่ 2 มีการดำเนินการเปลี่ยนถังไฟเบอร์กลาสใหม่เนื่องจากถังเดิมชำรุดและแตกจึงทำให้มีต้นทุนค่าซ่อมบำรุงสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวจึงเป็นเหตุให้โรงงานผลิตที่ 2 มีต้นทุนค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสียสูงกว่าโรงงานผลิตที่ 1

ตารางที่ 3-3 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียเฉลี่ยต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 1

เดือน	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 1 (บาท/เดือน)							รวม (บาท/เดือน)
	ค่าสารคมี	ค่าแรงคนงาน	ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ค่าไฟฟ้า	ค่าตรวจวิเคราะห์	ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด	
มกราคม	96,511	29,150	16,801	7,470	7,833	-	-	157,765
กุมภาพันธ์	99,336	37,359	17,292	8,276	7,833	-	-	170,096
มีนาคม	93,216	35,284	16,227	8,415	7,833	28,000	-	188,975
เมษายน	76,671	34,773	13,347	8,163	7,833	-	-	140,787
พฤษภาคม	92,229	31,231	16,055	8,298	7,833	-	-	155,646
มิถุนายน	91,736	35,463	15,969	8,159	7,833	-	20,500	179,660
กรกฎาคม	80,078	39,644	13,940	8,312	7,833	-	-	149,807
สิงหาคม	93,686	36,476	16,309	7,407	7,833	-	-	161,712
กันยายน	95,099	34,292	16,555	8,276	7,833	-	-	162,054
ตุลาคม	96,399	13,269	16,781	7,187	7,833	30,000	-	171,469
พฤศจิกายน	103,573	9,914	18,030	8,204	7,833	-	-	147,553
ธันวาคม	87,970	121,640	15,314	7,493	7,833	-	20,500	260,749
รวม	**1,106,503**	**458,494**	**192,620**	**95,657**	**94,000**	**58,000**	**41,000**	**2,046,273**
เฉลี่ย (บาท/เดือน)	**92,209**	**38,208**	**16,052**	**7,971**	**7,833**	**4,833**	**3,417**	**170,523**

ตารางที่ 3-4 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียเฉลี่ยต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 2

เดือน	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 2 (บาท/เดือน)							รวม (บาท/เดือน)
	ค่าสารคมี	ค่าแรงคนงาน	ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ค่าไฟฟ้า	ค่าตรวจวิเคราะห์	ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด	
มกราคม	62,851	25,950	51,010	6,386	7,833	-	-	154,030
กุมภาพันธ์	65,656	36,196	53,288	6,224	7,833	-	-	169,197
มีนาคม	76,425	30,624	62,028	7,151	7,833	-	-	184,061
เมษายน	66,512	26,894	53,982	6,836	7,833	150,000.00	-	312,056
พฤษภาคม	75,838	31,674	61,551	7,353	7,833	-	-	184,249
มิถุนายน	75,838	23,334	61,551	6,818	7,833	-	14,000.00	189,374
กรกฎาคม	61,942	23,239	50,273	6,759	7,833	-	-	150,047
สิงหาคม	69,023	25,563	56,020	7,304	7,833	-	-	165,743
กันยายน	67,340	23,337	54,654	7,434	7,833	34,000.00	-	194,598
ตุลาคม	61,461	23,983	49,883	7,205	7,833	-	-	150,365
พฤศจิกายน	62,289	23,149	50,555	7,056	7,833	-	-	150,883
ธันวาคม	48,100	118,533	39,039	7,047	7,833	-	14,000.00	234,551
รวม	**793,275**	**412,477**	**643,832**	**83,570**	**94,000**	**184,000**	**28,000**	**2,239,154**
เฉลี่ย	**66,106**	**34,373**	**53,653**	**6,964**	**7,833**	**15,333**	**2,333**	**186,596**

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาต่อถึงต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียต่อหน่วยลูกบาศก์เมตรของน้ำเสียที่ถูกส่งมาบำบัดยังระบบบำบัดของโรงงานผลิตทั้ง 2 โรงงาน เพื่อประเมินค่าบำบัดน้ำเสีย ดังตาราง 3-5

ตารางที่ 3-5 แสดงต้นทุนค่าบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 (บาท/ลูกบาศก์เมตร)

เดือน	ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 1	จำนวนวันทำงานต่อเดือน	รวมปริมาณน้ำเสียเข้าระบบต่อเดือน	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือน	ต้นทุนค่าบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1
	ลบ.ม/วัน	วัน	ลบ.ม/เดือน	บาท/เดือน	บาท/ลูกบาศก์เมตร
มกราคม	205	21	4,305	157,765	36.65
กุมภาพันธ์	211	21	4,431	170,096	38.39
มีนาคม	189	22	4,158	188,975	45.45
เมษายน	180	19	3,420	140,787	41.17
พฤษภาคม	187	22	4,114	155,646	37.83
มิถุนายน	186	22	4,092	179,660	43.91
กรกฎาคม	188	19	3,572	149,807	41.94
สิงหาคม	199	21	4,179	161,712	38.70
กันยายน	202	21	4,242	162,054	38.20
ตุลาคม	215	20	4,300	171,469	39.88
พฤศจิกายน	220	21	4,620	147,553	31.94
ธันวาคม	218	18	3,924	260,749	66.45
ค่าเฉลี่ย	**200**	**20.6**	**4,113**	**170,523**	**41.71**

ตารางที่ 3-6 แสดงต้นทุนค่าบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 (บาท/ลูกบาศก์เมตร)

เดือน	ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 2	จำนวนวันทำงานต่อเดือน	รวมปริมาณน้ำเสียเข้าระบบต่อเดือน	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือน	ต้นทุนค่าบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2
	ลบ.ม/วัน	วัน	ลบ.ม/เดือน	บาท/เดือน	บาท/ลูกบาศก์เมตร
มกราคม	112	21	2,352	154,030	65.49
กุมภาพันธ์	117	21	2,457	169,197	68.86
มีนาคม	130	22	2,860	184,061	64.36
เมษายน	131	19	2,489	312,056	125.37
พฤษภาคม	129	22	2,838	184,249	64.92
มิถุนายน	129	22	2,838	189,374	66.73
กรกฎาคม	122	19	2,318	150,047	64.73
สิงหาคม	123	21	2,583	165,743	64.17
กันยายน	120	21	2,520	194,598	77.22
ตุลาคม	115	20	2,300	150,365	65.38
พฤศจิกายน	111	21	2,331	150,883	64.73
ธันวาคม	100	18	1,800	234,551	130.31
ค่าเฉลี่ย	**120**	**20.6**	**2,474**	**186,596**	**76.86**

จากข้อมูลในตารางที่ 3-5 และ 3-6 พบว่าต้นทุนค่าบำบัดน้ำเสียต่อหน่วยลูกบาศก์เมตรของโรงงานผลิตที่ 1 อยู่ที่ 41.71 บาท/ลูกบาศก์เมตร และต้นทุนค่าบำบัดน้ำเสียต่อหน่วยลูกบาศก์เมตรของโรงงานผลิตที่ 2 อยู่ที่ 76.86 บาท/ลูกบาศก์เมตร อ้างอิงตามบทที่ 1 ภาพที่ 1-3 และ 1-4 จะพบว่าสาเหตุหลักที่โรงงานผลิตที่ 2 มีค่าใช้จ่ายมากกว่าโรงงานผลิตที่ 1 เนื่องจาก

1. ค่าใช้จ่ายด้านการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียเนื่องจากโรงงานผลิตที่ 2 ไม่มีระบบเครื่องรีดตะกอนทำให้บริษัทฯ ต้องส่งกำจัดตะกอนน้ำเสียในลักษณะที่เป็นของเหลวส่งผลให้มีน้ำหนักกากตะกอนมากกว่าและทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า

2. ในช่วงเดือนเมษายนปี 2565 ที่ผ่านมาโรงงานผลิตที่ 2 มีการดำเนินการเปลี่ยนถังไฟเบอร์กลาสใหม่เนื่องจากถังเดิมชำรุดและแตกจึงทำให้มีต้นทุนค่าซ่อมบำรุงสูงขึ้น

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าปริมาณน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวันและปริมาณน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 120 ลูกบาศก์เมตรต่อวันเมื่อรวมทั้ง 2 โรงงานผลิตพบว่ามีปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยรวมกันอยู่ที่ 220 ลูกบาศก์เมตรต่อวันและหากพิจารณาที่ต้นทุนการบำบัดจะพบได้ว่าต้นทุนในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 ต่ำกว่าต้นทุนในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 จากนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบค่าความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 จากเอกสารการออกแบบระบบบำบัดตามที่ได้ระบุไว้ในบทที่ 1 พบว่าระบบมีการออกแบบให้มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสูงสุดอยู่ที่ 450 ลูกบาศก์เมตรต่อวันซึ่งมีความสามารถเพียงพอในการรองรับน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2

3.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุและความสูญเปล่าที่เป็นปัญหาให้ค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียสูง

เนื่องจากในอดีตที่ผ่านมาการบริหารจัดการในส่วนงานของระบบบำบัดจะมีการแยกส่วนดูแลโดยผู้จัดการของแต่ละโรงงานผลิต โดยระบบบำบัดของโรงงานผลิตที่ 1 ก็จะบริหารจัดการดูแลรับผิดชอบโดยผู้จัดการของโรงงานผลิตที่ 1 และ ระบบบำบัดของโรงงานผลิตที่ 2 ก็จะบริหารจัดการดูแลรับผิดชอบโดยผู้จัดการของโรงงานผลิตที่ 2 จึงทำให้การทำงานนั้นเป็นการทำงานแบบแยกส่วนและมีความซ้ำซ้อน รวมถึงมีต้นทุนในการดูแลระบบบำบัดน้ำเสียที่สูงมากติดต่อกันมาเป็นเวลานานจนกระทั่งในปี พ.ศ. 2566 ผู้วิจัยได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติหน้าที่ควบคุมดูแลรับผิดชอบระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตทั้ง 2 โรงงาน จึงทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะแก้ไขปัญหาด้านต้นทุนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 ที่เป็นปัญหา และมุ่งเน้นการลดค่าใช้จ่ายรวมถึงลดความซ้ำซ้อนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษานี้

จากปัญหาต้นทุนในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 มีค่าใช้จ่ายสูงโดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียทั้งหมดอยู่ที่ 2,239,154 บาท/ปี แบ่งเป็น ค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย 793,275 บาท/ปี คิดเป็น 35% ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย 643,832 บาท/ปี คิดเป็น 29% ค่าแรงคนงาน 412,477 บาท/ปี คิดเป็น 18% ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร 184,000 บาท/ปี คิดเป็น 8% ค่าไฟฟ้า 83,570 บาท/ปี คิดเป็น 4% ค่าตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย 94,000 บาท/ปี คิดเป็น 4% ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัดค่า pH 28,000 บาท/ปี คิดเป็น 1% ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งผู้วิจัยได้มีการระดมสมองกับพนักงานระดับหัวหน้างานและเลือกใช้แผนผังก้างปลาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาร่วมกันโดยทำการระบุสาเหตุของปัญหาเป็นหัวข้อคือ

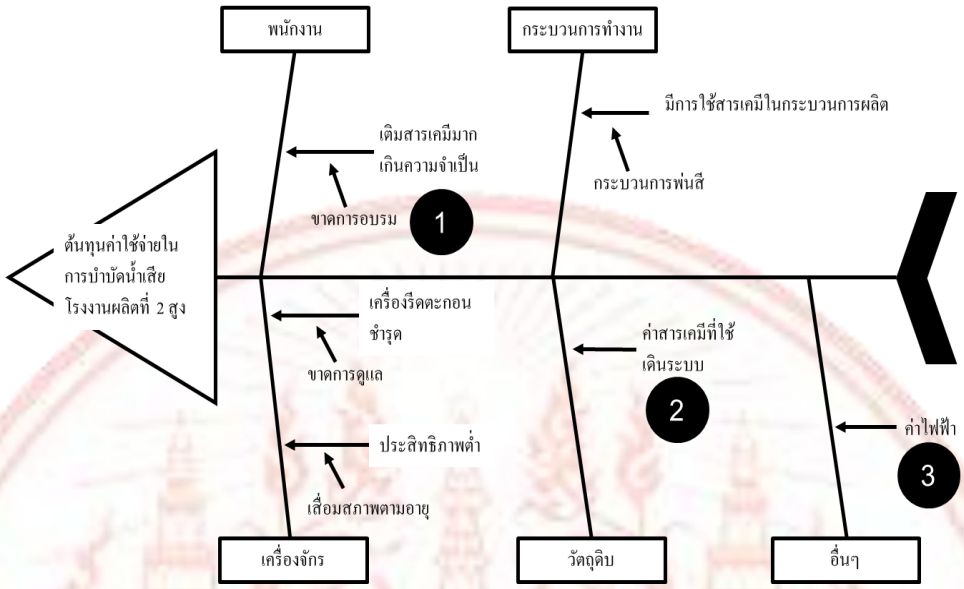
1. ปัญหาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 2 สูง โดยภายหลังจากทำการวิเคราะห์สาเหตุโดยแผนผังก้างปลาตามภาพ 3-6 จะพบว่า

1.1 พนักงานประจำระบบทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 2 สูง เพราะมีการเติมสารเคมีมากเกินความจำเป็นเพราะขาดการอบรม

1.2 กระบวนการผลิตที่จำเป็นต้องใช้สารเคมีเช่นห้องสีทำให้เกิดน้ำเสียที่ต้องการการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่ภายนอก

1.3 เครื่องจักรทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 2 สูง เพราะเครื่องรีดตะกอนชำรุดเนื่องจากขาดการดูแลจึงจำเป็นต้องยกเลิกการใช้งานเครื่องรีดตะกอน เครื่องจักรมีประสิทธิภาพต่ำเพราะเสื่อมสภาพตามอายุทำให้ต้องส่งตะกอนเปียกมีน้ำหนักมากออกไปกำจัดส่งผลให้มีต้นทุนสูงตามมา

1.4 วัตถุดิบทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 2 สูง เพราะมีค่าสารเคมีที่ใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงจากกระบวนการล้างแผ่นเหล็กและค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ



ภาพที่ 3-6 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์ปัญหาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 2 สูง

จากการวิเคราะห์ปัญหาในแผนภูมิก้างปลาผู้วิจัยได้นำสาเหตุต่างๆของปัญหามาเพื่อดำเนินการแก้ไข โดยมีวิธีการต่าง ๆ ดังตาราง 3-7

ตารางที่ 3-7 แสดงแนวทางการแก้ไขปัญหาที่ค้นพบจากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา

ลำดับ	หัวข้อปัญหา	ปัญหา	สาเหตุของปัญหา	ผลกระทบ	แนวทางการแก้ไขปัญหา
1	พนักงาน	มีการเติมสารเคมีมากเกินความจำเป็น	ขาดการอบรม	ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีสูง	จัดให้มีการอบรมพนักงานและจัดทำเอกสารมาตรฐานในการเติมสารเคมีเลขที่ 13-G-02-0001 ชื่อระเบียบปฏิบัติของฝ่ายวิศวกรรมโรงงานและการจัดการสิ่งแวดล้อม เรื่อง การดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียในการเติมสารเคมีตามภาพที่ 3-7
2	วัตถุดิบ	ค่าสารเคมีที่ใช้เดินระบบ	สารเคมีมีราคาสูง	ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีสูง	ควบคุมการใช้สารเคมีโดยกำหนดปริมานการใช้สารเคมีต่อปริมานน้ำเสียให้เป็นมาตรฐานตามเอกสารเลขที่ 13-G-02-0001 ชื่อระเบียบปฏิบัติของฝ่ายวิศวกรรมโรงงานและการจัดการสิ่งแวดล้อม เรื่องการดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียในการเติมสารเคมีตามภาพที่ 3-7
3	อื่นๆ	ค่าไฟฟ้า	ระบบต้องใช้ไฟฟ้าในการทำงาน	ค่าไฟฟ้าสูง	ปิดระบบเมื่อไม่มีการผลิต

3.3.1 ดำเนินการทดลองแก้ไขปัญหาการเติมสารเคมีที่มากเกินความจำเป็น

สาเหตุของปัญหา : เนื่องจากวิธีการทำงานในปัจจุบันไม่ได้มีการจัดทำเอกสารมาตรฐานในการเติมสารเคมีที่เหมาะสมให้กับพนักงานที่ประจำระบบบำบัดน้ำเสียทำให้เกิดความเข้าใจผิดรวมถึงพนักงานอาจไม่มีความรู้หรือการฝึกอบรมที่เพียงพอเกี่ยวกับการใช้สารเคมี ทำให้มีการเติมสารเคมีมากกว่าที่จำเป็น โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอจากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้สารเคมีที่ระบบบำบัดน้ำเสียก่อนการแก้ไข ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้สารเคมีที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 และโรงงานผลิตที่ 2 ในปี 2565 พบว่าที่โรงงานผลิตที่ 1 มีการใช้สารเคมีเฉลี่ยต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรดังนี้ Poly Aluminum Chloride (PAC) มีอัตราการใช้เฉลี่ย 1.104 ลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร, Sodium Hydroxide (NaOH) มีอัตราการใช้เฉลี่ย 0.552 ลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรและ Polymer มีอัตราการใช้เฉลี่ย 0.005 กิโลกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรตามตาราง 3-8 และโรงงานผลิตที่ 2 มีการใช้สารเคมีเฉลี่ยต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรดังนี้ Ferric chloride ($FeCl_3$) มีอัตราการใช้เฉลี่ย 0.944 ลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร, Calcium oxide (CaO) มีอัตราการใช้เฉลี่ย 1.084 กิโลกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรและ Polymer มีอัตราการใช้เฉลี่ย 0.021 กิโลกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรตามตาราง 3-9

ตารางที่ 3-8 ตารางแสดงชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1

เดือน	ปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัด	ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 1		
		Poly Aluminum Chloride (PAC)	Sodium Hydroxide (NaOH)	Polymer
	ลูกบาศก์เมตร/เดือน	ลิตร/เดือน	ลิตร/เดือน	กิโลกรัม/เดือน
มกราคม	4,305	4,752	2,376	21
กุมภาพันธ์	4,431	4,891	2,446	21
มีนาคม	4,158	4,590	2,295	20
เมษายน	3,420	3,775	1,888	16
พฤษภาคม	4,114	4,541	2,271	20
มิถุนายน	4,092	4,517	2,259	19
กรกฎาคม	3,572	3,943	1,972	17
สิงหาคม	4,179	4,613	2,307	20
กันยายน	4,242	4,683	2,341	20
ตุลาคม	4,300	4,747	2,373	20
พฤศจิกายน	4,620	5,100	2,550	22
ธันวาคม	3,924	4,332	2,166	19
เฉลี่ย	4,113	4,540	2,270	20
ปริมานการใช้สารเคมีต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม.		1.104	0.552	0.005

ตารางที่ 3-9 ตารางแสดงชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2

เดือน	ปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัด	ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 2		
		Ferric chloride ($FeCl_3$)	Calcium oxide (CaO)	Polymer
	ลูกบาศก์เมตร/เดือน	ลิตร/เดือน	กิโลกรัม/เดือน	กิโลกรัม/เดือน
มกราคม	2,352	2,220	2,549	49
กุมภาพันธ์	2,457	2,320	2,663	52
มีนาคม	2,860	2,700	3,100	60
เมษายน	2,489	2,350	2,698	52
พฤษภาคม	2,838	2,679	3,076	60
มิถุนายน	2,838	2,679	3,076	60
กรกฎาคม	2,318	2,188	2,513	49
สิงหาคม	2,583	2,438	2,800	54
กันยายน	2,520	2,379	2,731	53
ตุลาคม	2,300	2,171	2,493	48
พฤศจิกายน	2,331	2,201	2,527	49
ธันวาคม	1,800	1,699	1,951	38
เฉลี่ย	2,474	2,335	2,681	52
ปริมานการใช้สารเคมีต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม.		0.944	1.084	0.021

หากพิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 3-9 จะพบว่าที่โรงงานผลิตที่ 2 มีอัตราการใช้ Calcium oxide (CaO) เฉลี่ย 1.084 กิโลกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรซึ่งไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐานตามทฤษฎีที่อ้างอิงในบทที่ 2 ตารางที่ 2-4 ค่าปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ในทางทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนผลึกของ มลสาร 1 กิโลกรัมในการกำจัดสารโลหะหนักจำพวกนิกเกิลและสังกะสีซึ่งเป็นโลหะหนักที่เป็นส่วนผสมหลักในสีที่ใช้ในกระบวนการพ่นสีของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งควรจะมีอัตราการ

ใช้อยู่ที่ 0.96 และ 0.86 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอ้างอิงตารางที่ 2-4 ค่าปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ในทางทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนผลึกของมลสาร 1 กิโลกรัม

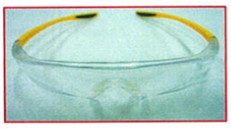
สารเคมีที่ใช้	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ (กก.) มลสารต่างๆ (1 กก. ของแต่ละมลสาร)					
	Cr^{+3}	Cu^{+2}	Fe^{+2}	Fe^{+3}	Ni^{+2}	Zn^{+2}
Calcium Oxide (CaO)	1.62	0.88	1.00	1.50	0.96	0.86
Lime ($Ca(OH)_2$)	2.13	1.16	1.34	2.01	1.26	1.14
Sodium Hydroxide (NaOH)	2.31	1.26	1.44	2.16	1.36	1.22
Sodium Carbonate (Na_2CO_3)	3.07	1.68	1.90	2.85	1.81	1.62
Magnesium Oxide (MgO)	1.17	0.63	0.73	1.10	0.69	0.62
Magnesium Hydroxide ($Mg(OH)_2$)	1.69	0.92	1.05	1.58	1.00	0.90

แนวทางการแก้ไขปัญหาข้อที่ 3.3.1 เพื่อแก้ไขปัญหาการเติมสารเคมีมากเกินความจำเป็นโดยผู้วิจัยได้จัดให้มีการจัดอบรมให้ความรู้แก่พนักงานที่ประจำระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 รวมถึงมีการดำเนินการจัดทำเอกสารมาตรฐานเลขที่ 13-G-02-0001 ชื่อระเบียบปฏิบัติของฝ่ายวิศวกรรมโรงงานและการจัดการสิ่งแวดล้อม เรื่องการดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียในการเติมสารเคมีตามภาพที่ 3-7 และนำไปติดตั้งไว้ที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 เพื่อควบคุมและกำหนดปริมาณสารเคมีแต่ละชนิดที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียของแต่ละโรงงานโดยใช้ค่ามาตรฐานการเติมสารเคมีจากการทำ Jar test ที่ห้องปฏิบัติการของบริษัท ไทย พีเอซี อินดัสตรี จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตและขายสารเคมีให้กับบริษัทมาใช้ในการควบคุมเพื่อลดความผิดพลาดในการเติมสารเคมีที่มากเกินความจำเป็นของพนักงานประจำระบบบำบัดน้ำเสีย

ระเบียบปฏิบัติของฝ่ายวิศวกรรมโรงงานและการจัดการสิ่งแวดล้อม

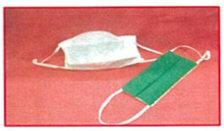
ประกาศใช้	การดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย	ประเภทและหมายเลข	หน้า
Jun-23		13 - G - 02 - 0001	3/7

อุปกรณ์ PPE



แว่นตา

ถุงมือผ้า



ผ้าปิดจมูก

ตารางการคิดตามและตรวจวัดค่าน้ำเสีย

หัวข้อการตรวจสอบค่าน้ำเสีย	ค่ามาตรฐาน	ความถี่ในการตรวจสอบ	ผู้รับผิดชอบ
1. pH	5.5 -8.5 pH	วันละ 2 ครั้ง	AHTH
2. BOD	500 (mg/l)	อย่างน้อยเดือนละ1ครั้ง	ผู้รับเหมา
3. SS	200 (mg/l)	อย่างน้อยเดือนละ1ครั้ง	ผู้รับเหมา

ตารางควบคุมการใช้สารเคมีที่ระบบบำบัดน้ำเสีย				
โรงงานผลิตที่ 1				
ลำดับ	สารเคมี	ค่า pH น้ำเข้า	อัตราการใช้สารเคมี	หน่วย
1	แพค (PAC)	ตรวจประจำวัน	ไม่เกิน 1.5	ลิตร/ลบ.ม.
2	โซดาไฟ (NaOH)	ตรวจประจำวัน	ไม่เกิน 0.8	ลิตร/ลบ.ม.
3	โพลิเมอร์	ตรวจประจำวัน	ไม่เกิน 0.05	กก./ลบ.ม.

ตารางควบคุมการใช้สารเคมีที่ระบบบำบัดน้ำเสีย				
โรงงานผลิตที่ 2				
ลำดับ	สารเคมี	ค่า pH น้ำเข้า	อัตราการใช้สารเคมี	หน่วย
1	เฟอริค คลอไรด์	ตรวจประจำวัน	ไม่เกิน 1.5	ลิตร/ลบ.ม.
2	ปูนขาว	ตรวจประจำวัน	ไม่เกิน 0.8	ลิตร/ลบ.ม.
3	โพลิเมอร์	ตรวจประจำวัน	ไม่เกิน 0.05	กก./ลบ.ม.

ในสภาวะฉุกเฉินเมื่อมีการถ่ายเทสารเคมีเมื่อมีการถ่ายเทสารเคมีเกิดการหกหล่น ให้ทำการใช้น้ำฉีดล้างบริเวณที่สารเคมีหกหล่น

ข้อควรระวัง

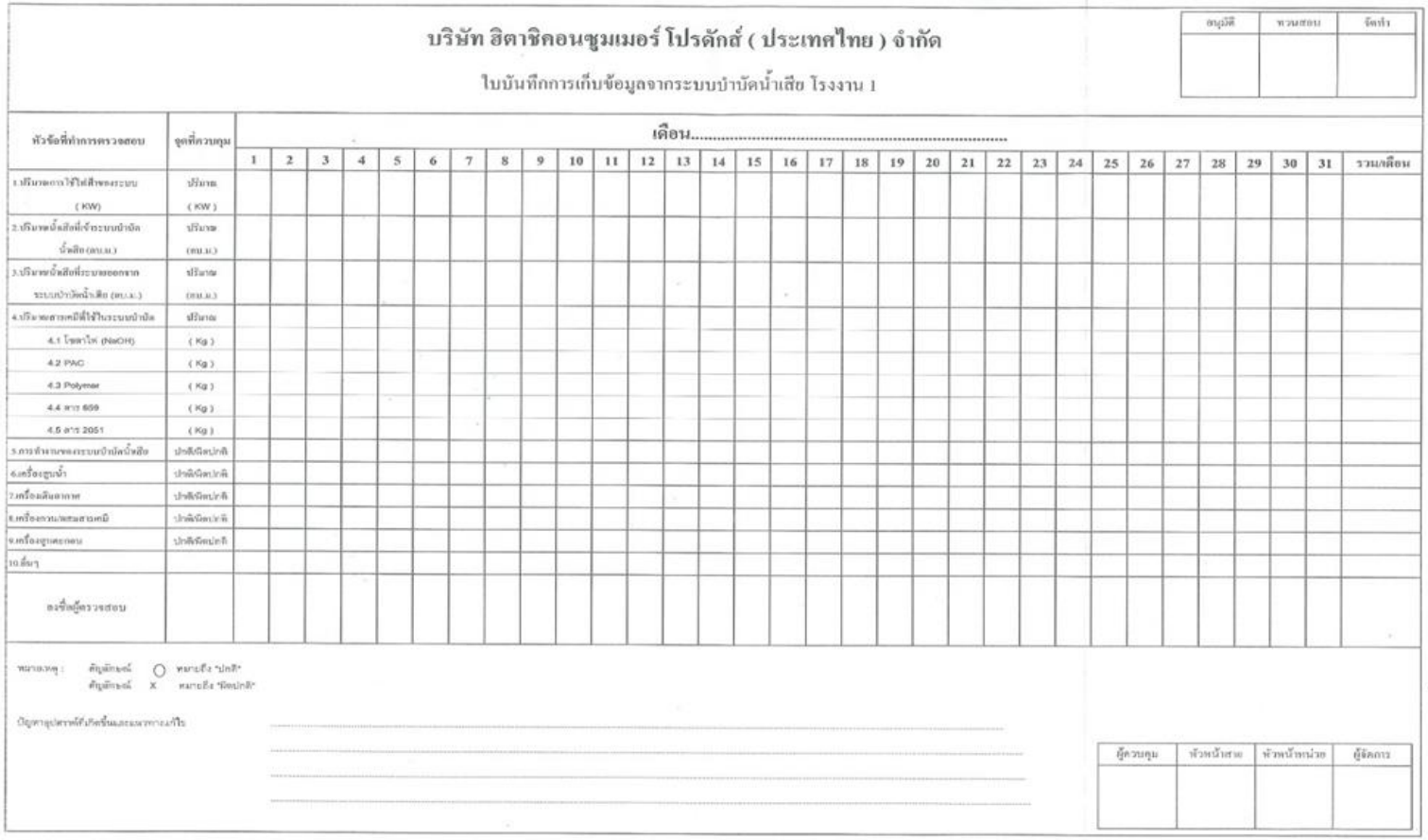
ค่าน้ำที่มาเป็นด่างจะมีปัญหาก็ต่อเมื่อสารเคมี PAC.หมดจากถังเพราะฉะนั้นควรตรวจดูทุกวันรวมถึงต้องทำการตรวจดูค่าน้ำจากแผนกหม้อหุงข้าวอยู่เสมอ เพราะค่าน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และค่าน้ำมาเป็นกรดเมื่อไรก็ให้ปรับค่าความเป็นกรด ถ้าค่าน้ำมีค่าความเป็นด่างก็ให้ฟีดกรดปรับสภาพให้เป็นกลางซึ่งเราตั้งค่า pH.ไว้ที่ 7-9

ภาพที่ 3-7 เอกสารระเบียบปฏิบัติในการดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

3.3.2 ดำเนินการทดลองแก้ไขปัญหาต้นทุนค่าสารเคมีที่ใช้เดินระบบ

สาเหตุของปัญหา : ขาดระบบเอกสารควบคุมและตรวจสอบปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทำให้เกิดการใช้สารเคมีที่มากเกินความจำเป็นส่งผลให้เกิดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียที่สูงตามมา

แนวทางการแก้ไขปัญหาข้อที่ 3.3.2 : โดยผู้วิจัยได้ทำการควบคุมปริมาณการเติมสารเคมีตามมาตรฐานการทำงานในข้อ 3.3.1 และจัดให้มีระบบเอกสารบันทึก (Check Sheet) เพื่อจดบันทึกปริมาณการใช้สารเคมี ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณน้ำเข้าและปริมาณน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมถึงการทำงานของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องในแต่ละวันเพื่อทวนสอบการปฏิบัติงานของพนักงานประจำระบบบำบัดน้ำเสียตามภาพ 3-8



บริษัท ฮิตาชิคอนซูมเมอร์ โปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด

ใบบันทึกการเก็บข้อมูลจากระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงาน 1

อนุมัติ	ทวนสอบ	จัดทำ

หัวข้อที่ทำการตรวจสอบ	จุดที่ควบคุม	เดือน.....																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	รวม/เดือน
1.ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบ (KW)	ปริมาณ (KW)																																
2.ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดน้ำเสีย (ลบ.ม.)	ปริมาณ (ลบ.ม.)																																
3.ปริมาณน้ำเสียที่ระบายออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย (ลบ.ม.)	ปริมาณ (ลบ.ม.)																																
4.ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัด	ปริมาณ																																
4.1 โซดาไฟ (NaOH)	(Kg)																																
4.2 PAC	(Kg)																																
4.3 Polymer	(Kg)																																
4.4 สาร 609	(Kg)																																
4.5 สาร 2051	(Kg)																																
5.การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย	ปกติ/ผิดปกติ																																
6.เครื่องสูบน้ำ	ปกติ/ผิดปกติ																																
7.เครื่องเติมอากาศ	ปกติ/ผิดปกติ																																
8.เครื่องกวน/ผสมสารเคมี	ปกติ/ผิดปกติ																																
9.เครื่องดูดตะกอน	ปกติ/ผิดปกติ																																
10.อื่นๆ																																	
ลงชื่อผู้ตรวจสอบ																																	

หมายเหตุ : ตัวอักษร ○ หมายถึง "ปกติ"
ตัวอักษร X หมายถึง "ผิดปกติ"

ปัญหาอุปสรรคที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข .....

ผู้ควบคุม	หัวหน้าสาย	หัวหน้าหน่วย	ผู้จัดการ

ภาพที่ 3-8 ตารางบันทึกปริมาณการใช้สารเคมีในแต่ละวัน

3.3.3 ดำเนินการทดลองแก้ไขปัญหาต้นทุนค่าไฟฟ้า

สาเหตุของปัญหา : ภายหลังจากการปฏิบัติงานในแต่ละวันหลังจากเวลา 17.00 น.พนักงานประจำระบบบำบัดจะทำการเปิดระบบบำบัดน้ำเสียให้ทำงานอัตโนมัติจากการตรวจสอบพบว่าในปัจจุบันโรงงานมีการปรับลดกำลังการผลิตและมีการยกเลิกการทำงานล่วงเวลาในสายการผลิตทำให้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเปิดการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียโดยไม่จำเป็น

การแก้ไขปัญหา : กำหนดให้มีการปิดระบบบำบัดน้ำเสียในช่วงที่ไม่มีการผลิตในช่วงเวลา 17.00 น. ถึงเวลา 08.00 น. ในวันรุ่งขึ้นเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า

ผลการแก้ไขปัญหาในข้อ 3.3.1, 3.3.2 และ 3.3.3 สามารถลดต้นทุนได้เพียงเล็กน้อยเนื่องจากการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีนี้ บริษัทกรณีศึกษาก็ยังคงมีค่าใช้จ่ายคงที่ได้แก่ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย ค่าแรง ค่าไฟฟ้า และค่าสารเคมีเป็นต้น ทำให้ไม่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

ภาพที่ 3-9 การอบรมให้ความรู้แก่พนักงานประจำระบบบำบัดน้ำเสีย

จากการดำเนินการทดลองแก้ไขปัญหาตามข้างต้นพบว่าไม่สามารถตอบสนองต่อเป้าหมายของผู้วิจัยที่ต้องการลดค่าใช้จ่ายลงให้ได้ 30% เนื่องจากยังคงมีค่าใช้จ่ายคงที่ได้แก่ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย ค่าแรง ค่าไฟฟ้า และค่าสารเคมีเป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีการระดมสมองเพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหาร่วมกับหัวหน้างานและผู้จัดการโรงงานและนำไปสู่แนวคิดที่จะดำเนินโครงการลดต้นทุนด้วยวิธีอื่น

3.4 ศึกษาหาวิธีการลดต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา

จากการวิเคราะห์ปัญหาค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 ผู้วิจัยได้พิจารณาศึกษาหาวิธีการลดต้นทุนโดยได้มีการนำทฤษฎีหลัก 4 ข้อของการปรับปรุง ECRS เข้ามาใช้ในการศึกษาหาวิธีการทำงานใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองเป้าหมายในการลดต้นทุนดังนี้

1. การกำจัด (Eliminate) ตามที่ได้กล่าวในบทที่ 2 จะหมายความถึงการกำจัดส่วนงานที่ไม่จำเป็นออกไป โดยหากลองพิจารณาระบบบำบัดน้ำเสียจำนวน 2 ระบบ ที่มีลักษณะวิธีการทำงานเหมือนกันอาจจะพิจารณาได้ว่าควรกำจัดระบบบำบัดใดออกเพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนในการดำเนินงานของบริษัทฯ พบว่าควรกำจัดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการเดินระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 ออกไป เนื่องจากมีต้นทุนการจัดการที่สูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1

2. การรวมกัน (Combine) เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากการออกแบบของผู้ผลิตจะพบได้ว่าโรงงานผลิตที่ 1 มีปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัดเฉลี่ย 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในขณะที่ระบบมีการออกแบบให้มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสูงสุดอยู่ที่ 450 ลูกบาศก์เมตรต่อวันและโรงงานผลิตที่ 2 มีปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัดเฉลี่ย 120 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในขณะที่ระบบมีการออกแบบให้มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสูงสุดอยู่ที่ 240 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการนำน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่โรงงานผลิตที่ 2 มารวมกับน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่โรงงานผลิตที่ 1 โดยวิธีการดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 เพื่อนำไปบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1

3. การจัดใหม่ (Rearrange) การจัดลำดับการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียใหม่หลังจากการดำเนินโครงการโดยให้มีการควบคุมเวลาในการส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 เพื่อเกิดการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดและไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา

4. การทำให้ง่าย (Simplify) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของโครงการนี้ให้เป็นแบบอัตโนมัติตั้งแต่การทำงานของปั๊มน้ำตลอดจนการเก็บบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำเสียที่ส่งจากโรงงานผลิตที่ 2 ไปยังโรงงานผลิตที่เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมระบบและการนำข้อมูลต่าง ๆ ไปใช้ประโยชน์ในอนาคต

ทั้งนี้เพื่อให้การดำเนินการด้านการบำบัดน้ำเสียภายหลังจากการรวมระบบเป็นไปตามมาตรฐานด้านคุณภาพน้ำทิ้งของเขตประกอบการอุตสาหกรรม ก่อนการปรับปรุงผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียขาเข้าทั้ง 2 โรงงานเมื่อวันที่ 9 มีนาคม 2566 โดยมีการเก็บตัวอย่างชั่วโมงละ 1 ลิตร ทุก 2 ชั่วโมงโดยนำตัวอย่างน้ำเสียโรงงานละ 5 ลิตรรวมเป็น 10 ลิตรจากนั้นมาทำการทดสอบด้วยวิธี Jar test เป็นจำนวน 4 ครั้ง เพื่อหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโดยการใช้สูตรทางเคมีตามสูตรที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันของระบบบำบัดน้ำเสียที่โรงงานผลิตที่ 1 โดยจะเห็นได้

ว่าที่ Jar test 1 มีการใช้สารเคมีคือ Poly Aluminum Chloride ปริมาตร 500 ppm และใช้ Sodium Hydroxide ปรับค่า pH ที่ 8.5 และ Polymer ของผู้ผลิตสารเคมี ปริมาตร 3 ppm ผลการเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดของเขตอุตสาหกรรมกบินทร์บุรีดังภาพที่ 3-10

Date : Apr 11'2023

Customer Name :
Subject : **Finding the chemical program for wasterwater treatment.**

INTRODUCTION :

Customer request us to finding chemical program for mix both wastewater factory together.

PROCEDURE :

1. Sampling Date: 9 Mar'23
2. KGC Chemical Program:
   2.1 COAG I-510 : 10% dilution
   2.2 $Ca(OH)_2$: 10% dilution
   2.3 KURIFLOC PA-331 : 0.1% dilution
   2.4 $FeCl_3$: 10% dilution
   2.5 NaOH
   2.6 KURITA ZA-P : 1% dilution
   2.7 PAC : 10% dilution

CHEMICAL PROGRAM :

Chemical Name	Chemical dosage (ppm)						
	*Jar test 1	*Jar test 2	*Jar test 3	*Jar test 4	**Jar test 5	**Jar test 6	Std.control
PAC	5,000	-	-	-	9,000	-	
$FeCl_3$	-	400	400	-	-	-	
COAG I-510	-	-	-	300	-	1,200	
$Ca(OH)_2$	-	pH = 9.5	-	-	-	-	
NaOH	pH = 8.5	-	pH = 8.5	pH = 8.5	pH =8.5	pH = 8.5	
KURITA ZA-P	-	5	5	-	-	-	
KURIFLOC PA-331	3	3	3	3	3	3	
Water Quality							
pH	8.64	9.49	8.4	8.4	8.34	8.63	
TDS	1,600	1000	1,100	1000	3,766	3,717	< 1,300
SS	10	10	10	10	50	30	< 200
COD	39	37	37	35	436	403	< 750
BOD	16	16	16	16	160	71	< 500
Oil & Grease	2	2	2	2	2	2	< 10
Zinc	0.71	0.15	0.15	0.41	1.24	1.34	< 5
Barium	< 0.30	< 0.30	< 0.30	< 0.30	< 0.30	< 0.30	< 1.0
Nickel	0.10	0.06	0.06	0.04	0.1	0.1	< 0.2

ภาพที่ 3-10 ตัวอย่างการทำการทดลอง Jar test และผลการทดลอง

จากนั้นได้ทำการทดลองซ้ำจำนวน 4 ครั้ง และทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามมาตรฐานของเขตอุสาหกรรมกบินทร์บุรีตามตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-10 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากการทดลอง Jar test ก่อนการปรับปรุง

ลำดับ	พารามิเตอร์ที่ควบคุม	หน่วย	มาตรฐานของเขตประกอบการอุตสาหกรรม	ผลการทดสอบคุณภาพน้ำเสีย				การพิจารณา
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1	ค่า pH	pH	ต้องอยู่ระหว่าง 5-9	8.64	8.54	8.42	8.53	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
2	ค่า SS	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 200	10	7	43	20.00	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
3	ค่า COD	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 750	39	91	39	56.33	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
4	ค่า BOD	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 500	16	34	22	24.00	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
5	ค่า Oil and Grease	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 10	2.0	5.5	6.5	4.7	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
6	ค่า Zinc (Zn)	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 500	0.71	0.43	0.17	0.44	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
7	ค่า Barium (Ba)	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 1.0	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
8	ค่า Nickel (Ni)	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 0.2	0.1	0.06	0.04	0.07	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากผลการทดลองด้วยวิธี Jar test จะเห็นได้ว่าเมื่อนำน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 มารวมกับน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 1 และใช้สูตรเคมีในการบำบัดตามปกติที่ใช้ที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 พบว่าสามารถบำบัดน้ำเสียทั้งหมดให้มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของเขตอุตสาหกรรมกบินทร์บุรีดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 สามารถบำบัดน้ำเสียทั้งหมดของโรงงานผลิตที่ 2 ได้

3.5 การดำเนินการแก้ไขเพื่อลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา

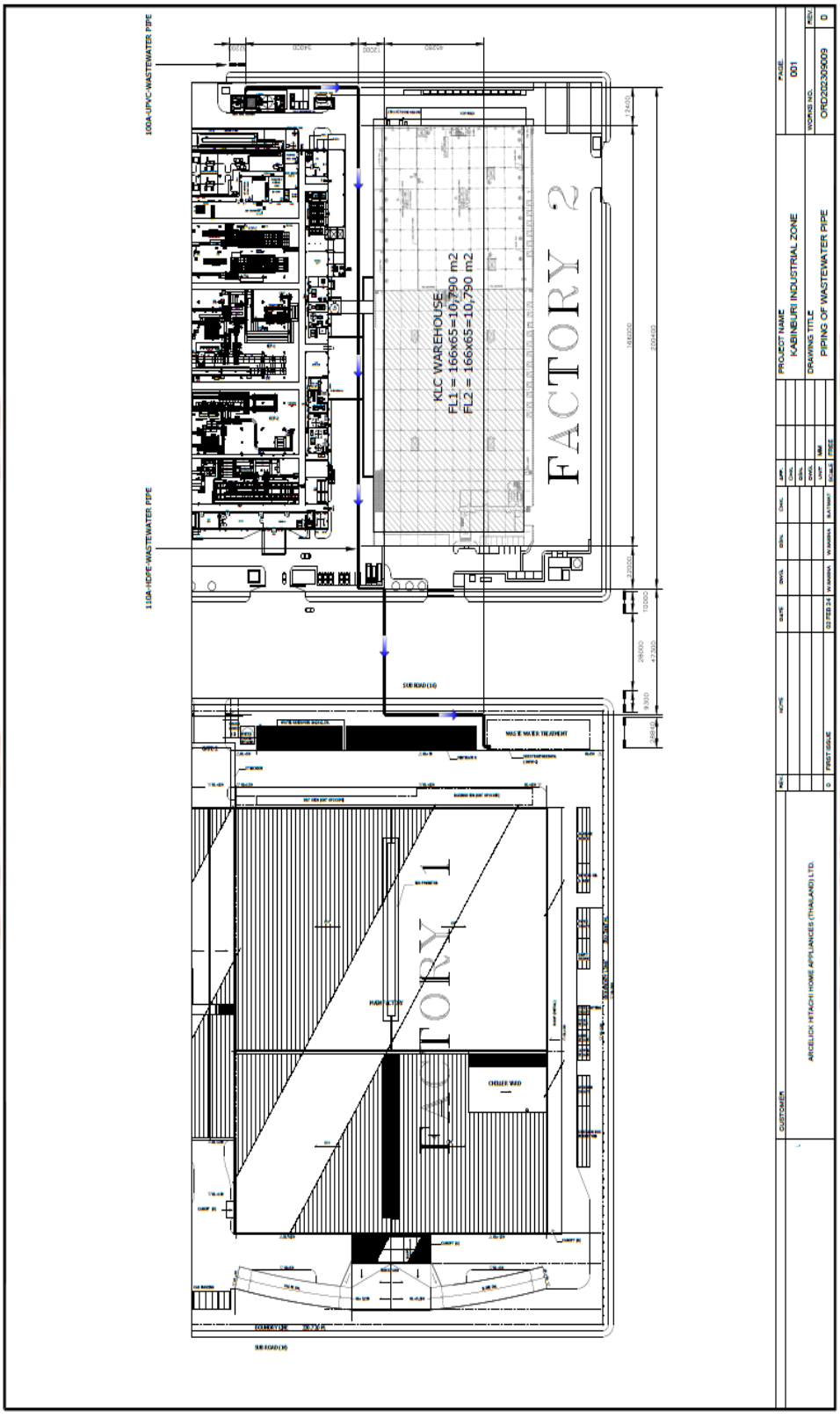
จากการดำเนินงานศึกษาหาวิธีการลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งพบว่ามีความเป็นไปได้ในการรวมระบบบำบัดน้ำเสียจากเดิมที่มี 2 ระบบ ให้เหลือเพียง 1 ระบบเพื่อลดต้นทุน ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ถึงวิธีการส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มายัง โรงงานผลิตที่ 1โดยพิจารณาวางระบบท่อส่งน้ำเสียข้ามโรงงานโดยไม่มีการใช้ระบบปั๊มส่งน้ำเสียพบว่ามีข้อจำกัดและผลกระทบดังนี้

1. ข้อจำกัดอันเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านพื้นที่ เนื่องจากจุดก่อกำเนิดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 คือ กระบวนการล้างแผ่นเหล็ก (Treatment Process) ซึ่งอยู่ห่างจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 ประมาน 420 เมตรตามแนวราบจะเห็นได้ว่ามีระยะค่อนข้างไกล การวางท่อส่งน้ำเสียโดยไม่ใช้ระบบปั๊มส่งน้ำเสียจะทำให้ไม่มีกำลังส่งน้ำที่มากพอและอาจทำให้เกิดตะกอนสะสมในเส้นท่อและอาจส่งผลทำให้ท่อเกิดการอุดตันในเส้นท่อเนื่องจากน้ำเสียที่ส่งไปมีอัตราการไหลต่ำกว่า 0.6 เมตรต่อวินาที

2. ข้อจำกัดอันเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านที่ตั้งของโรงงานผลิตทั้ง 2 แห่ง เนื่องจากโรงงานผลิตทั้ง 2 แห่งมีแนวถนนของเขตอุตสาหกรรมคั่นกลางทั้งนี้หากผู้วิจัยต้องการส่งน้ำเสียข้ามแนวถนนสาธารณะก็มีความจำเป็นที่จะต้องส่งน้ำเสียในแนวดิ่งโดยติดตั้งระบบท่อไปกับระบบสายพานลำเลียงสินค้าที่มี ดังนั้นหากไม่มีการใช้ระบบปั๊มส่งน้ำเสียจะไม่สามารถส่งน้ำเสียไปตามแนวดิ่งได้ และอาจส่งผลทำให้ไม่สามารถดำเนินโครงการให้บรรลุตามเป้าหมายได้

3. ข้อจำกัดอันเนื่องมาจากกฎระเบียบของเขตอุตสาหกรรม เนื่องจากถนนที่คั่นกลางระหว่างโรงงานผลิตที่ 1 และโรงงานผลิตที่ 2 นั้นมีระเบียบห้ามมิให้มีการดำเนินการขุดเจาะในลักษณะลอดใต้พื้นถนนดังนั้นจากข้อจำกัดข้างต้นจะพิจารณาได้ว่าการวางระบบท่อส่งน้ำเสียข้ามโรงงานโดยไม่มีการใช้ระบบปั๊มส่งน้ำเสียนั้นไม่สามารถดำเนินการได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการพิจารณาวางระบบท่อส่งน้ำเสียข้ามโรงงานโดยอาศัยระบบปั๊มส่งน้ำเสียและได้ทำการออกแบบเส้นทางในการดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียใหม่โดยมีแนวทางในการจัดวางระบบท่อดังภาพ 3-1



ภาพที่ 3-11 เส้นทางในการดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียใหม่ของบริษัทกรณีศึกษา

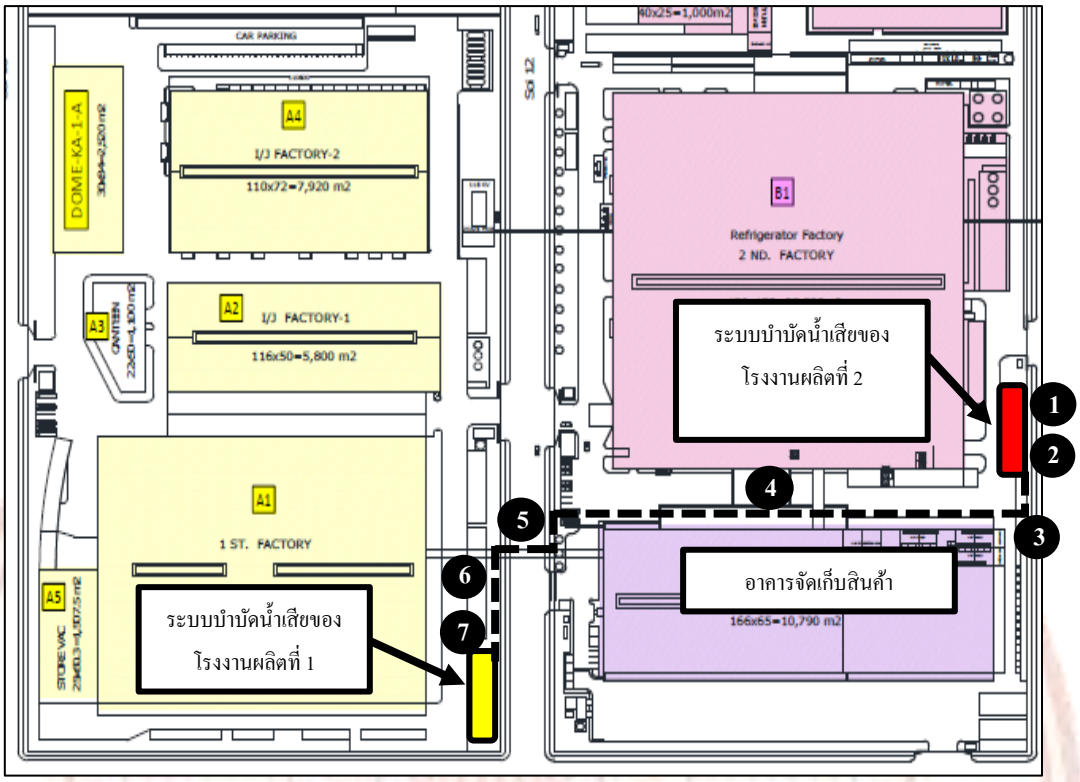
จากภาพที่ 3-11 จะพบว่ามีความเป็นไปได้ในการจัดวางระบบท่อส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 ผ่านทางอาคารเก็บสินค้าและวางแนวท่อข้ามแนวถนนของเขตอุตสาหกรรมกบินทร์บุรีเพื่อนำน้ำเสียมาบำบัดยังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายของบริษัทกรณีศึกษาลงได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงรายละเอียดในการดำเนินโครงการและได้มีการดำเนินการออกแบบก่อสร้างตามเอกสารภาคผนวก 1

3.5.1 การศึกษาต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายของโครงการ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกเช่น ค่าปั๊มและมอเตอร์ ค่างานระบบท่อ ค่างานระบบไฟฟ้า ค่าอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำเสีย และค่าแรงเป็นต้น และค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกสามารถแยกรายละเอียดค่าใช้จ่ายได้ดังตารางที่ 3-14

ตารางที่ 3-11 แสดงค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก

ลำดับ	รายการค่าใช้จ่ายในการลงทุน	จำนวน	หน่วย	ราคา (บาท)
1	ปั๊มน้ำเสียและมอเตอร์	2	เครื่อง	260,000
2	ท่อ HDPE และข้อต่อ	1	ชุด	250,000
3	อุปกรณ์จับยึด	1	ชุด	135,000
4	ระบบไฟฟ้า และควบคุม	1	ชุด	400,000
5	อุปกรณ์วัดอัตราการไหล	1	ชุด	130,000
6	ค่าแรง	1	งาน	380,000
7	ค่าอุปกรณ์สำหรับทำงานในที่สูง	1	งาน	20,000
8	ค่าขนส่ง	1	งาน	20,000
9	ค่าดำเนินการอื่นๆ	1	งาน	5,000
รวม				1,600,000

3.5.2 การดำเนินงานโครงการติดตั้งปั๊มและเดินท่อน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงาน 2 มายังระบบบำบัดน้ำเสียโรงงาน 1 จากการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากหน้างานจริงจะพบว่าระยะทางสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ช่วง ตามภาพที่ 3-23 โดยแต่ละช่วงมีระยะทางดังนี้

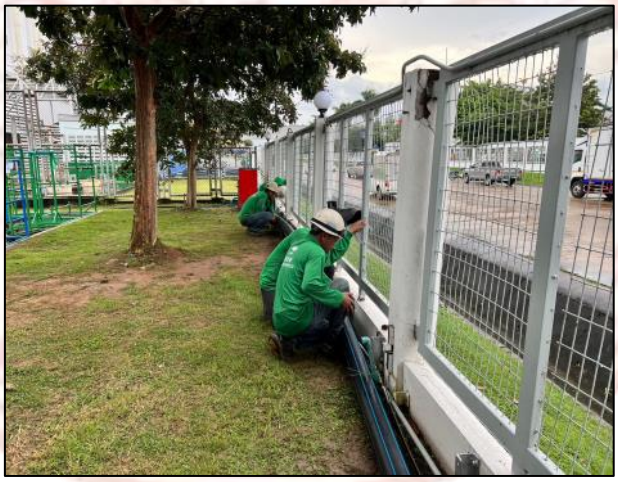


ภาพที่ 3-12 ภาพแสดงรายละเอียดเส้นทางการเดินท่อส่งน้ำเสียโดยแบ่งเป็น 7 ช่วง

1. ช่วงของเส้นทางการเดินท่อส่งน้ำเสียหมายเลข 1 ถึง หมายเลข 2 รายละเอียดของงานในช่วงนี้คือการติดตั้งปั๊มน้ำเสียใหม่จำนวน 2 ชุดและเชื่อมต่อท่อจากปั๊มไปยังท่อส่งน้ำเสียในช่วงที่ 2 ต่อไป โดยการดำเนินงานในช่วงที่ 1 มีระยะทาง 32.2 เมตร

ภาพที่ 3-13 ภาพการดำเนินงานติดตั้งปั๊มน้ำเสีย EBARA รุ่น 65x50 FS2HA5 ที่บริเวณระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2

2. การดำเนินงานในช่วงของเส้นทางการเดินท่อส่งน้ำเสียหมายเลข 2 ถึง หมายเลข 3 รายละเอียดของงานเดินท่อในช่วงนี้คือ งานเดินระบบท่อส่งน้ำเสียตามแนวรั้วของโรงงานผลิตที่ 2 ของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งมีระยะทาง 54 เมตร



ภาพที่ 3-14 ภาพการดำเนินงานวางระบบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 2 ถึง หมายเลข 3

3. การดำเนินงานในช่วงของเส้นทางการเดินท่อส่งน้ำเสียหมายเลข 3 ถึง หมายเลข 4 รายละเอียดของงานเดินท่อในช่วงนี้คือการวางแนวท่อส่งน้ำเสียข้ามแนวถนนภายในโรงงานผลิตที่ 2 ตามที่ได้ออกแบบไว้ในข้อที่ 3.5.3 ซึ่งมีระยะทาง 12.4 เมตร

ภาพที่ 3-15 ภาพการดำเนินงานวางระบบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 2 ถึง หมายเลข 3

4. การดำเนินงานในช่วงของเส้นทางการเดินท่อส่งน้ำเสียหมายเลข 4 ถึง หมายเลข 5 รายละเอียดของงานเดินท่อในช่วงนี้คือการวางแนวท่อส่งน้ำเสียผ่านทางรางระบายน้ำฝนด้านที่ติดกับอาคารเก็บสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งมีระยะทาง 200 เมตร

ภาพที่ 3-16 ภาพการดำเนินงานวางระบบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 4 ถึง หมายเลข 5

ภาพที่ 3-17 ภาพการดำเนินงานติดตั้งจุดตรวจสอบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 4 ถึง หมายเลข 5

5. ช่วงของเส้นทางการเดินท่อส่งน้ำเสียหมายเลข 5 ถึง หมายเลข 6 รายละเอียดของงานเดินท่อในช่วงนี้คือ งานเดินท่อส่งน้ำเสียข้ามถนนจากฝั่งโรงงานผลิตที่ 2 มายังฝั่งโรงงานผลิตที่ 1 โดยจะมีการวางระบบท่อส่งน้ำเสียมาตามแนวสายพานลำเลียงสินค้าของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งมีระยะทาง 47.3 เมตร

ภาพที่ 3-18 ภาพการดำเนินงานวางระบบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 5 ถึง หมายเลข 6

ภาพที่ 3-19 ภาพการดำเนินงานติดตั้งท่อส่งน้ำเสียภายในพื้นที่ไลน์สายพานลำเลียงสินค้า

6. ช่วงของเส้นทางการเดินท่อส่งน้ำเสียหมายเลข 6 ถึง หมายเลข 7 รายละเอียดของงานเดินท่อในช่วงนี้คือ งานเดินระบบท่อส่งน้ำเสียต่อจากช่วงสายพานลำเลียงสินค้ามายังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 ซึ่งมีระยะทาง 42 เมตร

ภาพที่ 3-20 ภาพการดำเนินงานวางระบบท่อส่งน้ำเสียในเส้นทางหมายเลข 6 ถึง หมายเลข 7

7. จากนั้นจึงได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ Flow Meter เพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลการส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 (ภาพที่ 3-30) และเดินท่อส่งน้ำเสียส่งต่อเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 มีระยะทาง 32.1 เมตร

ภาพที่ 3-21 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow Meter) รุ่น MAG5100W with MAG6000

8. หลังจากทำการติดตั้งอุปกรณ์และระบบท่อส่งน้ำเสียเรียบร้อยแล้วผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบการรั่วไหลของระบบท่อโดยวิธีการเพิ่มแรงดันอากาศเข้าไปภายในเส้นท่อที่ระดับ 3.5 บาร์ เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมงจากผลการทดสอบพบว่าไม่พบจุดรั่วไหลในระบบท่อส่งน้ำเสียตลอดทั้งช่วง ตามภาพที่ 3-31

Test Pressure : 3.5 Bar
Type of Pipeline : HDPE Pipe
Result of Inspection

No.	Time	Picture	Pressure (Bar)	Holding Time (minutes)	Test Result	
					Accept	Leak
1	10:00 AM		Fill the air full pipeline	-	☑	☐
2	10:45 AM		3.5	30	☑	☐
3	11:15 AM		3.5	30	☑	☐
4	11:45 AM		3.5	30	☑	☐
5	12:15 PM		3.5	30	☑	☐
6	1:15 PM		3.5	60	☑	☐

Pressure at End of Test : 3.5 Bar
Total Elapsed Time of Test : 3.0 hr

ภาพที่ 3-22 รายงานผลการทดสอบการรั่วไหลของระบบท่อส่งน้ำเสียของโครงการฯ

ตารางที่ 3-12 สรุประยะทางการเดินท่อส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 ถึง โรงงานผลิตที่ 1

ลำดับ	จุดเดินท่อต้นทาง	จุดเดินท่อปลายทาง	ระยะทาง (เมตร)
ก)	จุดที่ 1	จุดที่ 2	60.3
ข)	จุดที่ 2	จุดที่ 3	215
ค)	จุดที่ 3	จุดที่ 4	80
ง)	จุดที่ 4	จุดที่ 5	78
รวม (เมตร)			**433.3**

3.6 แผนการดำเนินโครงการ

ผู้วิจัยได้กำหนดแผนการดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียโดยมีกำหนดการในการดำเนินงานดังตารางที่ 3-13

ตารางที่ 3-13 แผนการดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสีย

ลำดับ	รายละเอียดการดำเนินโครงการ	กำหนดการดำเนินงานในปี 2566						ผู้รับผิดชอบ
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	
1	การศึกษาสภาพการดำเนินงานในปัจจุบัน	←	→					รัฐไกร
2	การศึกษาหาต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย	←	→					รัฐไกร
3	การวิเคราะห์หาสาเหตุและความสูญเปล่าที่เป็นปัญหาให้ค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียสูง		←	→				รัฐไกร
4	การศึกษาหาวิธีการลดต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย			←	→			รัฐไกร
5	การดำเนินการแก้ไขเพื่อลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา				←	—	→	รัฐไกร

3.7 สรุปผลการดำเนินการ

โครงการวิจัยนี้ใช้เวลาในการดำเนินงานตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายน ปี 2566 เป็นระยะเวลารวมทั้งสิ้น 182 วัน นับตั้งแต่การดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการศึกษาสภาพการดำเนินงานในปัจจุบัน การศึกษาหาต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 โรงงานผลิต การวิเคราะห์หาสาเหตุและความสูญเปล่าที่เป็นปัญหาให้ค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียสูงซึ่งผู้วิจัยมุ่งเน้นไปที่การดำเนินงานให้เป็นไปตามวิธีมาตรฐานในด้านการควบคุมการเติมสารเคมีในระบบบำบัดให้มีความเหมาะสม การควบคุมปริมาณการใช้สารเคมี การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งพบว่าไม่สามารถตอบสนองต่อเป้าหมายในการลดค่าใช้จ่ายลงให้ได้ 30% เนื่องจากยังคงมีค่าใช้จ่ายคงที่ จากนั้นจึงได้ศึกษาหาวิธีการลดต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการออกแบบโครงการระบบท่อส่งน้ำเสีย ตลอดจนการดำเนินการแก้ไขเพื่อลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา หลังจากนี้ผู้วิจัยจะนำข้อมูลผลการดำเนินงานศึกษาวิจัยมาอธิบายอย่างละเอียดในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4
ผลการศึกษาวิจัยทดลอง

การดำเนินการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาวิธีการในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 จากเดิมที่มีค่าใช้จ่าย 4,285,427 บาทต่อปี ให้ลดลงอย่างน้อย 30%หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายประมาน 1,285,628 บาทต่อปี โดยมีวิธีการแก้ไขในด้านการปรับปรุงกระบวนการใช้สารเคมีที่ระบบบำบัดน้ำเสียให้เหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐานตามหลักทฤษฎีของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีอันได้แก่การจัดอบรมให้ความรู้ในการเติมสารเคมีแก่พนักงานที่ประจำระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 รวมถึงมีการดำเนินการจัดทำเอกสารมาตรฐานในการเติมสารเคมี การควบคุมปริมาณการเติมสารเคมีให้เหมาะสมและจัดให้มีระบบเอกสารบันทึกปริมาณการใช้สารเคมีในแต่ละวันเพื่อทวนสอบการปฏิบัติงานตลอดจนการกำหนดให้มีการปิดระบบบำบัดน้ำเสียในช่วงที่ไม่มีการผลิตเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแม้ว่าผู้วิจัยจะมีการดำเนินการตามที่กล่าวข้างต้นก็ยังพบว่าไม่สามารถลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียลงตามเป้าหมายที่ได้วางไว้ด้วยสาเหตุอันเนื่องมาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 ยังคงมีค่าใช้จ่ายคงที่อันได้แก่ค่าสารเคมี ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย และค่าไฟฟ้าเป็นต้น ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิธีการลดต้นทุนอื่นเพิ่มเติมอันได้แก่ การออกแบบและดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียเพื่อนำน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานผลิตที่ 2 ส่งไปบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 เพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายในด้านการลดต้นทุนของระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา ดังนั้นในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงผลของการศึกษาวิจัยทดลองในด้านการลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียจากการดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียที่แล้วเสร็จ

4.1 ผลการดำเนินการลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสีย

4.1.1 ผลของการดำเนินการแก้ไขเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียก่อนการแก้ไขพบว่าบริษัทมีต้นทุนด้านสารเคมีที่ใช้ที่ระบบบำบัดน้ำเสียสูงถึง 173,527 บาทต่อเดือน หลังจากที่มีการกำหนดมาตรฐานในการเติมสารเคมีและการทำงานในแต่ละวันเพื่อให้พนักงานประจำระบบบำบัดน้ำเสียสามารถควบคุมการใช้สารเคมีที่เหมาะสมได้และเมื่อได้ดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 เสร็จสมบูรณ์จึงได้ทำการทดลองระบบส่งน้ำเสียในแต่ละวันและทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้สารเคมีของระบบบำบัดโรงงานผลิตที่ 1 พบว่ามีปริมาณน้ำเข้าที่เพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากน้ำเสียที่ถูกส่งมาจากโรงงานผลิตที่ 2 โดยก่อนการ

ปรับปรุงที่ระบบบำบัดของโรงงานผลิตที่ 1 มีน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ย 4,272 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือนและหลังจากที่รวมระบบบำบัดน้ำเสียแล้วเสร็จส่งผลให้โรงงานผลิตที่ 1 มีน้ำเสียเข้าระบบบำบัดเฉลี่ย 6,451 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือนเมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำเสียขาเข้าหลังการปรับปรุงเฉลี่ยจะพบว่าที่วันทำงาน 21 วันต่อเดือนจะมีปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัดบำบัดอยู่ที่ 307 ลูกบาศก์เมตรต่อวันพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ระบบบำบัดของโรงงานผลิตที่ 1 ที่มีการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียได้สูงสุด 450 ลูกบาศก์เมตรต่อวันตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ภาพที่ 3-3 และเมื่อพิจารณาในส่วนของการใช้สารเคมีที่เพิ่มมากขึ้นของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 จะพบว่ามีการใช้สารเคมีเฉลี่ยต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรเพิ่มขึ้นดังนี้ Poly Aluminum Chloride (PAC) ก่อนการปรับปรุงมีอัตราการใช้เฉลี่ย 1.104 ลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรภายหลังการปรับปรุงมีอัตราการใช้เฉลี่ย 1.325 ลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร, Sodium Hydroxide (NaOH) ก่อนการปรับปรุงมีอัตราการใช้เฉลี่ย 0.552 ลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรภายหลังการปรับปรุงมีอัตราการใช้เฉลี่ย 0.718 ลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรและ Polymer ก่อนการปรับปรุงมีอัตราการใช้เฉลี่ย 0.005 กิโลกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรภายหลังการปรับปรุงมีอัตราการใช้เฉลี่ย 0.005 กิโลกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรโดยสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของสารเคมีที่ใช้มาจากความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของน้ำเสียจากกระบวนการล้างชิ้นงานเหล็กของโรงงานผลิตที่ 2 ซึ่งมีความสกปรกและมีการปนเปื้อนสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตและมักมีค่าเป็นด่าง

ภาพที่ 4-1 ตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนล้างชิ้นงานแผ่นเหล็กของโรงงานผลิตที่ 2

เนื่องจากโรงงานผลิตที่ 1 มีการใช้สารเคมีในการสร้างตะกอนคือโพลีอลูมินัมคลอไรด์ (PAC) ซึ่งมีความเป็นกรดโดยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 3.5-5 และมีช่วงการทำงานที่เหมาะสมคือค่า pH ในน้ำเสียอยู่ระหว่าง 5.5 – 8.0 อ้างอิงจากค่ามาตรฐานที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ตารางที่ 2-5 เมื่อพิจารณา

จะพบว่าสารโพลีอลูมินัมคลอไรด์ (PAC) เป็นสารที่สามารถนำมาใช้ปรับค่า pH ในน้ำเสียขาเข้าของระบบได้ผู้วิจัยจึงได้พิจารณากำหนดวิธีการทำงานและค่ามาตรฐานของการใช้สารโพลีอลูมินัมคลอไรด์ (PAC) เพื่อให้มีการใช้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพโดยกำหนดให้ในแต่วันช่วงเวลา 08.00 – 08.30 น. พนักงานประจำระบบบำบัดจะต้องทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียขาเข้าระบบที่จุด V-Notch ปริมาตรประมาณ 100 มิลลิลิตรด้วยบีกเกอร์พลาสติกที่เตรียมไว้และตรวจวัดค่า pH ด้วยกระดาษลิตมัสและทำการเทียบสีเพื่อดูว่า ณ ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียมีค่า pH เท่าใดโดยการพิจารณาเป็นไปตามมาตรฐานของค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับสารโพลีอลูมินัมคลอไรด์ (PAC) โดยหากน้ำขาเข้ามีค่า pH เป็นกลางค่อนไปทางกรดอ่อนคือมีค่า pH อยู่ระหว่าง 5-7 ให้ทำการตรวจสอบการเติมสารเคมีที่ปั๊มเติมสารเคมีโดยปรับตั้งค่าไว้ที่อัตราการเติมปกติที่ 10% ของสโตรกปั๊ม หากค่า pH ของน้ำเสียขาเข้าเริ่มสูงขึ้นคือมีค่าความเป็นด่างมากขึ้นโดยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 8-10 ให้ทำการตรวจสอบการเติมสารเคมีที่ปั๊มเติมสารเคมีโดยปรับตั้งค่าไว้ที่อัตราการเติมสารเคมีเพิ่มขึ้นที่ 30% ของสโตรกปั๊ม หากค่า pH ของน้ำเสียขาเข้าเริ่มสูงขึ้นคือมีค่าความเป็นด่างมากขึ้นโดยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 11-14 ให้ทำการตรวจสอบการเติมสารเคมีที่ปั๊มเติมสารเคมีโดยปรับตั้งค่าไว้ที่อัตราการเติมสารเคมีเพิ่มขึ้นที่ 50% ของสโตรกปั๊ม จากนั้นพนักงานประจำระบบบำบัดจะทำการอ่านค่า pH ในถังปฏิกิริยาหมายเลข 1 จากหัววัดค่า pH แบบอัตโนมัติที่ติดตั้งอยู่ในถังปฏิกิริยาหมายเลข 1 หากค่า pH กลับมาที่สภาวะปกติคือ ค่า pH อยู่ระหว่าง 5-7 ก็ให้ปรับตั้งค่าปั๊มสารเคมีไว้ที่อัตราการเติมปกติคือ 10% ของสโตรกปั๊มตามที่ระบุไว้ในเอกสารมาตรฐานเลขที่ 13-G-02-0001 ชื่อระเบียบปฏิบัติของฝ่ายวิศวกรรมโรงงานและการจัดการสิ่งแวดล้อม เรื่องการดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียตามภาพที่ 4-2 และนำไปติดตั้งไว้ที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 รวมถึงมีการกำหนดให้พนักงานทำการบันทึกค่า pH ของน้ำเสียขาเข้าไว้ในเอกสารบันทึกคุณภาพที่กำหนดไว้ตามภาพที่ 4-5

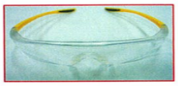
ระเบียบปฏิบัติของฝ่ายวิศวกรรมโรงงานและการจัดการสิ่งแวดล้อม

ประกาศใช้	การดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย	ประเภทและหมายเลข	หน้า
2 - 8 - 99		13 - G - 02 - 0001	4/7

มาตรฐานการปรับอัตราการ Feed สารเคมี โดยพิจารณาจากค่า pH ของน้ำเสียขาเข้า

อุปกรณ์ PPE

1. ถุงมือป้องกันสารเคมี



2. แว่นกันสารเคมี

3. ผ้าปิดจมูก

<u>วิธีการทำงาน</u>

1. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียขาเข้าในแต่ละวัน โดยใช้ที่ตักน้ำเสียที่เตรียมไว้ ทำการตักน้ำตัวอย่างประมาน 100 มล.
2. ทำการตรวจวัดค่า pH โดยใช้กระดาษลิตมัสจุ่มลงในน้ำเสียและเทียบสีกับตารางสีมาตรฐานที่กล่อง

การอ่านค่า pH จากกล่องกระดาษลิตมัส
ค่า pH ตั้งแต่ 0 - 6 แสดงว่าน้ำเสียมีค่าเป็นกรด
ค่า pH เท่ากับ 7 แสดงว่าน้ำเสียมีค่าเป็นกลาง
ค่า pH ตั้งแต่ 8 - 14 แสดงว่าน้ำเสียมีค่าเป็นด่าง

3. นำค่า pH ที่ได้มาเทียบกับตารางและปรับอัตราการ Feed PAC ที่ปั๊มสารเคมี ดังนี้

ค่า pH	การดำเนินการ	การควบคุมการ Feed PAC
1-7	หมุนปุ่มปรับระดับไปที่ 10% ของสโตรกปั๊ม	สังเกตุค่า pH ที่ถังปฏิกิริยาหมายเลข 1 หากค่า pH ลดลงมาอยู่ที่ ระดับ 5 ให้หมุนปุ่มปรับระดับไปที่ 10% ของสโตรกปั๊มตามเดิม
8-10	หมุนปุ่มปรับระดับไปที่ 30% ของสโตรกปั๊ม	
11-14	หมุนปุ่มปรับระดับไปที่ 50% ของสโตรกปั๊ม	

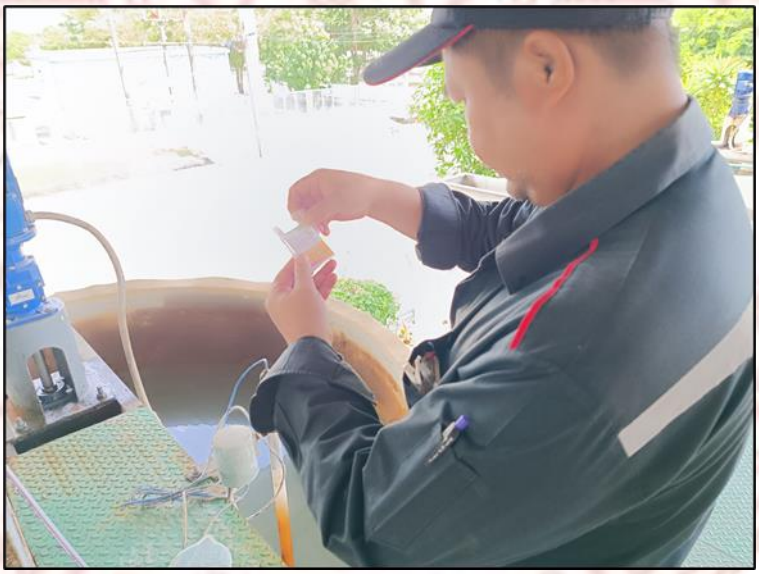
หมายเหตุ : หากพบความผิดปกติของอุปกรณ์ต้องแจ้งหัวหน้างาน/ผู้จัดการทันที

ปุ่มหมุนเพื่อปรับอัตราการ Feed สารเคมี

บริษัท อา

ภาพที่ 4-2 เอกสารระเบียบปฏิบัติในการดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย (การปรับอัตราการใช้สารเคมีโดยพิจารณาจากค่า pH ของน้ำเข้า)

ภาพที่ 4-3 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ประจำวัน



ภาพที่ 4-4 การตรวจวัดค่า pH ด้วยกระดาษลิตมัส

รอบ.....

PLANT OPERATION

APPROVER	CHECKED	ISSUED

ผู้รายงาน หัวหน้าสาย หัวหน้าหน่วย ผู้จัดการ

วันที่	I Ph Control Tank 1	2 pH Tank 2	Floccukation Tank 3		Sedimentation Tank (ใหญ่)		ถังกรอง No.1 แรงดัน (Kg/cm)		ถังกรอง No.2 แรงดัน (Kg/cm)		Final pH Control
	น้ำเข้า	(โซดาไฟ)	ถังรวมตะกอน		ถังรวมตะกอน		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำออกเขต
	PH (4-9)	PH (5-9)	ปกติ	ผิดปกติ	ปกติ	ผิดปกติ	ไม่เกิน 2 KG	ไม่เกิน 1 KG	ไม่เกิน 2 KG	ไม่เกิน 1 KG	PH (5.5-8.5)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											

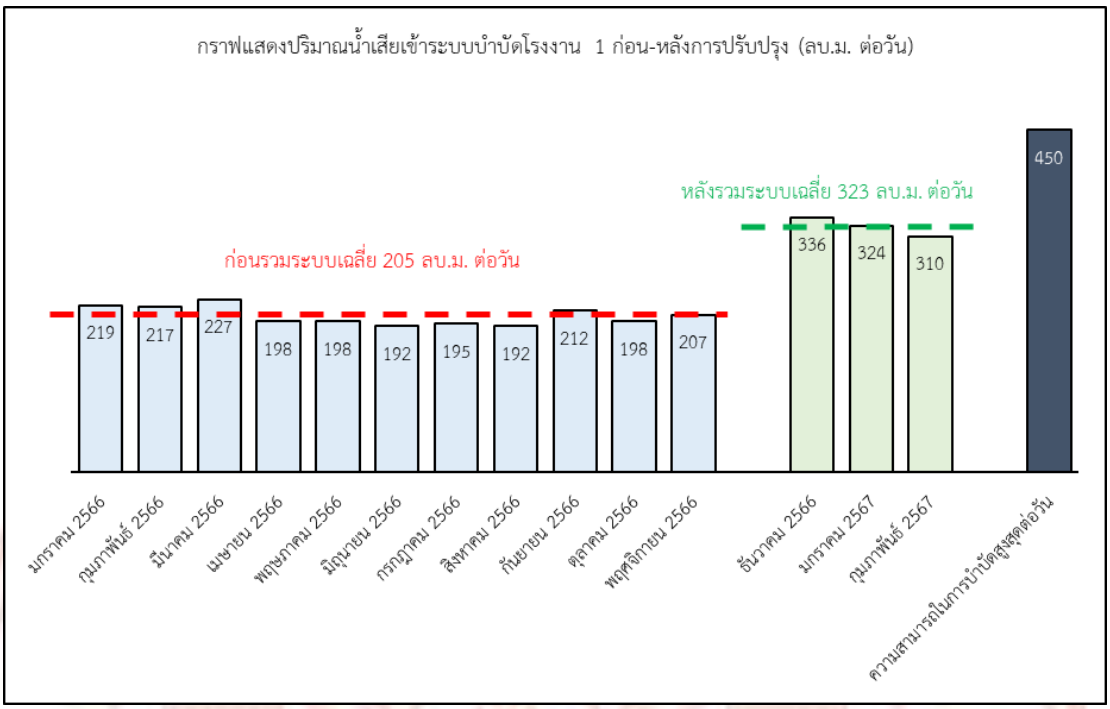
ภาพที่ 4-5 เอกสารจดบันทึกค่า pH

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลปริมาณการใช้สารเคมีของระบบบำบัดโรงงานผลิตที่ 1 ก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุง	เดือน	ปริมานน้ำเข้าระบบบำบัด	ชนิดและปริมานสารเคมีที่ใช้ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 1		
			Poly Aluminum Chloride (PAC)	Sodium Hydroxide (NaOH)	Polymer
		ลูกบาศก์เมตร/เดือน	ลิตร/เดือน	ลิตร/เดือน	กิโลกรัม/เดือน
ก่อนการปรับปรุง	มกราคม 2566	4,599	5,077	2,538	22
	กุมภาพันธ์ 2566	4,557	5,030	2,515	22
	มีนาคม 2566	4,994	5,513	2,756	24
	เมษายน 2566	3,762	4,153	2,076	18
	พฤษภาคม 2566	4,356	4,809	2,404	21
	มิถุนายน 2566	4,224	4,663	2,331	20
	กรกฎาคม 2566	3,705	4,090	2,045	18
	สิงหาคม 2566	4,032	4,451	2,225	19
	กันยายน 2566	4,452	4,915	2,457	21
	ตุลาคม 2566	3,960	4,371	2,186	19
	พฤศจิกายน 2566	4,347	4,799	2,399	21
	เฉลี่ย	**4,272**	**4,715**	**2,358**	**20**
	ปริมานการใช้สารเคมีต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม. ก่อนการปรับปรุง		**1.104**	**0.552**	**0.005**

หลังการปรับปรุง	เดือน	ปริมานน้ำเข้าระบบบำบัด	ชนิดและปริมานสารเคมีที่ใช้ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 1		
			Poly Aluminum Chloride (PAC)	Sodium Hydroxide (NaOH)	Polymer
		ลูกบาศก์เมตร/เดือน	ลิตร/เดือน	ลิตร/เดือน	กิโลกรัม/เดือน
หลังการปรับปรุง	ธันวาคม 2566	6,040	8,001	4,334	32
	มกราคม 2567	6,804	9,013	4,882	36
	กุมภาพันธ์ 2567	6,510	8,624	4,671	34
	เฉลี่ย	**6,451**	**8,546**	**4,629**	**34**
	ปริมานการใช้สารเคมีต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม. หลังการปรับปรุง		**1.325**	**0.718**	**0.005**

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4-1 ในส่วนของปริมาณน้ำเสียขาเข้าระบบบำบัดพบว่ามีน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดโรงงาน 1 มากขึ้นเมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำเสียขาเข้าหลังการปรับปรุงเฉลี่ยจะพบว่ามีปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัดเฉลี่ยอยู่ที่ 323 ลูกบาศก์เมตรต่อวันแสดงว่าปริมาณน้ำเสียอยู่ในปริมาณที่โรงงานผลิตที่ 1 มีการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียได้สูงสุด 450 ลูกบาศก์เมตรต่อวันตามภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 กราฟแสดงปริมาณน้ำเสียเข้าระบบบำบัดโรงงาน 1 ก่อน-หลังการปรับปรุง (ลบ.ม. ต่อวัน)

และหากพิจารณาด้านการใช้สารเคมีโดยนำค่าปริมาณการใช้สารเคมีแต่ละละชนิดได้แก่ Poly Aluminum Chloride (PAC), Sodium Hydroxide (NaOH) และ Polymer ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรหลังการปรับปรุงไปเปรียบเทียบกับเอกสารมาตรฐานเลขที่ 13-G-02-0001 ชื่อระเบียบปฏิบัติของฝ่ายวิศวกรรมโรงงานและการจัดการสิ่งแวดล้อม เรื่องการดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย จะพบว่าถึงแม้จะมีปริมาณน้ำเสียที่ส่งมาเพิ่มขึ้นจากโรงงานผลิต ที่ 2 แต่พนักงานประจำระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 ยังคงสามารถควบคุมการใช้สารเคมีอยู่ในค่ามาตรฐานของการดำเนินงานที่กำหนดไว้ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในด้านสารเคมีลดลงเหลือเพียง 141,929 บาทต่อเดือนหรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 18.2โดยการเปรียบเทียบอัตราสารเคมีที่ใช้ภายหลังการปรับปรุงกับค่ามาตรฐานแสดงไว้ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ตารางเปรียบเทียบอัตราสารเคมีที่ใช้ภายหลังการปรับปรุงกับค่ามาตรฐาน

ลำดับ	สารเคมี	ปริมาณการใช้เฉลี่ยเดือน ธ.ค. 2566 - ก.พ. 2567					
		มาตรฐานการใช้สารเคมีที่กำหนดในเอกสารมาตรฐานเลขที่ 13-G-02-001	ธ.ค. 2566	ม.ค. 2567	ก.พ. 2567	เฉลี่ย	หน่วย
1	แพค (PAC)	ไม่เกิน 1.5	1.3	1.3	1.3	1.3	ลิตร/ลบ.ม.
2	โซดาไฟ (NaOH)	ไม่เกิน 0.8	0.64	0.72	0.72	0.69	ลิตร/ลบ.ม.
3	โพลิเมอร์	ไม่เกิน 0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	กก./ลบ.ม.

และจากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัดไปตรวจยังห้องปฏิบัติการเอกชนตามข้อกำหนดของเขตอุตสาหกรรมกบินทร์บุรีพบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่กำหนดดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ตารางผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำเสียหลังการปรับปรุง

ลำดับ	พารามิเตอร์ที่ควบคุม	หน่วย	มาตรฐานของเขตประกอบการอุตสาหกรรม	ผลการทดสอบคุณภาพน้ำเสียหลังการปรับปรุง				การพิจารณา
				เดือน ธ.ค.66	เดือน ม.ค.67	เดือน ก.พ.67	เฉลี่ย	
1	ค่า pH	pH	ต้องอยู่ระหว่าง 5-9	8.1	7.9	7.7	7.90	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
2	ค่าของแข็งในน้ำเสีย (SS)	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 200	51	24	51	42.00	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
3	ค่า COD	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 750	17	22	45	28.00	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
4	ค่า BOD	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 500	22	18	59.5	33.17	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
5	ค่า Oil and Grease	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 10	3.6	4.2	4.4	4.1	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
6	ค่า Zinc (Zn)	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 500	0.19	0.03	0.09	0.10	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
7	ค่า Barium (Ba)	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 1.0	0.03	0.06	0.07	<0.3	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
8	ค่า Nickel (Ni)	มล.ก./ลิตร	ต้องไม่เกิน 0.2	0.007	0.01	0.05	0.02	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ภาพที่ 4-7 การจดบันทึกการใช้สารเคมีประจำวันที่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 1

4.1.2 ผลของการดำเนินการแก้ไขเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านการกำจัดกากตะกอนน้ำเสีย เมื่อได้ดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 แล้วเสร็จ ส่งผลให้ต้นทุนในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียโดยรวมลดลงเนื่องจากไม่มีการเดินระบบบำบัดที่โรงงานผลิตที่ 2 จึงไม่จำเป็นต้องส่งตะกอนแบบเปียกที่มีต้นทุนสูงออกไปกำจัดตามวิธีการเดิมซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงมากถึง 89,423 บาทต่อเดือนโดยผู้วิจัยกำหนดให้ส่งน้ำเสียมาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 ซึ่งมีเครื่องจักรที่สามารถรีดตะกอนได้มีประสิทธิภาพมากกว่าส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงเหลือเพียง 32,024 บาทต่อเดือน หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 64.18

ภาพที่ 4-8 เครื่องรีดตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตที่ 1

4.1.3 ผลของการดำเนินการแก้ไขเพื่อลดค่าใช้จ่ายในด้านค่าแรงคนงานประจำระบบบำบัดน้ำเสีย ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียก่อนการปรับปรุงของบริษัทที่มีความซ้ำซ้อนโดยมีการเดินระบบพร้อมกันทั้ง 2 โรงงานผลิตส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในด้านค่าแรงคนงานประจำระบบบำบัดน้ำเสียสูงมากเพราะต้องจ้างพนักงานถึง 2 คนโดยคิดเป็นค่าจ้างเฉลี่ย 62,726 บาทต่อเดือนดังนั้นเมื่อผู้วิจัยได้ดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียแล้วเสร็จจึงส่งผลให้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องจัดให้มีพนักงานประจำที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 อีกต่อไปทำให้บริษัทสามารถลดต้นทุนในด้านค่าจ้างลงได้เหลือเพียง 32,043 บาทต่อเดือน หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 48.92

4.1.4 ผลของการดำเนินการแก้ไขปัญหาเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า การหยุดเดินระบบบำบัดน้ำเสียที่โรงงานผลิตที่ 2 ส่งผลให้ภาพรวมของการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียของบริษัทลดลงโดยก่อนการปรับปรุงบริษัทมีการเดินระบบบำบัดน้ำเสียพร้อมกันทั้ง 2 ระบบส่งผลให้มีต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าสูงถึง 32,704 บาทต่อเดือน และภายหลังจากการดำเนินกิจกรรมลดต้นพบว่าค่าไฟฟ้าของระบบบำบัดลดลงเหลือเพียง 23,830 บาทต่อเดือนหรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 27.13

4.1.5 ผลของการดำเนินการแก้ไขปัญหาเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย เนื่องจากต้องทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและภายหลังจากการบำบัดตามที่กฎหมายกำหนดทำให้มีต้นทุนค่าตรวจวิเคราะห์สูงโดยก่อนการปรับปรุงบริษัทมีต้นทุนในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเฉลี่ย 14,940 บาท/เดือน หลังจากดำเนินกิจกรรมการลดต้นทุนส่งผลให้สามารถหยุดการเดินระบบบำบัดน้ำเสียลงได้ 1 ระบบส่งผลให้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและภายหลังจากการบำบัดทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงเหลือเพียง 7,470 บาทต่อเดือนหรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 50

4.1.6 ผลจากการดำเนินการแก้ไขปัญหาเพื่อลดค่าใช้จ่ายในด้านค่าซ่อมบำรุง ก่อนการปรับปรุงบริษัทมีต้นทุนในด้านงานซ่อมบำรุงของระบบบำบัดทั้ง 2 โรงงานผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 6,909 บาทต่อเดือน และหลังจากดำเนินกิจกรรมการลดต้นทุนพบว่าสามารถลดต้นทุนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่ใช้งานในระบบบำบัดของโรงงานผลิตที่ 2 ได้ทั้งหมดหรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 100

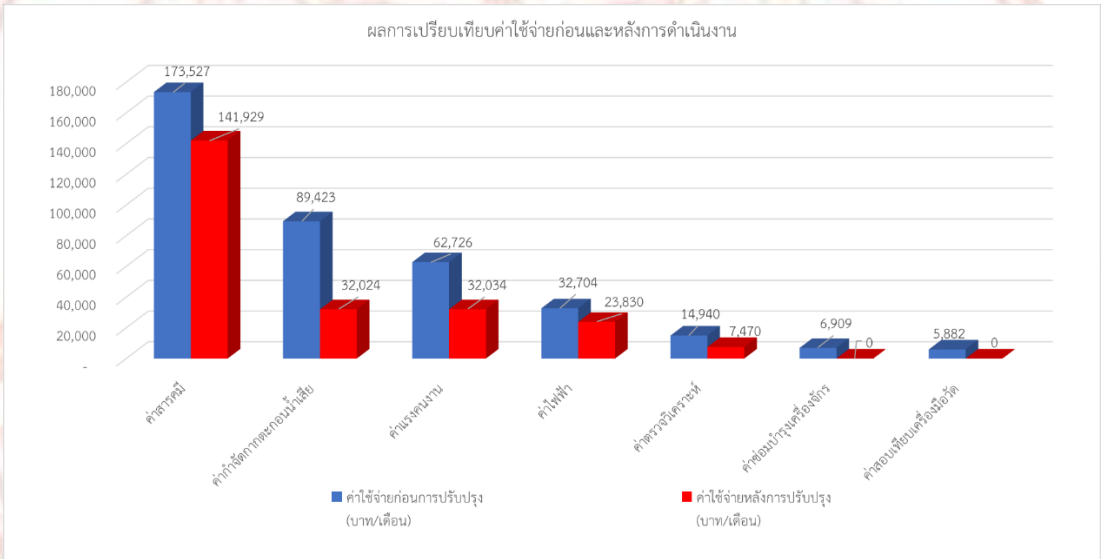
4.1.7 ผลจากการดำเนินการแก้ไขปัญหาเพื่อลดค่าใช้จ่ายในด้านค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด เนื่องจากภายในระบบบำบัดจะต้องมีการติดตั้งเครื่องมือวัดค่า pH เพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดดังนั้นบริษัทจึงจำเป็นจะต้องสอบเทียบเครื่องมือวัดค่า pH ที่มีอยู่เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือสามารถวัดค่าได้อย่างถูกต้องแม่นยำและเนื่องจากก่อนการปรับปรุงบริษัทมีการเดินระบบบำบัดทั้ง 2 ระบบทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดทั้งหมดส่งผลให้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายเฉลี่ยอยู่ที่ 5,882 บาทต่อเดือนโดยภายหลังจากการดำเนินกิจกรรมลดต้นทุนแล้วเสร็จส่งผลให้บริษัทไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดค่า pH ที่ระบบบำบัดของโรงงานผลิตที่ 2 จึงทำให้สามารถลดต้นทุนในส่วนนี้ลงได้ทั้งหมดหรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 100 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายก่อนและหลังการปรับปรุงในแต่ละหัวข้อการประเมินแสดงไว้ในตารางที่ 4-4 และดังภาพที่ 4-9

ตารางที่ 4-4 ตารางผลของการดำเนินการแก้ไขเพื่อลดค่าใช้จ่าย

หัวข้อประเมิน	ผลการเปรียบเทียบ	
	ก่อนการปรับปรุง (ม.ค.2566 - พ.ย.2566)	**หลังการปรับปรุง (ธ.ค.2566 - ก.พ.2567)**
ค่าสารเคมี	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเดือนละ 173,527 บาท เนื่องจากมีการเดินระบบบำบัด 2 โรงงาน และไม่มีมาตรฐานในการควบคุมการเติมสารเคมีที่โรงงานผลิตที่ 2	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยลดลงเหลือเดือนละ 141,929 บาท จากการดำเนินการปรับปรุงวิธีการทำงานและการกำหนดมาตรฐานในการเติมสารเคมีและการควบคุมด้วยเอกสารควบคุมการทำงาน
ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเดือนละ 89,423 บาทเนื่องจากเครื่องรีดตะกอนน้ำเสียชำรุดที่โรงงานผลิตที่ 2 จึงต้องมีการส่งตะกอนแบบเปียกออกไปกำจัดทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยลดลงเหลือเดือนละ 32,024 บาท เนื่องจากมีการส่งน้ำเสียมาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 ที่มีเครื่องรีดตะกอนที่มีประสทิธิภาพสูงกว่าทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลงได้
ค่าแรงคนงาน	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเดือนละ 62,726 บาท เนื่องจากใช้พนักงาน 2 คนทำงานคนละโรงงานผลิต	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยลดลงเหลือเดือนละ 32,034 บาท เนื่องจากลดพนักงานประจำระบบบำบัดเหลือเพียง 1 คน
ค่าไฟฟ้า	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเดือนละ 32,704 บาท เนื่องจากมีการเดินระบบบำบัดน้ำเสียพร้อมกันทั้ง 2 โรงงาน	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยลดลงเหลือเดือนละ 23,830 บาทเนื่องจากหยุดการเดินระบบบำบัดน้ำเสียที่โรงงานผลิตที่ 2
ค่าตรวจวิเคราะห์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเดือนละ 14,940 บาท เนื่องจากมีการตรวจวิเคราะห์ค่าน้ำเสียขาเข้าและขาออกจากระบบบำบัดที่ซ้ำซ้อนกันโดยมีการตรวจทั้ง 2 ระบบ	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยลดลงเหลือ เดือนละ 7,470 บาทเนื่องจากลดการตรวจลงเหลือเพียง 1 ระบบ

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

หัวข้อประเมิน	ผลการเปรียบเทียบ	
	ก่อนการปรับปรุง (ม.ค.2566 - พ.ย.2566)	หลังการปรับปรุง (ธ.ค.2566 - ก.พ.2567)
ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเดือนละ 6,909 บาท เนื่องจากมีการซ่อมบำรุงตามรอบเมื่อเดือน ก.พ., มี.ค., และ พ.ย. ของปี 2566	ไม่มีค่าใช้จ่ายเนื่องจากหยุดการเดินระบบบำบัดที่โรงงานผลิตที่ 2
ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเดือนละ 5,882 บาทเนื่องจากมีการสอบเทียบเครื่องมือวัดค่า pH ที่ซ้ำซ้อนกันโดยมีการสอบเทียบทั้ง 2 ระบบ	ไม่มีค่าใช้จ่ายเนื่องจากหยุดการเดินระบบบำบัดที่โรงงานผลิตที่ 2



ภาพที่ 4-9 แสดงภาพกราฟเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายก่อนและหลังการดำเนินงาน

ค่าใช้จ่ายหลังการปรับปรุงของโรงงานผลิตที่ 1 แสดงได้ดังตาราง 4-5 และค่าใช้จ่ายหลังการปรับปรุงของโรงงานผลิตที่ 2 แสดงได้ดังตาราง 4-6

ตารางที่ 4-5 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงานผลิตที่ 1 ก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุง	เดือน	ปริมานน้ำเข้าระบบบำบัด	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 1 (บาท/เดือน)							รวม (บาท/เดือน)
		(ลบ.ม. / เดือน)	ค่าสารคมี	ค่าแรงคนงาน	ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ค่าไฟฟ้า	ค่าตรวจวิเคราะห์	ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด	
ก่อนการปรับปรุง	มกราคม 2566	4,599	120,626	33,137	21,699	25,800	7,470	0	0	208,732
	กุมภาพันธ์ 2566	4,557	119,525	34,383	21,501	31,019	7,470	0	0	213,898
	มีนาคม 2566	4,994	130,987	28,399	23,563	25,870	7,470	25,000	0	241,288
	เมษายน 2566	3,762	98,673	31,511	17,750	25,545	7,470	0	0	180,949
	พฤษภาคม 2566	4,356	114,253	32,412	20,553	23,946	7,470	0	0	198,634
	มิถุนายน 2566	4,224	110,791	29,416	19,930	22,685	7,470	0	48,130	238,422
	กรกฎาคม 2566	3,705	97,178	33,515	17,481	26,331	7,470	0	0	181,975
	สิงหาคม 2566	4,032	105,755	29,099	19,024	29,777	7,470	0	0	191,125
	กันยายน 2566	4,452	116,771	31,412	21,006	24,163	7,470	0	0	200,821
	ตุลาคม 2566	3,960	103,866	36,889	18,684	24,005	7,470	0	0	190,915
	พฤศจิกายน 2566	4,347	114,017	36,345	20,510	20,110	7,470	35,000	0	233,453
ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (11 เดือน ก่อนทำโครงการ)		4,272	112,040	32,411	20,155	25,387	7,470	5,455	4,375	207,292

หลังการปรับปรุง	เดือน	ปริมานน้ำเข้าระบบบำบัด	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 1 (บาท/เดือน)							รวม (บาท/เดือน)
		(ลบ.ม. / เดือน)	ค่าสารคมี	ค่าแรงคนงาน	ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ค่าไฟฟ้า	ค่าตรวจวิเคราะห์	ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด	
หลังการปรับปรุง	ธันวาคม 2566	6,040	132,880	31,656	29,982	20,086	7,470	0	0	222,075
	มกราคม 2567	6,804	149,688	32,860	33,775	25,083	7,470	0	0	248,876
	กุมภาพันธ์ 2567	6,510	143,220	31,586	32,315	26,322	7,470	0	0	240,913
ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (3 เดือน หลังทำโครงการ)		6,451	141,929	32,034	32,024	23,830	7,470	0	0	237,288

จากตารางที่ 4-5 จะพบว่าภายหลังจากที่มีการดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 ส่งผลให้มีน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดโรงงาน 1 มากขึ้นเมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำเสียขาเข้าหลังการปรับปรุงเฉลี่ยจะพบว่ามีปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัดบำบัดเฉลี่ยอยู่ที่ 323 ลูกบาศก์เมตรต่อวันแสดงว่าปริมาณน้ำเสียอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เนื่องจากระบบบำบัดของโรงงานผลิตที่ 1 มีการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียได้สูงสุด 450 ลูกบาศก์เมตรต่อวันตามภาพที่ 4-6 ในด้านต้นทุนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ 1 เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจากเดิมที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเดือนละ 207,292 บาท เป็น 237,288 บาท คิดเป็นต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเดือนละ 29,996 บาท หรือคิดเป็นต้นทุนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.5 โดยต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำเสียที่ส่งมาบำบัดเพิ่มขึ้นและความเข้มข้นของน้ำเสียจากกระบวนการล้างแผ่นเหล็กของโรงงานผลิตที่ 2 ทำให้ต้องมีการใช้สารเคมีมากขึ้น

ตารางที่ 4-6 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงานผลิตที่ 2 ก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุง	เดือน	ปริมานน้ำเข้าระบบบำบัด	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 2 (บาท/เดือน)							รวม (บาท/เดือน)
		(ลบ.ม. / เดือน)	ค่าสารคมี	ค่าแรงคนงาน	ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ค่าไฟฟ้า	ค่าตรวจวิเคราะห์	ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด	
ก่อนการปรับปรุง	มกราคม 2566	2,163	56,627	27,632	63,793	7,210	7,470	0	0	162,733
	กุมภาพันธ์ 2566	2,142	56,078	28,649	63,174	8,060	7,470	16,000	0	179,431
	มีนาคม 2566	2,398	62,780	28,981	70,724	8,774	7,470	0	0	178,729
	เมษายน 2566	2,109	55,214	30,147	62,201	6,381	7,470	0	0	161,413
	พฤษภาคม 2566	2,838	74,299	31,960	83,701	7,815	7,470	0	0	205,245
	มิถุนายน 2566	2,552	66,811	30,471	75,266	8,338	7,470	0	16,575	204,932
	กรกฎาคม 2566	2,242	58,696	32,724	66,123	8,353	7,470	0	0	173,366
	สิงหาคม 2566	2,310	60,476	29,367	68,129	7,271	7,470	0	0	172,712
	กันยายน 2566	2,289	59,926	30,233	67,510	6,161	7,470	0	0	171,299
	ตุลาคม 2566	2,440	63,879	33,117	71,963	6,027	7,470	0	0	182,456
	พฤศจิกายน 2566	2,352	61,575	30,193	69,368	6,108	7,470	0	0	174,713
ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (11 เดือน ก่อนทำโครงการ)		2,349	61,487	30,316	69,268	7,318	7,470	1,455	1,507	178,821

หลังการปรับปรุง	เดือน	ปริมานน้ำเข้าระบบบำบัด	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่อเดือนของโรงงานผลิตที่ 2 (บาท/เดือน)							รวม (บาท/เดือน)
		(ลบ.ม. / เดือน)	ค่าสารคมี	ค่าแรงคนงาน	ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ค่าไฟฟ้า	ค่าตรวจวิเคราะห์	ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด	
หลังการปรับปรุง	ธันวาคม 2566	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	มกราคม 2567	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	กุมภาพันธ์ 2567	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (3 เดือน หลังทำโครงการ)		0	0	0	0	0	0	0	0	0

จากตารางที่ 4-6 จะพบว่าภายหลังจากที่มีการดำเนินโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 ส่งผลให้ต้นทุนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ 2 ลดลงโดยเฉลี่ยจากเดิมที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเดือนละ 178,821 บาท เหลือ 0 บาท คิดเป็นต้นทุนที่สามารถลดลงได้เฉลี่ยเดือนละ 178,821 บาท หรือคิดเป็นต้นทุนที่ลดลงร้อยละ 100

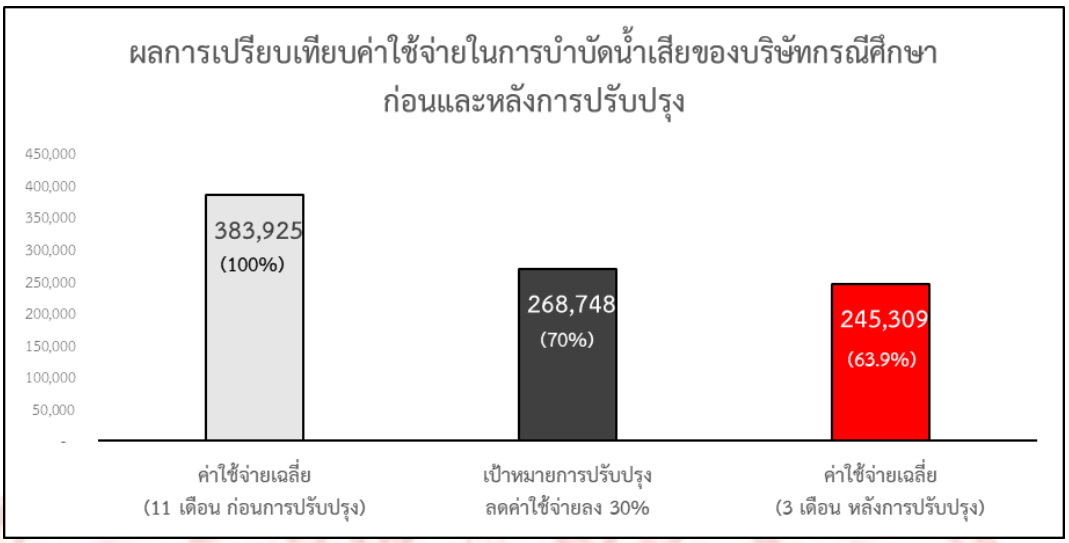
ตารางที่ 4-7 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียรวมก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุง	เดือน	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียรวมของบริษัทกรณีศึกษา (บาท/เดือน)							รวม (บาท/เดือน)
		ค่าสารคมี	ค่าแรงคนงาน	ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ค่าไฟฟ้า	ค่าตรวจวิเคราะห์	ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด	
ก่อนการปรับปรุง	มกราคม 2566	177,254	60,769	85,493	33,010	14,940	0	0	371,465
	กุมภาพันธ์ 2566	175,602	63,032	84,675	39,079	14,940	16,000	0	393,329
	มีนาคม 2566	193,766	57,379	94,287	34,644	14,940	25,000	0	420,017
	เมษายน 2566	153,886	61,658	79,951	31,926	14,940	0	0	342,361
	พฤษภาคม 2566	188,552	64,372	104,254	31,761	14,940	0	0	403,879
	มิถุนายน 2566	177,602	59,887	95,196	31,023	14,940	0	64,705	443,354
	กรกฎาคม 2566	155,873	66,239	83,605	34,684	14,940	0	0	355,340
	สิงหาคม 2566	166,230	58,465	87,153	37,049	14,940	0	0	363,837
	กันยายน 2566	176,697	61,645	88,515	30,324	14,940	0	0	372,120
	ตุลาคม 2566	167,745	70,006	90,647	30,032	14,940	0	0	373,371
	พฤศจิกายน 2566	175,592	66,538	89,878	26,218	14,940	35,000	0	408,166
ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (11 เดือน ก่อนทำโครงการ)		173,527	62,726	89,423	32,704	14,940	6,909	5,882	386,113

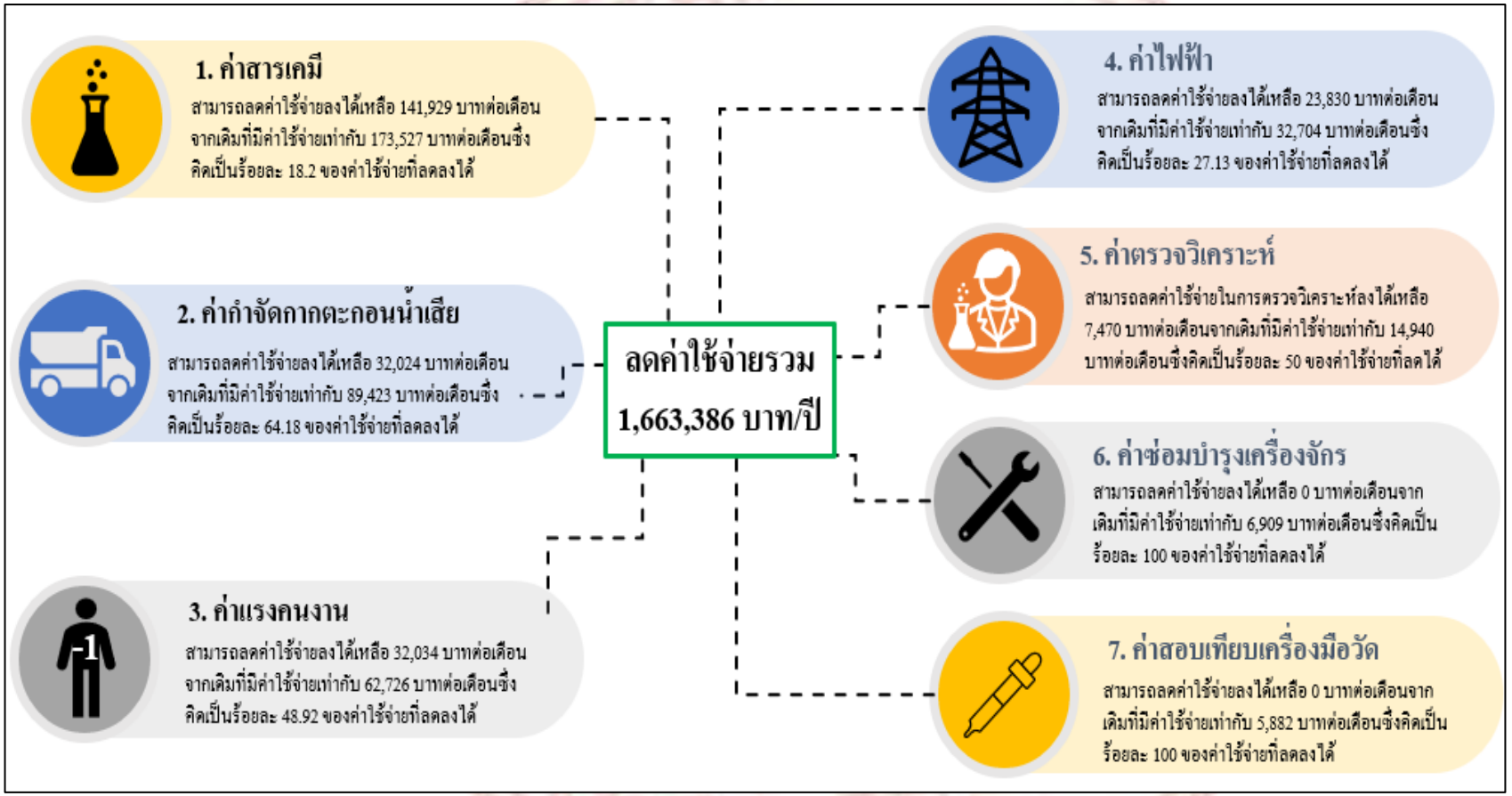
หลังการปรับปรุง	เดือน	รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียรวมของบริษัทกรณีศึกษา (บาท/เดือน)							รวม (บาท/เดือน)
		ค่าสารคมี	ค่าแรงคนงาน	ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ค่าไฟฟ้า	ค่าตรวจวิเคราะห์	ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด	
หลังการปรับปรุง	ธันวาคม 2566	132,880	31,656	29,982	20,086	7,470	0	0	222,075
	มกราคม 2567	149,688	32,860	33,775	25,083	7,470	0	0	248,876
	กุมภาพันธ์ 2567	143,220	31,586	32,315	26,322	7,470	0	0	240,913
ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (3 เดือน หลังทำโครงการ)		141,929	32,034	32,024	23,830	7,470	0	0	237,288

จากตารางที่ 4-7 โดยสรุปภาพรวมการดำเนินการลดต้นทุนของบริษัทกรณีศึกษาจากการดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะพบว่าสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียรวมลงจากเดิมมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 383,925 บาท ลงเหลือค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 245,309 บาทคิดเป็นต้นทุนที่ลดลงได้เฉลี่ย เดือนละ 138,616 บาท หรือคิดเป็น 1,663,386 บาทต่อปีหรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 36.1

สรุปผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษาก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงร่วมกับเป้าหมายในการดำเนินงานจะพบว่าสามารถดำเนินการลดค่าใช้จ่ายลงได้มากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ร้อยละ 30 โดยสรุปสามารถลดลงได้ร้อยละ 36.1 ตามภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษาก่อนและหลังการปรับปรุง



ภาพที่ 4-11 สรุปรายละเอียดค่าใช้จ่ายแต่ละประเภทที่ลดลงได้

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือต้องการศึกษาเพื่อหาวิธีการปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษาลงให้ได้ไม่น้อยกว่า 30% หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายประมาน 1,285,628 บาทต่อปีซึ่งผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงวิธีการทำงานโดยมีการกำหนดตามมาตรฐานของการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมรวมถึงมีการปรับปรุงกระบวนการใช้สารเคมีที่ระบบบำบัดน้ำเสีย, การจัดอบรมให้ความรู้ในการเติมสารเคมีแก่พนักงานที่ประจำระบบบำบัดน้ำเสีย, การดำเนินการจัดทำเอกสารมาตรฐานในการเติมสารเคมี, จัดให้มีระบบเอกสารบันทึกปริมานการใช้สารเคมีในแต่ละวันเพื่อทวนสอบการปฏิบัติงานตลอดจนการกำหนดให้มีการปิดระบบบำบัดน้ำเสียในช่วงที่ไม่มีการผลิตเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าซึ่งพบว่าไม่สามารถลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียลงตามเป้าหมายที่ได้วางไว้ด้วยสาเหตุอันเนื่องมาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 ยังคงมีค่าใช้จ่ายคงที่อันได้แก่ ค่าสารเคมี ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย และค่าไฟฟ้าเป็นต้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิธีการลดต้นทุนอื่นเพิ่มเติมโดยมีการศึกษาความเหมาะสมของระบบบำบัดที่มีอยู่ตลอดจนความสามารถในการรองรับน้ำเสียของแต่ละระบบ การทดสอบจำลองการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ เพื่อควบคุมคุณภาพในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นไปตามข้อกำหนดของเขตอุตสาหกรรมฯ รวมถึงศึกษาการออกแบบวิเคราะห์ระบบส่งน้ำเสียที่เหมาะสมทำให้ได้มาซึ่งการดำเนินงานโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียเชื่อมต่อระหว่าง 2 โรงงานผลการดำเนินงานพบว่าโครงการปรับปรุงระบบท่อส่งน้ำเสียส่งผลให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถบรรลุเป้าหมายการลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียลงได้เฉลี่ยเดือนละ 138,616 บาท หรือคิดเป็นต้นทุนที่สามารถลดลงได้ 1,663,386 บาทต่อปีคิดเป็น 36.1% เมื่อเทียบกับเป้าหมาย โดยมีการลงทุน 1,600,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุนของโครงการอยู่ที่ 1 ปี โดยรายละเอียดการดำเนินสรุปได้ดังตาราง 5-1

ตารางที่ 5-1 แสดงผลการดำเนินงานลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสีย

<table>
<tr><th>หัวข้อค่าใช้จ่าย</th><th>รายละเอียดการดำเนินงาน</th></tr>
<tr><td>ค่าสารเคมี</td><td>การยกเลิกระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 และการกำหนดค่ามาตรฐานในการเติมสารเคมีตลอดจนการควบคุมการใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสียทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เหลือ 141,929 บาทต่อเดือนจากเดิมที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 173,527 บาทต่อเดือนซึ่งคิดเป็นร้อยละ 18.2 ของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้
<table>
<tr><th colspan="5">ตารางควบคุมการใช้สารเคมีที่ระบบบำบัดน้ำเสีย</th></tr>
<tr><th colspan="5">โรงงานผลิตที่ 1</th></tr>
<tr><th>ลำดับ</th><th>สารเคมี</th><th>ค่า pH น้ำเข้า</th><th>อัตราการใช้สารเคมี</th><th>หน่วย</th></tr>
<tr><td>1</td><td>แพค (PAC)</td><td>ตรวจประจำวัน</td><td>ไม่เกิน 1.5</td><td>ลิตร/ลบ.ม.</td></tr>
<tr><td>2</td><td>โซดาไฟ (NaOH)</td><td>ตรวจประจำวัน</td><td>ไม่เกิน 0.8</td><td>ลิตร/ลบ.ม.</td></tr>
<tr><td>3</td><td>โพลิเมอร์</td><td>ตรวจประจำวัน</td><td>ไม่เกิน 0.05</td><td>กก./ลบ.ม.</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>ค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย</td><td>การส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 ผ่านโครงการปรับปรุงท่อส่งน้ำเสียทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เหลือ 32,024 บาทต่อเดือนจากเดิมที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 89,423 บาทต่อเดือนซึ่งคิดเป็นร้อยละ 64.18 ของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้</td></tr>
<tr><td>ค่าแรงคนงาน</td><td>การลดจำนวนคนงานประจำระบบบำบัดน้ำเสียลงได้จากเดิม 2 คนเหลือเพียง 1 คน ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เหลือ 32,034 บาทต่อเดือนจากเดิมที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 62,726 บาทต่อเดือนซึ่งคิดเป็นร้อยละ 48.92 ของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้</td></tr>
<tr><td>ค่าไฟฟ้า</td><td>การหยุดการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียที่โรงงานผลิตที่ 2 ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เหลือ 23,830 บาทต่อเดือนจากเดิมที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 32,704 บาทต่อเดือนซึ่งคิดเป็นร้อยละ 27.13 ของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้</td></tr>
<tr><td>ค่าตรวจวิเคราะห์</td><td>การดำเนินกิจกรรมการลดต้นทุนโดยการหยุดการเดินระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 ส่งผลให้สามารถหยุดการเดินระบบบำบัดน้ำเสียลงได้ 1 ระบบทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการตรวจวิเคราะห์ลงได้เหลือ 7,470 บาทต่อเดือนจากเดิมที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 14,940 บาทต่อเดือนซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50 ของค่าใช้จ่ายที่ลดได้</td></tr>
</table>

ตารางที่ 5-1 (ต่อ)

หัวข้อค่าใช้จ่าย	รายละเอียดการดำเนินงาน
ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	การหยุดการเดินระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เหลือ 0 บาทต่อเดือนจากเดิมที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 6,909 บาทต่อเดือนซึ่งคิดเป็นร้อยละ 100 ของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้
ค่าสอบเทียบเครื่องมือวัด	การหยุดการเดินระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เหลือ 0 บาทต่อเดือนจากเดิมที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 5,882 บาทต่อเดือนซึ่งคิดเป็นร้อยละ 100 ของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีการใช้น้ำน้อยลงหรือการใช้สารเคมีให้น้อยลง เนื่องจากการลดปริมานการใช้น้ำในกระบวนผลิตนั้นนอกจากจะเป็นการลดต้นทุนค่าน้ำประปาที่บริษัทต้องจ่ายแล้วยังจะสามารถช่วยลดต้นทุนการปรับปรุงคุณภาพน้ำการก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดได้อีกทางหนึ่งอีกทั้งเมื่อลดการใช้น้ำลงได้ก็สามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขององค์กรได้อีกทั้งการลดการใช้สารเคมีก็จะทำให้การบำบัดน้ำเสียมีต้นทุนที่ลดลง

5.2.2 การพิจารณานำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วนั้นมีคุณภาพที่เหมาะสมเพียงพอที่จะนำไปใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ ขององค์กรได้อาทีเช่น การรดน้ำต้นไม้ การล้างล้อรถ การล้างพื้นถนน การล้างพื้นในสายการผลิต เป็นต้น ซึ่งการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในกิจกรรมเหล้านี้จะส่งผลให้สามารถลดต้นทุนค่าน้ำประปาลงได้อีกทางหนึ่ง

5.2.3 การพิจารณาลงทุนในเทคโนโลยีการรีไซเคิลน้ำเสีย เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วนั้นหากมีการติดตั้งระบบรีไซเคิลก็จะสามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำประปาสำหรับส่งเข้าไปยังเครื่องจักรต่าง ๆ ได้ เช่น ระบบหอหล่อเย็น (Cooling Tower) หรือระบบหม้อไอน้ำ (Boiler) หรือระบบทำน้ำอ่อน (Softener) เป็นต้น

5.2.4 เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีมาตรฐานและเกิดความปลอดภัยสูงสุดนั้นการดำเนินโครงการที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียรวมถึงการทำโครงการปรับปรุงระบบท่อส่งน้ำเสียในลักษณะนี้จำเป็นที่จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของเขตอุตสาหกรรมในด้านมาตรฐานคุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือชุมชนภายนอกโรงงานตลอดจนการก่อสร้างระบบท่อส่งน้ำเสียก็จะต้องปฏิบัติตามกฎหมายด้านการปฏิบัติงานในที่อับอากาศเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดต่อผู้ปฏิบัติงาน

บรรณานุกรม

กฎของเขตอุตสาหกรรมกบินทร์บุรีสำหรับระบบกำจัดน้ำเสีย, มาตรฐานน้ำเสียของโรงงานในเขตอุตสาหกรรมกบินทร์บุรีก่อนผ่านลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง, 2562.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน, 2-5 ปั๊ม (Pump), 2555. สืบค้นวันที่ 4 ธันวาคม 2566. จากhttps://www.dip.go.th/th/category/2016-09-17-17-31-47-1/2012-06-13-12-02-31

กระทรวงแรงงาน กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับที่อับอากาศ, 2562.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2542.

เกสร ดิษฐี. การศึกษาความเหมาะสมในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบกลุ่มอาคารเพื่อการจัดการคุณภาพน้ำในพื้นที่เทศบาลนครแหลมฉบัง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตรศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559

ชาติชาย อัครดรศักดิ์ และพัชราภรณ์ เนียมมณี. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2558.

ชิตษณุ ภักดีวานิช และ ศุภชัย วีระเดช. การเพิ่มอัตราการทำงานของเครื่องจักรปั๊มโลหะแผ่นด้วยหลักการ ECRS. ภาควิชาการบริหารอุตสาหกรรมการผลิตและบริการ คณะพัฒนาธุรกิจและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2564

ชุมพล ศฤงคารศิริ. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 3, ฉบับปรับปรุงใหม่. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546

ณัฐกฤตา เตจาคำ. การศึกษาเชิงเปรียบเทียบทางเลือกสำหรับเทคโนโลยีการปรับลดอุณหภูมิอากาศเพื่อเพิ่มกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมระหว่างระบบทำความเย็นและ

ระบบฉีดพ่นละอองน้ำ กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมวังน้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558

เทพกัลยา แพงมา. การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำเสียและน้ำฝน. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2549

ธีระศักดิ์ ทัศนราพันธ์. การลดต้นทุนในกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551

ประพันธ์ โสดาทิพย์. การศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อการตัดสินใจลงทุนผลิตชิ้นส่วนพลาสติกอุตสาหกรรม กรณีศึกษา บริษัทโกลบอล พรีซิชั่น เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2556

ประเสริฐ อัครประถมพงศ์. การลดความสูญเปล่า ด้วยหลักการ ECRS. สืบค้นวันที่ 4 ธันวาคม 2566. จาก https://cpico.wordpress.com.

มาลินี วิศิษปัญญกุล. การศึกษาความเหมาะสมของการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอิสระแยกเฉพาะอาคาร เปรียบเทียบกับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียรวมทั้งโครงการ กรณีศึกษาโครงการบ้านเอื้ออาทรประเภทอาคารชุดพักอาศัยของการเคหะแห่งชาติ. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553

วศิน ศรีบุญมี. การศึกษาความเป็นไปได้ ในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในระบบสาธารณูปโภค กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเรซิ่นแห่งหนึ่ง. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

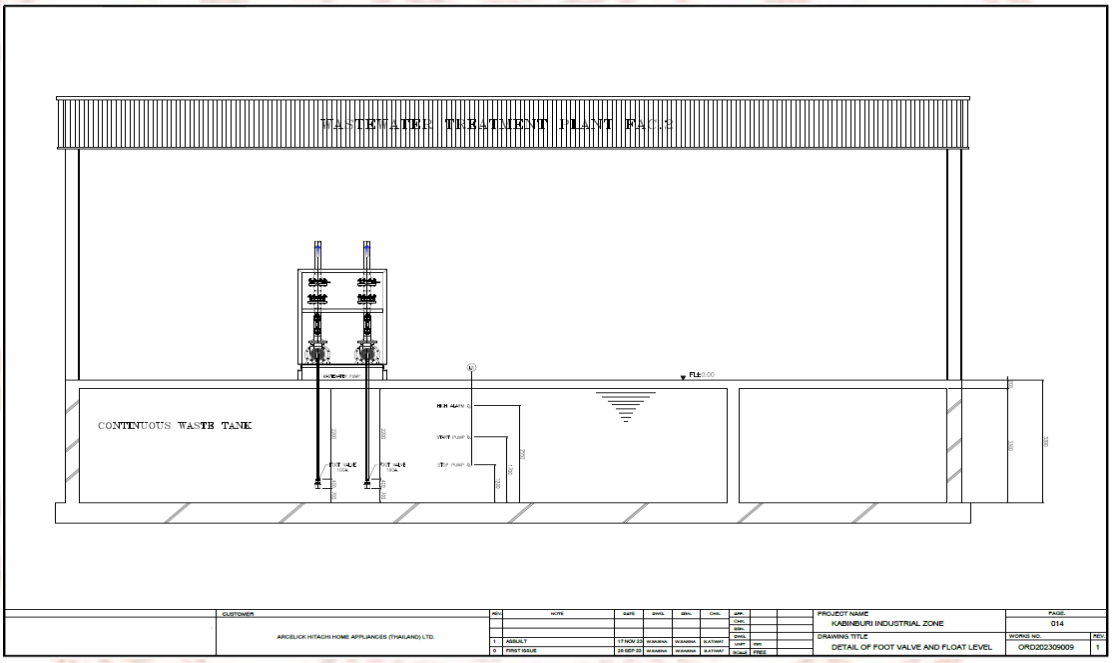
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2563

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment system). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.

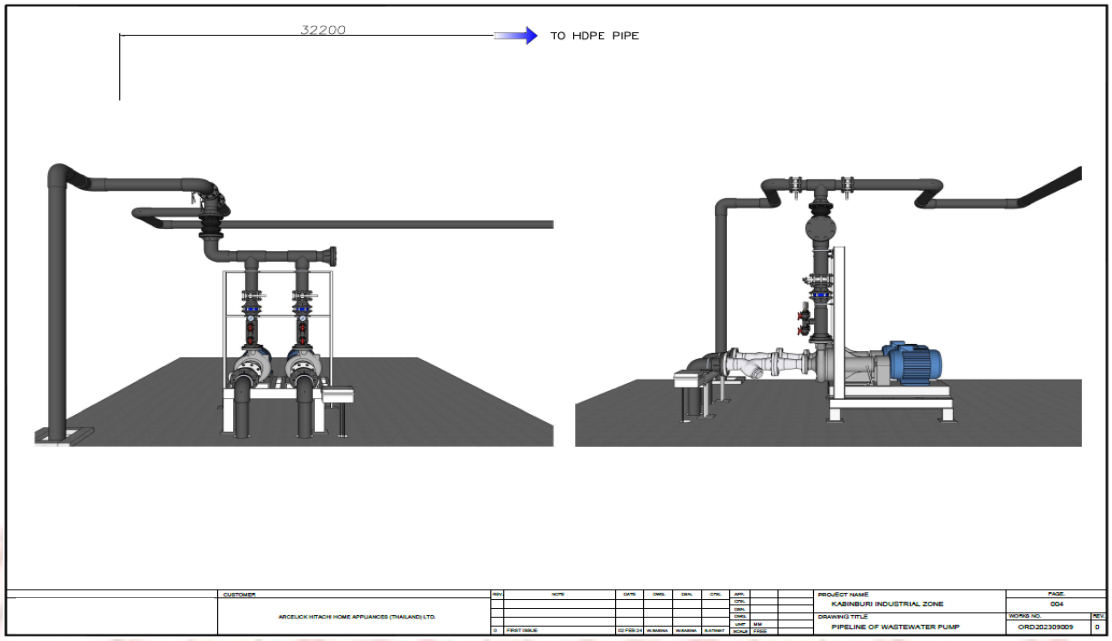
อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล. เอกสารคำสอนวิชา วิศวกรรมน้ำเสียและการจัดการ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553

ภาคผนวก ก
การออกแบบโครงการ

1. การออกแบบในช่วงที่ 1 ของโครงการ เป็นการออกแบบในส่วนของจุดเริ่มต้นทางด้านฝั่งท่อดูดตลอดจนการวางปั๊มสูบน้ำเสียของโครงการซึ่งอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 2 โดยมีระดับความสูงจากระดับอ้างอิงทางด้านดูดของปั๊ม 3.3 เมตรและผู้วิจัยต้องการเว้นระยะจากพื้นบ่อที่ 70 เซนติเมตรเพื่อป้องกันไม่ให้มีเศษตะกอนปะปนมากับน้ำมากเกินไปและได้กำหนดระยะการทำงานของลูกลอยทั้ง 3 ระยะคือ ระยะทำงานปกติคือระดับ 1.7 เมตรจากพื้น เมื่อน้ำเสียเข้าสู่บ่อพักน้ำถึงระยะที่กำหนดระบบปั๊มจะทำงาน 1 ตัวตามปกติ และระยะการตัดการทำงานลูกลอยผู้วิจัยได้ตั้งไว้ที่ระยะ 1.2 เมตรจากพื้น รวมถึงได้มีการตั้งระยะวิกฤตไว้ที่ระดับ 2.55 เมตรจากพื้น ซึ่งเมื่อมีน้ำเข้ามาในระดับวิกฤตปั๊มสำรองอีก 1 ตัวจะทำงานทันทีเพื่อป้องกันน้ำล้นโดยแสดงไว้ดังภาพที่ ก-1 ระยะของระบบท่อทั้งหมดในช่วงที่ 1 ของโครงการเท่ากับ 32.2 เมตรดังภาพที่ ก-2

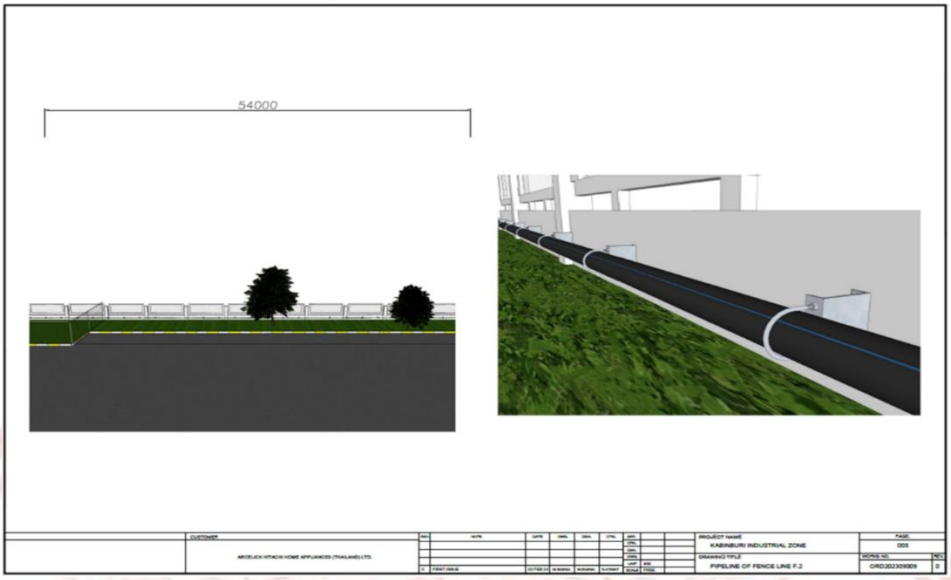


ภาพที่ ก-1 ภาคผนวก 1 แบบแสดงระดับความสูงจากระดับอ้างอิงทางด้านดูดของปั๊มและระดับการทำงานของระบบลูกลอย



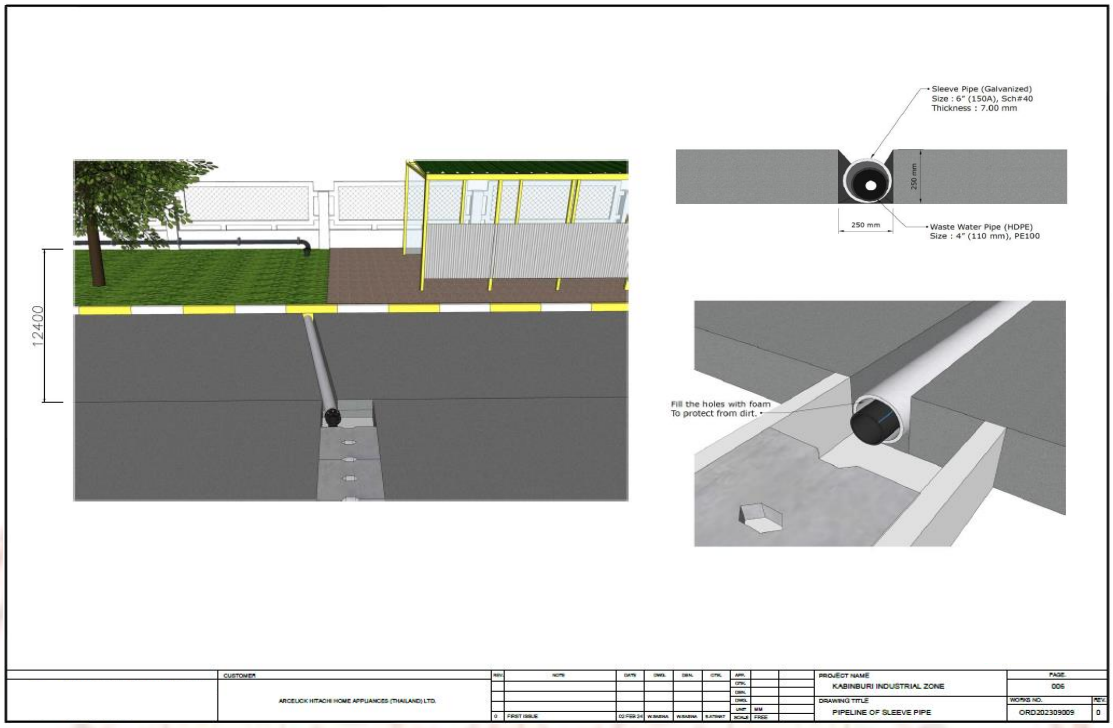
ภาพที่ ก-2 ภาคผนวก 1 แบบแสดงระยะท่อในช่วงที่ 1 ของโครงการ

การออกแบบในช่วงที่ 2 ของโครงการเป็นการออกแบบท่อส่งน้ำเสียต่อเนื่องจากช่วงที่ 1 ผู้วิจัยได้ออกแบบแนวท่อให้เดินเป็นแนวเส้นตรงโดยมีอุปกรณ์จับยึดติดกับแนวรั้วของโรงงานผลิตที่ 2 ทั้งนี้เพื่อให้สามารถระบายน้ำให้ออกไปได้หมดที่สภาวะอัตราน้ำสูงยอดโดยไม่เป็นอุปสรรค รวมทั้งสามารถทำให้น้ำไหลในเส้นท่อด้วยความเร็วที่ล้างท่อโดยตัวเอง (self-cleansing velocity) ได้และไม่มีสิ่งตกค้างอยู่ในท่อตามหลักทฤษฎีที่ได้อ้างอิงในบทที่ 2 ระยะของระบบท่อทั้งหมดในช่วงที่ 2 ของโครงการเท่ากับ 54 เมตรดังภาพที่ ก-3



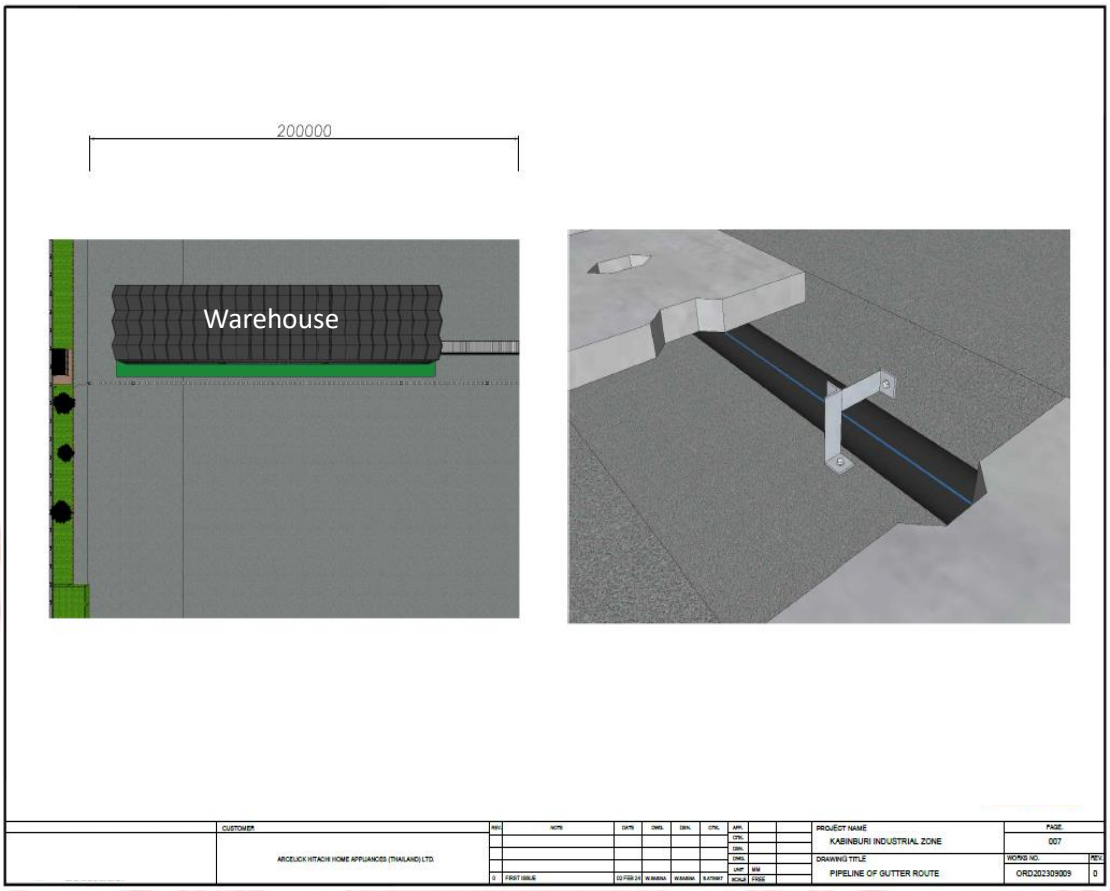
ภาพที่ ก-3 ภาคผนวก 1 แบบแสดงระยะท่อในช่วงที่ 2 ของโครงการ

การออกแบบในช่วงที่ 3 ของโครงการเป็นการออกแบบท่อส่งน้ำเสียต่อเนื่องจากช่วงที่ 2 โดยการออกแบบช่วงที่ 3 เนื่องจากเป็นช่วงที่มีถนนขวางแนวท่อจึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการออกแบบท่อใต้แนวถนนของโรงงานผลิตที่ 2 โดยมีการขุดเจาะถนนและวางท่อ HDPE เพื่อเป็นท่อส่งน้ำเสียโดยออกแบบให้มีท่อเหล็กเคลือบ Galvanized ขนาด 6 นิ้ว หนา 7 มิลลิเมตรหุ้มตลอดทั้งเส้นเพื่อป้องกันท่อ HDPE และเพื่อให้ง่ายในการซ่อมบำรุงท่อ HDPE ในช่วงนี้หากต้องมีการถอดเปลี่ยนท่อในอนาคตจากนั้นจึงเททับด้วยซีเมนต์เพื่อให้ถนนสามารถใช้งานได้ตามปกติไม่เป็นอุปสรรคต่อการสัญจร ระยะของระบบท่อทั้งหมดในช่วงที่ 3 ของโครงการเท่ากับ 12.4 เมตรดังภาพที่ ก-4



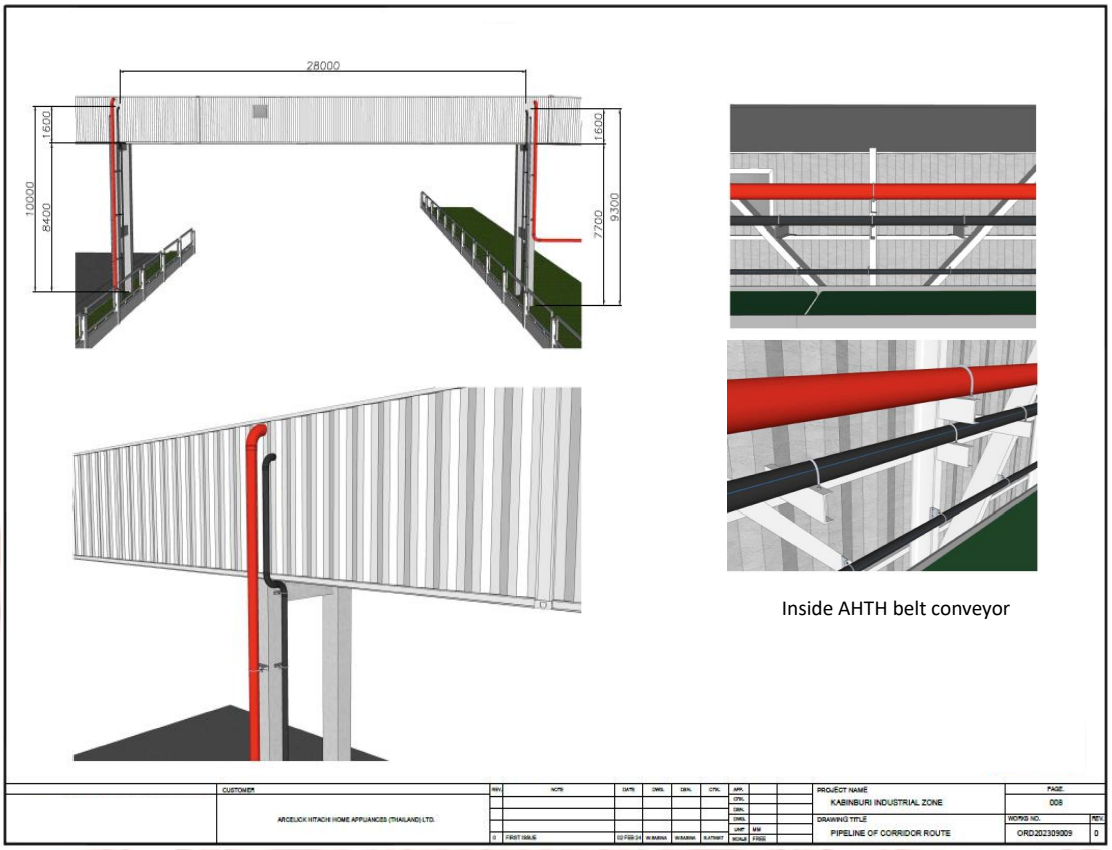
ภาพที่ ก-4 ภาคผนวก 1 แบบแสดงระยะท่อในช่วงที่ 3 ของโครงการ

การออกแบบในช่วงที่ 4 ของโครงการเป็นการออกแบบท่อส่งน้ำเสียต่อเนื่องจากช่วงที่ 3 ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบให้มีการเดินท่อส่งน้ำเสียไว้ในรางระบายน้ำของบริษัทกรณีศึกษาเนื่องจากรางระบายน้ำมีความลาดชันอยู่แต่ก่อนแล้วทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากข้อดีในส่วนนี้ทำให้ระบบท่อส่งน้ำเสียของโครงการสามารถระบายน้ำให้ออกไปได้หมดที่สภาวะอัตราน้ำสูงยอดโดยไม่เป็นอุปสรรค รวมทั้งสามารถทำให้น้ำไหลในเส้นท่อด้วยความเร็วที่ล้างท่อโดยตัวเอง (Self-Cleansing Velocity) ได้และไม่มีสิ่งตกค้างอยู่ในท่อระยะของระบบท่อทั้งหมดในช่วงที่ 4 ของโครงการเท่ากับ 200 เมตรดังภาพที่ ก-5



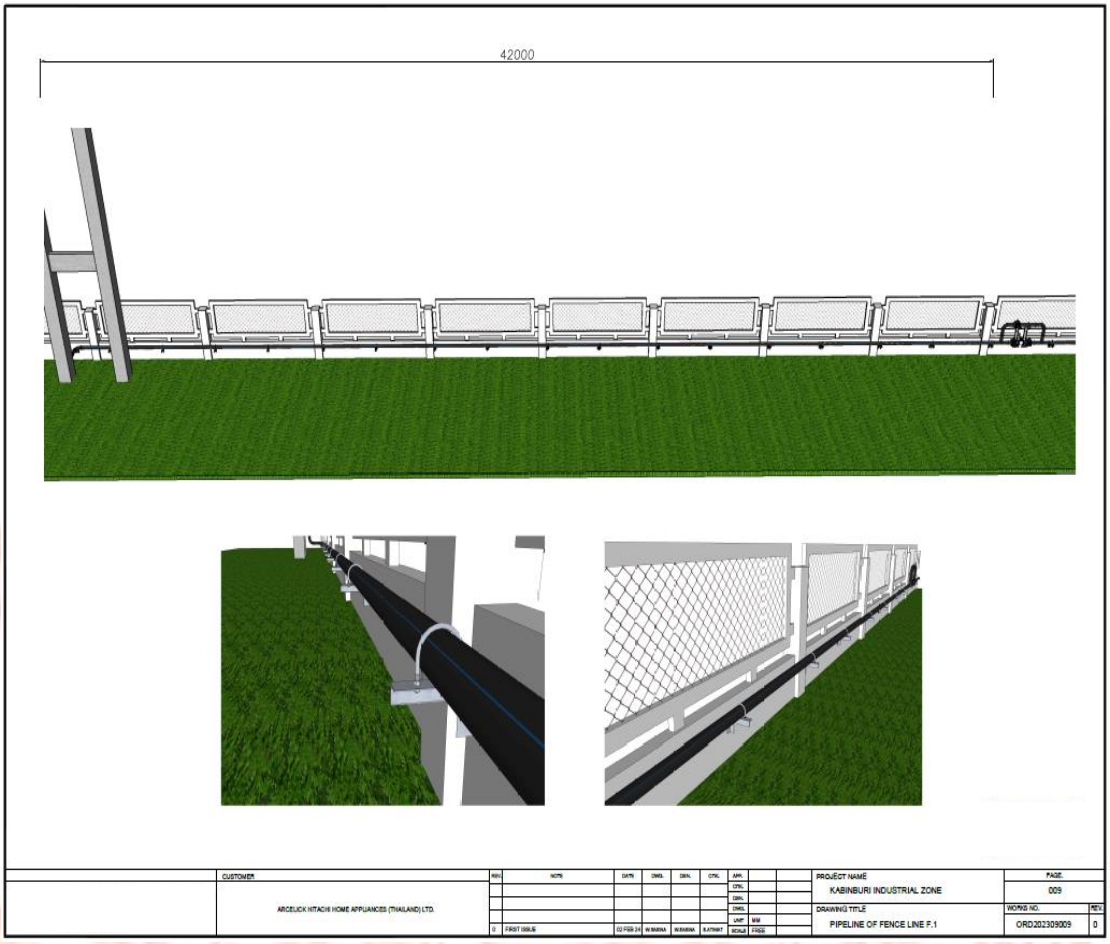
ภาพที่ ก-5 ภาคผนวก 1 แบบแสดงระยะท่อในช่วงที่ 4 ของโครงการ

การออกแบบในช่วงที่ 5 ของโครงการเป็นการออกแบบท่อส่งน้ำเสียต่อเนื่องจากช่วงที่ 4 ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีการวางระบบท่อส่งน้ำเสียโดยใช้สะพานข้ามถนนของบริษัทกรณีศึกษาที่ก่อสร้างไว้เพื่อรองรับระบบสายพานลำเลียงสินค้าซึ่งมีระยะทาง 28 เมตรตามแนวราบ โดยจะมีช่วงการเดินท่อตามแนวดิ่งขาขึ้น 10 เมตร และขาลง 9.3 เมตร โดยรวมระยะของระบบท่อทั้งหมดในช่วงที่ 5 ของโครงการเท่ากับ 47.3 เมตรดังภาพที่ ก-6



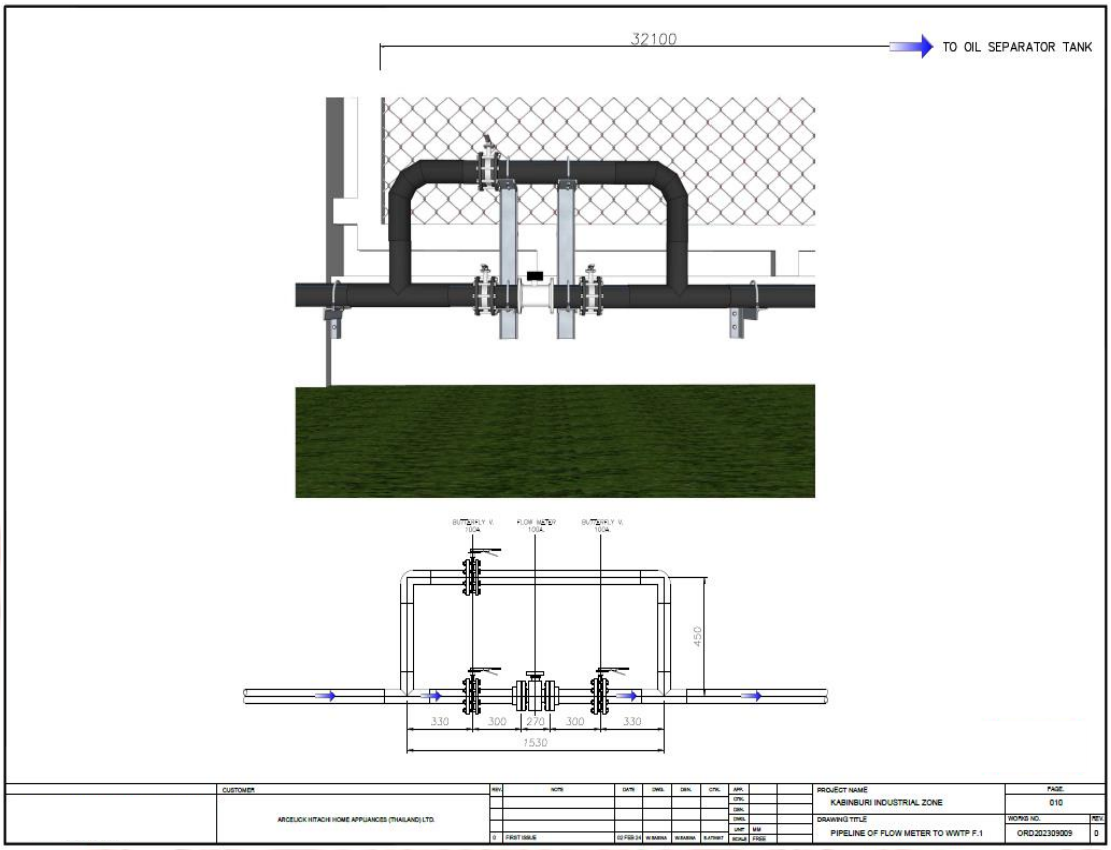
ภาพที่ ก-6 ภาคผนวก 1 แบบแสดงระยะท่อในช่วงที่ 5 ของโครงการ

การออกแบบในช่วงที่ 6 ของโครงการเป็นการออกแบบท่อส่งน้ำเสียต่อเนื่องจากช่วงที่ 5 ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีการวางระบบท่อส่งน้ำเสียส่งไปตามแนวรั้วของโรงงานผลิตที่ 1 เนื่องจากเป็นเส้นทางที่ใกล้ที่สุดและไม่เป็นอุปสรรคต่อการสัญจรภายในบริษัทกรณีศึกษาโดยรวมระยะของระบบท่อทั้งหมดในช่วงที่ 6 ของโครงการเท่ากับ 42 เมตรดังภาพที่ ก-7



ภาพที่ ก-7 ภาคผนวก 1 แบบแสดงระยะท่อในช่วงที่ 6 ของโครงการ

การออกแบบในช่วงที่ 7 ของโครงการเป็นการออกแบบท่อส่งน้ำเสียต่อเนื่องจากช่วงที่ 6 และเป็นช่วงสิ้นสุดของโครงการโดยปลายท่อส่งน้ำเสียจะถูกติดตั้งไว้ภายในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตที่ 1 การออกแบบในช่วงนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบท่อส่งน้ำเสียโดยให้มีการติดตั้งระบบมาตรวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งมาจากโรงงานผลิตที่ 2 และออกแบบให้มีระบบท่อสำรองเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานระบบและมีความต่อเนื่องในการใช้งานในกรณีที่ต้องมีการถอดมาตรวัดอัตราการไหลไปทำการสอบเทียบหรือแก้ไขโดยรวมระยะของระบบท่อทั้งหมดในช่วงที่ 7 ของโครงการเท่ากับ 32.1 เมตรดังภาพที่ ก-8



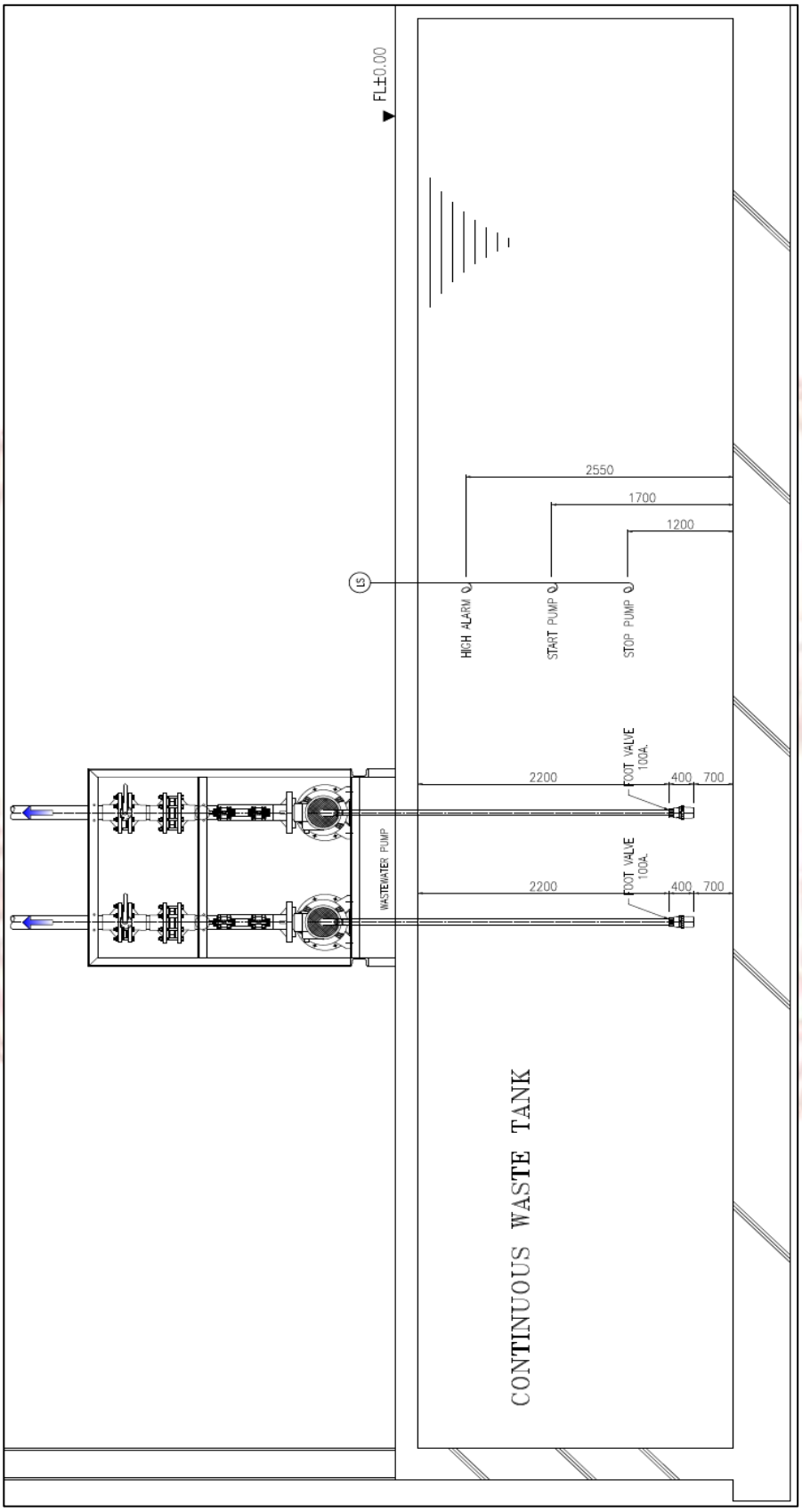
ภาพที่ ก-8 ภาคผนวก 1 แบบแสดงระยะท่อในช่วงที่ 7 ของโครงการ

2. การเลือกปั๊มน้ำเสียสำหรับโครงการ ชนิดของปั๊มน้ำเสียที่เลือกมาใช้ในโครงการผู้วิจัยได้ทำการเลือกเครื่องสูบน้ำเสียแบบพลังงานจลน์ ชนิดเครื่องสูบหอยโข่ง (Centrifugal) โดยมีการกำหนดข้อมูลที่จำเป็นต่าง ๆ และทำการคำนวนเพื่อกำหนดขนาดของปั๊มน้ำเสียที่เหมาะสมโดยมีข้อมูลดังนี้

2.1 ระยะทางรวม 420 เมตร

2.2 อัตราการไหลที่ต้องการ ต่ำสุด 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และสูงสุด 40 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดน้ำเสียล้นในระบบ และเพื่อเป็นการเผื่อยอดการผลิตในอนาคตที่อาจสูงขึ้นและอาจมีน้ำเสียเข้าสู่ระบบมากขึ้นซึ่งปั๊มนี้ก็จะยังมีความสามารถที่เพียงพอในการรองรับการเติบโตขององค์กรในอนาคตและไม่กระทบหากต้องการเพิ่มกำลังการผลิตของบริษัทฯ

2.3 ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงทางด้านดูดของปั๊ม 3.3 เมตรและผู้วิจัยต้องการเว้นระยะจากพื้นบ่อที่ 70 เซนติเมตรเพื่อป้องกันไม่ให้มีเศษตะกอนปะปนมากับน้ำมากเกินไปและได้กำหนดระยะการทำงานของลูกลอยทั้ง 3 ระยะคือ ระยะทำงานปกติคือระดับ 1.7 เมตรจากพื้น เมื่อน้ำเสียเข้าสู่บ่อพักน้ำถึงระยะที่กำหนดระบบปั๊มจะทำงาน 1 ตัวตามปกติ และระยะการตัดการทำงานลูกลอยผู้วิจัยได้ตั้งไว้ที่ระยะ 1.2 เมตรจากพื้น รวมถึงได้มีการตั้งระยะวิกฤตไว้ที่ระดับ 2.55 เมตรจากพื้น ซึ่งเมื่อมีน้ำเข้ามาในระดับวิกฤตปั๊มสำรองอีก 1 ตัวจะทำงานทันทีเพื่อป้องกันน้ำล้นโดยแสดงไว้ดังภาพที่ ก-9



ภาพที่ ก-9 ภาคผนวก 1 แบบแสดงระดับความสูงจากระดับอ้างอิงทางด้านดูดของปั๊มและระดับการทำงานของระบบลูกลอย

2.4 ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงทางด้านจ่ายของปั๊ม 10 เมตร เนื่องจากมีจุดที่ต้องสูบน้ำขึ้นในแนวดิ่งในบางช่วงของเส้นทางการเดินท่อข้ามถนนของเขตอุตสาหกรรมและใช้เส้นทางการเดินท่อภายในพื้นที่ของไลน์สายพานลำเลียงสินค้า

2.5 จำนวนอุปกรณ์ข้อต่อและวาล์วที่ใช้ในโครงการฯดังตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 ภาคผนวก 1 จำนวนอุปกรณ์ข้อต่อและวาล์วที่ใช้ในโครงการ

ลำดับ	รายการอุปกรณ์	ขนาด	จำนวนที่ใช้ (ชิ้น)
1	ข้อต่อ UPVC 90° (Regula 90°)	4 นิ้ว	9
2	ข้อต่อ PE 90° (Long Radius 90°)	4 นิ้ว	14
3	ข้อต่อ PE 45° (Regula 45°)	4 นิ้ว	6
4	ข้อต่อสามทาง UPVC (Tee Branch)	4 นิ้ว	2

จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของปั๊มน้ำเสียโดยอ้างอิงตามทฤษฎีในบทที่ 2 ดังนี้

จากสมการที่ (2-2)

$$h_f = h_{pipe} + h_{fitting}$$

คำนวนหา h_{pipe} โดย

h_{pipe} คิดจากอัตราการไหลสูงสุดที่กำหนด = 40 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

แปลงหน่วยให้เป็น Usgpm จะได้ = 176.11 Usgpm (เลือกใช้ค่า 180 Usgpmในตารางที่ 2-2)

ดังนั้นการสูญเสียเฮดน้ำในเส้นท่อ = 1.86 เมตรต่อความยาวท่อ 100 เมตร

ความยาวท่อทั้งหมดในโครงการ = 420 เมตร

นำค่าต่าง ๆ มาคำนวณการสูญเสียหลักในเส้นท่อ

$$h_{pipe} = [(1.86/100) \times 4] \times 420$$

$$h_{pipe} = 31.25 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ ก-2 ภาคผนวก 1 แสดงค่าการสูญเสียหลักในเส้นท่อของโครงการฯ

ท่อขนาด 1 นิ้ว		ท่อขนาด 2 นิ้ว		ท่อขนาด 3 นิ้ว		ท่อขนาด 4 นิ้ว	
Usgpm	h_f	Usgpm	h_f	Usgpm	h_f	Usgpm	h_f
6	2.68	24	1.2	50	0.66	90	0.52
8	4.54	25	1.29	60	0.92	100	0.62
10	6.86	30	1.82	70	1.22	120	0.88
12	9.62	35	2.42	80	1.57	140	1.17
14	12.8	40	3.1	90	1.96	160	1.49
16	16.5	45	3.85	100	2.39	180	1.86
18	20.6	50	4.67	120	3.37	200	2.27
20	25.1	55	5.51	140	4.51	220	2.72
22	30.2	60	6.59	160	5.81	240	3.21
		65	7.7	180	7.28	260	3.74
		70	8.86			280	4.3
		75	10.15			300	4.89
		80	11.4			350	6.55

จากนั้นคำนวนหาค่า $h_{fitting}$ อ้างอิงตารางที่ 2-3 ในบทที่ 2 และนำรายการจำนวนอุปกรณ์ข้อต่อและวาล์วที่ใช้ในโครงการฯดังตารางที่ 2 ภาคผนวก 1 มาคำนวณจะได้

ข้อต่อ UPVC 90° แบบเกลียว (Regula 90°) 9 ชิ้น = 3.96 x 9 = 35.64 m.

ข้อต่อ PE 90° แบบเกลียว (Long Radius 90°) 14 ชิ้น = 1.4 x 14 =19.60 m.

ข้อต่อ PE 45° แบบเกลียว (Regula 45°) 6 ชิ้น = 1.68 x 6 = 10.08 m.

ข้อต่อสามทาง UPVC แบบหน้าแปลน (Tee Branch) 2 ชิ้น = 3.66 x 2 = 1.83 m.

ดังนั้นการสูญเสียรองในอุปกรณ์ท่อและวาล์วรวม = 35.64 + 19.60 + 10.08 + 1.83

= 67.15 m.

นำค่าต่าง ๆ มาคำนวณการสูญเสียหลักในเส้นท่อ

$h_{fitting}$ = (1.86/100) x 67.15

$h_{fitting}$ = 1.25 เมตร

จาก

$$h_f = h_{pipe} + h_{fitting}$$
$$= 31.25 + 1.25$$
$$h_f = 32.50 \text{ เมตร}$$

สรุปเฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลในระบบท่อของโครงการฯ จะเท่ากับ 32.50 เมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าเฮดรวมของระบบตามสมการที่ (2-1) ในบทที่ 2 จะได้

$$h_p = Z_d + Z_s + h_f$$

โดย

Z_d = ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงทางด้านจ่ายของปั๊ม = 10 เมตร

Z_s = ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงทางด้านดูดของปั๊ม = 3.3 เมตร

h_f = เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลในระบบท่อของโครงการฯ = 32.50 เมตร

จะได้

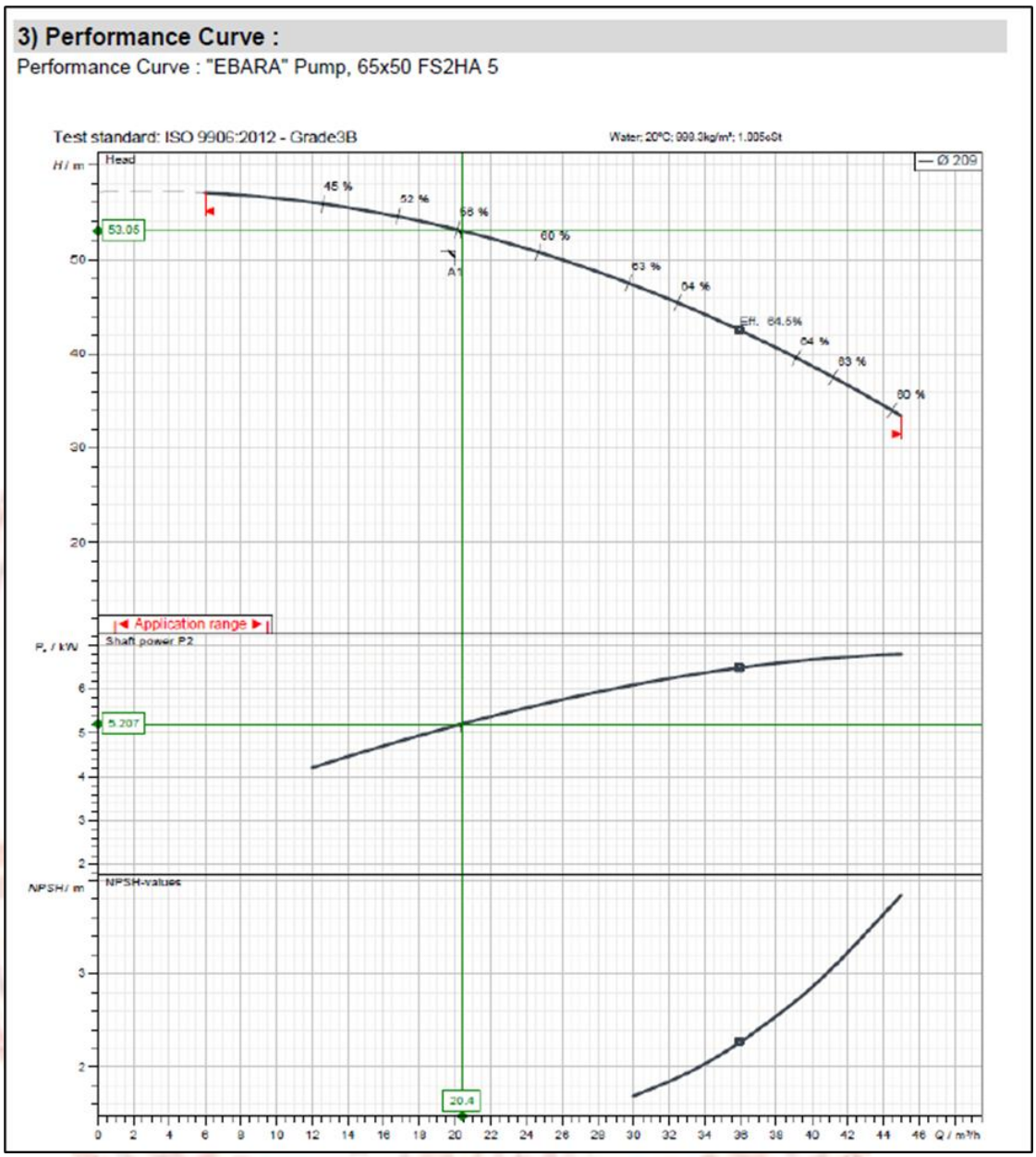
$$h_p = 10 + 3.3 + 32.50$$
$$= 45.80 \text{ เมตร}$$

จากการคำนวณพบว่าเฮดทั้งหมดที่ปั๊มต้องการสำหรับโครงการนี้เท่ากับ 45.80 เมตร ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พิจารณากำหนดปั๊มน้ำเสียที่มีเฮดรวมที่ 50 เมตร เพื่อให้สามารถสูบน้ำได้ตามที่ต้องการ

ตารางที่ ก-3 ภาคผนวก 1 แสดงค่าการสูญเสียรองในอุปกรณ์ข้อต่อท่อและวาล์วที่นำมาใช้ในโครงการ

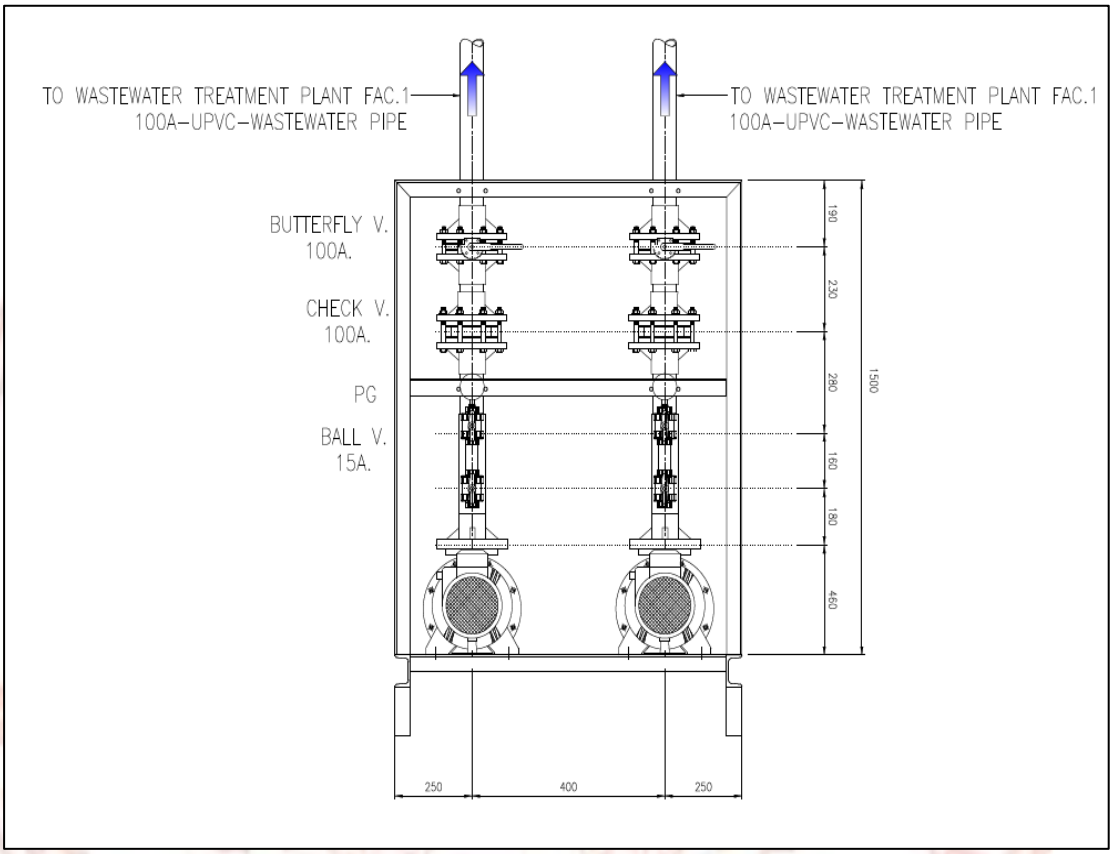
ชนิด	ขนาด (นิ้ว)	1	2	3	4
Regula 90°	แบบเกลียว	1.58	2.59	3.35	3.96
	แบบหน้าแปลน	0.49	0.94	1.34	1.8
Long Radius 90°	แบบเกลียว	0.82	1.1	1.22	1.4
	แบบหน้าแปลน	0.49	0.82	1.04	1.28
Regula 45°	แบบเกลียว	0.4	0.82	1.22	1.68
	แบบหน้าแปลน	0.25	0.52	0.79	0.88
Tee branch Flow	แบบเกลียว	2.01	3.66	5.18	6.4
	แบบหน้าแปลน	1.01	2.01	2.86	3.66

จากนั้นจึงได้ติดต่อผู้ผลิตปั๊มเพื่อดำเนินการเลือกรุ่นของปั๊มที่เหมาะสมคือ ปั๊มน้ำเสีย EBARA รุ่น 65x50 FS2HA5 ซึ่งมีความสามารถในการสูบน้ำได้ตามที่ต้องการสำหรับโครงการฯ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหัวและกำลังสูบของเครื่องสูบน้ำ (Pump Head-Capacity Curve) ตามภาพที่ ก-3-20 จะพบว่าที่การทำงานปกติที่ระดับ Flow 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงปั๊มจะสามารถทำงานโดยให้ค่าเฮดตามที่ต้องการคือ 53.05 เมตร ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของโครงการในกรณีที่บริษัทกรณีศึกษามีการดำเนินการผลิตตามปกติ

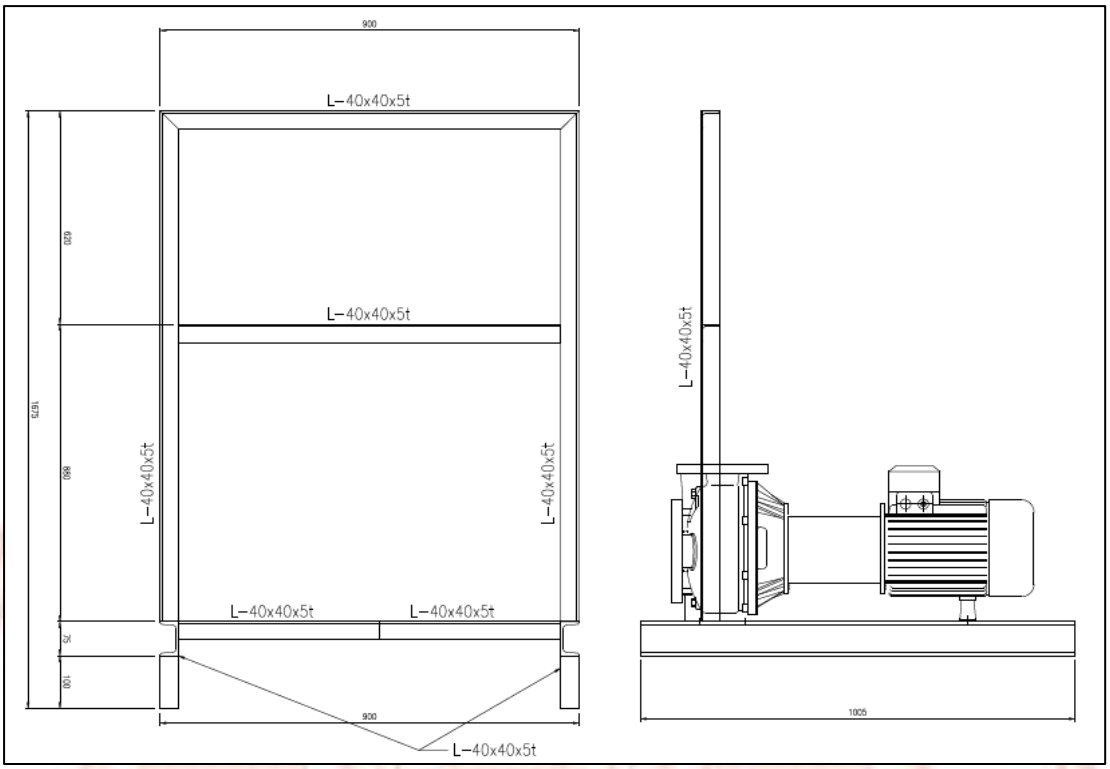


ภาพที่ ก-10 ภาคผนวก 1 เส้นโค้งลักษณะสมบัติของเครื่องสูบน้ำ EBARA รุ่น 65x50 FS2HA5

การออกแบบจุดวางปั๊มน้ำเสีย ผู้วิจัยกำหนดให้มีการวางปั๊มน้ำเสียบริเวณด้านบนของบ่อรับน้ำเสียเพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้ง การตรวจสอบประจำวัน รวมถึงการดูแลรักษาจึงได้มีการออกแบบไว้ ดังภาพที่ ก-11 และภาพที่ ก-12



ภาพที่ ก-11 ภาคผนวก 1 แสดงการติดตั้งปั๊มน้ำเสียของโครงการ (Front view)



ภาพที่ ก-12 ภาคผนวก 1 แสดงแบบติดตั้งปั๊มน้ำเสียของโครงการ (Side view)

3. ชนิดของท่อที่นำมาใช้ในโครงการ ตามที่ผู้วิจัยได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ถึงชนิดของท่อส่งน้ำเสียที่นำมาใช้ในโครงการนี้โดยได้มีการคำนึงถึงรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ อายุ ความคงทน ราคา ความยากง่ายในการก่อสร้าง พบว่าชนิดของท่อที่เหมาะสมสำหรับโครงการคือ ท่อระบายน้ำชนิด HDPE เนื่องจากมีความเหมาะสมสำหรับโครงการดังนี้

3.1 อายุการใช้งาน ท่อระบายน้ำชนิด HDPE มีอายุการใช้งานที่ยาวนานถึง 50 ปี เหมาะกับการติดตั้งโดยไม่ต้องใช้การขุดร่อง นอกจากนี้ยังง่ายต่อการขนย้ายและติดตั้ง เพราะท่อมีน้ำหนักที่เบา สามารถติดตั้งในพื้นที่ที่จำกัดได้

3.2 ความคงทน ท่อระบายน้ำชนิด HDPE มีความต้านทานต่อแรงกดทับจากภายนอกได้ดี สามารถทนต่อการขัดสี และการกัดกร่อนจากสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ จึงไม่เกิดสนิม และตะกรัน เหมาะสมกับงานน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา

3.3 ราคา อยู่ในงบประมานที่บริษัทกำหนด

3.4 ความยากง่ายในการก่อสร้าง ด้วยคุณสมบัติของท่อระบายน้ำที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกเอทิลีนทำให้ตัวท่อมีความยืดหยุ่นมาก โค้งงอได้ดี ไม่รั่วซึมได้ง่ายเหมาะสมกับงานโครงการของบริษัทกรณีศึกษาเนื่องจากมีบางช่วงที่จำเป็นจะต้องมีการเดินท่อในลักษณะโค้งทำให้สามารถติดตั้งได้ง่าย

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์การลงทุนของโครงการ

การศึกษาวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของโครงการลงทุนการแก้ไขปรับปรุงโดยมีการลงทุนในโครงการนี้ผู้วิจัยจะได้กล่าวถึงผลการศึกษาวิจัยในการดำเนินโครงการลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษา โดยจะมีประเมินคุณค่าของโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 ซึ่งจะต้องมีการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงรายรับ-รายจ่ายที่เกิดขึ้นภายในโครงการเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมคือการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน (Net Present Value: NPV) การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period: PBP) เพื่อเป็นข้อมูลรายงานแก่ผู้บริหารระดับสูงต่อไปโดยผู้วิจัยจะนำหลักทฤษฎีต่างๆ มาใช้ดังนี้

1. ต้นทุนที่ประหยัดได้ของโครงการฯ

โครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียเพื่อทำการส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายให้กับบริษัทกรณีศึกษาได้เฉลี่ยเดือนละ 138,616 บาท/เดือน คิดเป็น 1,663,392 บาทต่อปี ซึ่งตามนโยบายของบริษัทกรณีศึกษาจะกำหนดให้โครงการมีอายุการใช้งานที่ 10 ปี ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการคำนวนต้นทุนที่สามารถลดลงได้จากโครงการนี้ดังตารางที่ ข-1

ตารางที่ ข-1 ต้นทุนที่สามารถลดลงได้จากโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียเพื่อทำการส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 ตั้งแต่ปี 2567 - ปี 2576

ปี	ต้นทุนประหยัดได้ของโครงการฯ (บาท)
2567	1,663,392 บาท
2568	1,663,392 บาท
2569	1,663,392 บาท
2570	1,663,392 บาท
2571	1,663,392 บาท
2572	1,663,392 บาท
2573	1,663,392 บาท
2574	1,663,392 บาท
2575	1,663,392 บาท
2576	1,663,392 บาท

2. การลงทุนของโครงการฯ

2.1 รายจ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียเพื่อทำการส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 จะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกอยู่ที่ 1,600,000 บาท โดยค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกจะประกอบด้วยรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้ คือ ค่าปั๊มน้ำเสียและมอเตอร์ ราคา 260,000 บาท, ค่าท่อ HDPE และข้อต่อ ราคา 250,000 บาท, ค่าอุปกรณ์จับยึด ราคา 135,000 บาท, ค่าระบบไฟฟ้า และควบคุม ราคา 400,000 บาท, ค่าอุปกรณ์วัดอัตราการไหล ราคา 130,000 บาท, ค่าแรงในการก่อสร้าง ราคา 380,000 บาท, ค่าอุปกรณ์สำหรับทำงานในที่สูง ราคา 20,000 บาท, ค่าขนส่ง ราคา 20,000 บาท และค่าดำเนินการอื่น ๆ ราคา 5,000 บาท

2.2 ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเครื่องจักรที่ใช้ในโครงการวางระบบท่อส่งน้ำเสียเพื่อทำการส่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตที่ 2 มาบำบัดยังโรงงานผลิตที่ 1 นี้ มีเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องที่สำคัญ คือเครื่องสูบน้ำเสียแบบพลังงานจลน์ ชนิดเครื่องสูบหอยโข่ง (Centrifugal) ยี่ห้อ EBARA 50X40FS2HA ซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบประจำปี และมีการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันอย่างสม่ำเสมอตามที่ผู้ผลิตแนะนำเพื่อยืดอายุการใช้งานซึ่งมีรายละเอียดค่าใช้จ่ายในแต่ละปีดังตารางที่ ข-2

ตารางที่ ข-2 รายละเอียดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเครื่องจักรที่ใช้ในโครงการ

ปี	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงาน (บาท/ปี)						
	การตรวจสอบอุปกรณ์ประจำปี 2 ครั้ง/ปี	เปลี่ยนแบริ่งปั๊ม 1 ครั้ง/3 ปี	เปลี่ยนแบริ่งมอเตอร์ 1 ครั้ง/3 ปี	เปลี่ยนน้ำมันซีล 1 ครั้ง/3 ปี	เปลี่ยนปะเก็นยาง 1 ครั้ง/3 ปี	เปลี่ยนโอริง 1 ครั้ง/3 ปี	รวมค่าใช้จ่าย บาท/ปี
2567	3,000						3,000
2568	3,000						3,000
2569	3,000	1,500	1,000	2,500	1,500	900	10,400
2570	3,000						3,000
2571	3,000						3,000
2572	3,000	1,500	1,000	2,500	1,500	900	10,400
2573	3,000						3,000
2574	3,000						3,000
2575	3,000	1,500	1,000	2,500	1,500	900	10,400
2576	3,000						3,000

2.3 ค่าใช้จ่ายด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการนอกเหนือจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก และค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับเครื่องจักรในโครงการแล้วยังมีค่าใช้จ่ายในด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการตัวอย่าง เช่น ค่าสอบเทียบอุปกรณ์วัดค่าการไหล ค่าไฟฟ้า เป็นต้นซึ่งผู้วิจัยได้ทำการสรุปค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการดังนี้

ค่าไฟฟ้าอ้างอิงตามภาคผนวกที่ 1 เส้นโค้งลักษณะสมบัติของเครื่องสูบน้ำ EBARA รุ่น 65x50 FS2HA5 จะพบว่าที่กำลังการสูบน้ำตามที่ได้ออกแบบไว้ค่า 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เครื่องสูบน้ำจะมีความต้องการกำลังไฟฟ้า 5.207 กิโลวัตต์ เมื่อนำมาคำนวณที่การทำงานของเครื่องสูบน้ำเฉลี่ย 4 ชั่วโมงต่อวันจะพบว่าภายใน 1 ปี จะมีค่าใช้จ่ายในด้านค่าไฟฟ้าอยู่ที่ปีละ 24,375 บาทต่อปี ดังตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-3 รายละเอียดการคำนวนค่าไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ EBARA รุ่น 65x50 FS2HA5

เดือน	วันทำงาน (วัน)	ชั่วโมงการทำงานของปั๊มน้ำเสีย (ชม./วัน)	รวมชั่วโมงการทำงานต่อเดือน (ชม./เดือน)	อัตราการใช้พลังงาน (กิโลวัตต์/ชั่วโมง)	อัตราการใช้พลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/เดือน)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของบริษัทกรณีศึกษา (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าไฟฟ้าของปั๊มน้ำเสีย (บาท/เดือน)
ม.ค.	21	4	84	5.207	437.4	4.7	2,056
ก.พ.	21	4	84	5.207	437.4	4.7	2,056
มี.ค.	21	4	84	5.207	437.4	4.7	2,056
เม.ย.	19	4	76	5.207	395.7	4.7	1,860
พ.ค.	21	4	84	5.207	437.4	4.7	2,056
มิ.ย.	20	4	80	5.207	416.6	4.7	1,958
ก.ค.	22	4	88	5.207	458.2	4.7	2,154
ส.ค.	21	4	84	5.207	437.4	4.7	2,056
ก.ย.	21	4	84	5.207	437.4	4.7	2,056
ต.ค.	21	4	84	5.207	437.4	4.7	2,056
พ.ย.	21	4	84	5.207	437.4	4.7	2,056
ธ.ค.	20	4	80	5.207	416.6	4.7	1,958
รวม							24,375

ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ของโครงการได้แก่ ค่าสอบเทียบเครื่องวัดอัตราการไหล ค่าตรวจสอบระบบท่อและค่าทำความสะอาดท่อส่งน้ำเสียจะมีค่าใช้จ่ายดังตารางที่ ข-4

ตารางที่ ข-4 รายละเอียดค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ของโครงการ

ปี	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง			รวมค่าใช้จ่าย
	ค่าสอบเทียบอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (2 ครั้ง/ปี)	ค่าตรวจสอบระบบท่อส่งน้ำเสีย (1 ครั้ง/ปี)	ค่าทำความสะอาดท่อส่งน้ำเสีย (2 ปี / ครั้ง)	(บาท/ปี)
2567	7,000	5,000		12,000
2568	7,000	5,000	15,000	27,000
2569	7,000	5,000		12,000
2570	7,000	5,000	15,000	27,000
2571	7,000	5,000		12,000
2572	7,000	5,000	15,000	27,000
2573	7,000	5,000		12,000
2574	7,000	5,000	15,000	27,000
2575	7,000	5,000		12,000
2576	7,000	5,000	15,000	27,000

2.4 ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการฯ จากข้อมูลผลประหยัดและรายจ่ายของโครงการในหัวข้อที่ผ่านมา ทำให้มีข้อมูลที่สามารถนำมาคำนวณหาผลตอบแทนการลงทุนของโครงการการศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ ข-5

ตารางที่ ข-5 รายละเอียดผลตอบแทนการลงทุนของโครงการฯ

ปี	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	รายจ่าย	กระแสเงินสด	กระแสเงินสดสะสม
2566	-	1,600,000	(1,600,000)	(1,600,000)
2567	1,663,392	39,375	1,624,017	24,017
2568	1,663,392	54,375	1,609,017	1,633,034
2569	1,663,392	46,775	1,616,617	3,249,651
2570	1,663,392	54,375	1,609,017	4,858,668
2571	1,663,392	39,375	1,624,017	6,482,685
2572	1,663,392	61,775	1,601,617	8,084,302
2573	1,663,392	39,375	1,624,017	9,708,319
2574	1,663,392	54,375	1,609,017	11,317,336
2575	1,663,392	46,775	1,616,617	12,933,953
2576	1,663,392	54,375	1,609,017	14,542,970

2.5 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน (Net Present Value: NPV) มูลค่าปัจจุบันสุทธิบ่งชี้ถึงจำนวนผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับตลอดระยะเวลาของโครงการซึ่งอาจจะมีค่าเป็นลบ เป็นศูนย์ หรือเป็นบวกก็ได้ ที่ได้ปรับค่าของเวลาของโครงการนั้นเพื่อวัดค่าโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่ โดยคำนวณได้จากสมการที่ (4-1)

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \qquad (4\text{-}1)$$

โดยที่

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน (Net Present Value: NPV)

B_t = ผลตอบแทนในปีที่ 1, 2, 3, ..., n

C_t = ค่าใช้จ่ายในปีที่ 1, 2, 3, ..., n

i = อัตราคิดลดหรือค่าเสียโอกาสของทุน

t = ปีของโครงการคือปีที่ 1, 2, 3, ..., n

n = อายุของโครงการ

การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน (Net Present Value: NPV) โดยได้แสดงในตารางที่ ข-6

ตารางที่ ข-6 การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน

ปีที่ (t)	ค่าใช้จ่าย (C_t)	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (B_t)	กระแสเงินสด ($B_t - C_t$)	MARR = 5% $(1+i)^t$	เงินปัจจุบัน $(B_t-C_t)/(1+i)^t$	เงินปัจจุบันสะสม
0	1,600,000	0	(1,600,000)	1.000	(1,600,000)	(1,600,000)
1	39,375	1,663,392	1,624,017	1.050	1,546,683	(53,317)
2	54,375	1,663,392	1,609,017	1.103	1,459,426	1,406,109
3	46,775	1,663,392	1,616,617	1.158	1,396,525	2,802,633
4	54,375	1,663,392	1,609,017	1.216	1,323,749	4,126,382
5	39,375	1,663,392	1,624,017	1.276	1,272,441	5,398,824
6	61,775	1,663,392	1,601,617	1.340	1,195,147	6,593,971
7	39,375	1,663,392	1,624,017	1.407	1,154,159	7,748,130
8	54,375	1,663,392	1,609,017	1.478	1,089,013	8,837,143
9	46,775	1,663,392	1,616,617	1.551	1,042,105	9,879,248
10	54,375	1,663,392	1,609,017	1.629	987,794	10,867,042
				รวม =	10,867,042	

จากตารางจะพบว่าเงินปัจจุบันสุทธิสะสม เท่ากับ 10,867,042 บาทกล่าวคือค่า NPV ที่ได้ออกมามีค่าเป็นบวกหรือมีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าและเหมาะสมเนื่องจากผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการมีค่ามากกว่าต้นทุนของโครงการที่เกิดขึ้น

2.6 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการหรือ IRR หมายถึงอัตราคิดลดที่จะทำให้ผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายที่ได้คิดลดเป็นค่าในปัจจุบันแล้วเท่ากัน อัตราคิดลดดังกล่าวจึงเป็นอัตราที่แสดงถึงความสามารถของเงินลงทุนที่จะก่อให้เกิดรายได้คุ้มกับเงินลงทุนนั้นพอดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ค่า IRR คือการหาดูว่าอัตราคิดลด (Discount Rate) ค่าใดที่จะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นการคำนวณหาค่า IRR จึงคล้ายกับการคำนวณหาค่า NPV แตกต่างกันตรงที่ใช้อัตราดอกเบี้ย (i) ในการหาค่า NPV ส่วนค่า IRR จะใช้อัตราคิดลด (r) ที่ทา ให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์พอดี วิธีการคำนวณหาค่า IRR ในโครงการนี้ผู้วิจัยเลือกคำนวนโดยคิดจากอัตราดอกเบี้ยสูงสุดที่ 50% ดังสมการ

IRR คือค่า r (อัตราส่วนลด) ที่ทำให้ $\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} = 0$ (4-2)

การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการที่อัตราดอกเบี้ย 50% สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ข-7

ตารางที่ ข-6 การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการที่อัตราดอกเบี้ย 50%

ปีที่ (t)	ค่าใช้จ่าย (C_t)	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (B_t)	กระแสเงินสด ($B_t - C_t$)	i = 50% $(1+i)^t$	เงินปัจจุบัน $(B_t-C_t)/(1+i)^t$	เงินปัจจุบันสะสม
0	1,600,000	0	(1,600,000)	1.0000	(1,600,000)	(1,600,000)
1	39,375	1,663,392	1,624,017	1.5000	1,082,678	(517,322)
2	54,375	1,663,392	1,609,017	2.2500	715,119	197,797
3	46,775	1,663,392	1,616,617	3.3750	478,998	676,794
4	54,375	1,663,392	1,609,017	5.0625	317,831	994,625
5	39,375	1,663,392	1,624,017	7.5938	213,861	1,208,486
6	61,775	1,663,392	1,601,617	11.3906	140,609	1,349,094
7	39,375	1,663,392	1,624,017	17.0859	95,050	1,444,145
8	54,375	1,663,392	1,609,017	25.6289	62,781	1,506,926
9	46,775	1,663,392	1,616,617	38.4434	42,052	1,548,978
10	54,375	1,663,392	1,609,017	57.6650	27,903	1,576,881

ตารางที่ ข-6 จะพบว่าที่อัตราดอกเบี้ย 50% ซึ่งเป็นอัตราดอกเบี้ยที่สูงที่สุดของการลงทุนในโครงการนี้ยังคงให้ผลเป็นบวกซึ่งแสดงให้เห็นว่า IRR ที่ได้จากโครงการนี้มีค่ามากกว่า 50% ซึ่งสูงกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด (Minimum Attractive Rate of Return: MARR) ที่ 5% ที่บริษัทกรณีศึกษายอมรับได้แสดงให้เห็นว่าการลงทุนในโครงการนี้ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าและเหมาะสม

2.7 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period: PBP) ระยะเวลาคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาที่ทำให้ผลรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิจากการดำเนินโครงการเท่ากับเงินจ่ายลงทุนครั้งแรก คือ 1,600,000 บาท โดยการคำนวณหากระแสเงินสดรับสุทธิที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 10 ปีของโครงการ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ ข-7 ดังนี้

ตารางที่ ข-7 กระแสเงินสดรับสุทธิของโครงการในช่วงเวลา 10 ปี

ปีที่	เงินลงทุน	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	กระแสเงินสดรับสุทธิ	กระแสเงินสดรับสุทธิสะสม
0	1,600,000	0	(1,600,000)	(1,600,000)
1	39,375	1,663,392	1,624,017	24,017
2	54,375	1,663,392	1,609,017	1,633,034
3	46,775	1,663,392	1,616,617	3,249,651
4	54,375	1,663,392	1,609,017	4,858,668
5	39,375	1,663,392	1,624,017	6,482,685
6	61,775	1,663,392	1,601,617	8,084,302
7	39,375	1,663,392	1,624,017	9,708,319
8	54,375	1,663,392	1,609,017	11,317,336
9	46,775	1,663,392	1,616,617	12,933,953
10	54,375	1,663,392	1,609,017	14,542,970

จากข้อมูลกระแสเงินสดรับสุทธิพบว่าในปีที่ 1 มีกระแสเงินสดรับสุทธิเท่ากับ 1,624,017 บาท ซึ่งมากกว่าเงินลงทุนเท่ากับ 24,017 บาท

ดังนั้นถ้าต้องการกระแสเงินสดรับสุทธิที่เท่ากับ 1,600,000 บาท จะใช้เวลาเท่ากับ 1,600,000/1,624,017 = 0.98 ปี หรือเท่ากับ 1 ปี ดังนั้น ระยะเวลาคือทุนของโครงการ (Payback Period: PBP) มีค่าเท่ากับ 1 ปี

ภาคผนวก ค
กฎระเบียบและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

1. มาตรฐานน้ำเสียของโรงงานในเขตอุตสาหกรรมกบินทร์บุรีก่อนผ่านลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง

1	BOD	not more than	500	mg/L
2	COD	not more than	750	mg/L
3	Suspended Solid (SS)	not more than	200	mg/L
4	Total disolved solid (TDS)	not more than	1300	mg/L
5	Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	not more than	100	mg/L
6	pH		5.0-9.0	
7	Mercury (Hg)	not more than	0.005	mg/L
8	Selenium (Se)	not more than	0.02	mg/L
9	Cadmium (Cd)	not more than	0.03	mg/L
10	Lead (Pb)	not more than	0.1	mg/L
11	Arsenic (As)	not more than	0.25	mg/L
12	Chromium (Cr)	not more than	0.3	mg/L
13	Chromium,Tri (Cr^{+3})	not more than	0.75	mg/L
14	Chromium,Hexa (Cr^{+6})	not more than	0.25	mg/L
15	Barium (Ba)	not more than	1	mg/L
16	Nickel (Ni)	not more than	0.2	mg/L
17	Cooper (Cu)	not more than	1	mg/L
18	Zinc (Zn)	not more than	5	mg/L
19	Manganese (Mn)	not more than	0.5	mg/L
20	Silver (Ag)	not more than	1	mg/L
21	Total Iron	not more than	10	mg/L
22	Fluoride	not more than	5	mg/L
23	Sulphide H_2S	not more than	1	mg/L
24	Cyanide as HCN	not more than	0.2	mg/L
25	Formaldehyde	not more than	1	mg/L

26	Phenols Compound	not more than	1	mg/L
27	Chloride (Cl)	not more than	2000	mg/L
28	Free Chlorine	not more than	1	mg/L
29	Pesticide	not exist		
30	Temperarure	not more than	45°c	
31	Color	not more than	300	ADMI
32	Odour	not to be unacceptable		
33	Oil&Grease	not more than	10	mg/L
34	Surfactants	not more than	30	mg/L
35	Permanganate	not more than	6	mg/L
36	Specific Conductivity	not more than	2000	µhos/cm
37	Radioactive	not exist		
38	Tar	not exist		
39	Sediment or sludge which makes the drainage pipe un flow	not allowed		

2. กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับที่อับอากาศ พ.ศ. 2562

หน้า ๑๒
เล่ม ๑๓๖ ตอนที่ ๑๘ ก ราชกิจจานุเบกษา ๑๕ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๒

กฎกระทรวง

กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับที่อับอากาศ

พ.ศ. ๒๕๖๒

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ วรรคหนึ่ง และมาตรา ๘ วรรคหนึ่ง แห่งพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. ๒๕๕๔ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงแรงงานออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในกฎกระทรวงนี้

"ที่อับอากาศ" (Confined Space) หมายความว่า ที่ซึ่งมีทางเข้าออกจำกัดและไม่ได้ออกแบบไว้สำหรับเป็นสถานที่ทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ และมีสภาพอันตรายหรือมีบรรยากาศอันตราย เช่น อุโมงค์ ถ้ำ บ่อ หลุม ห้องใต้ดิน ห้องนิรภัย ถังน้ำมัน ถังหมัก ถัง ไซโล ท่อ เตา ภาชนะ หรือสิ่งอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน

"สภาพอันตราย" หมายความว่า สภาพหรือสภาวะที่อาจทำให้ลูกจ้างได้รับอันตรายจากการทำงานอย่างหนึ่งอย่างใด ดังต่อไปนี้

(๑) มีวัตถุหรือวัสดุที่อาจก่อให้เกิดการจมลงของลูกจ้างหรือถมทับลูกจ้างที่เข้าไปทำงาน

(๒) มีสภาพที่อาจทำให้ลูกจ้างตก ถูกกัก หรือติดอยู่ภายใน

(๓) มีสภาวะที่ลูกจ้างมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากบรรยากาศอันตราย

(๔) สภาพอื่นใดที่อาจเป็นอันตรายต่อร่างกายหรือชีวิตตามที่อธิบดีประกาศกำหนด

"บรรยากาศอันตราย" หมายความว่า สภาพอากาศที่อาจทำให้ลูกจ้างได้รับอันตรายจากสภาวะอย่างหนึ่งอย่างใด ดังต่อไปนี้

(๑) มีออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ ๑๙.๕ หรือมากกว่าร้อยละ ๒๓.๕ โดยปริมาตร

(๒) มีก๊าซ ไอ หรือละอองที่ติดไฟหรือระเบิดได้ เกินร้อยละ ๑๐ ของค่าความเข้มข้นขั้นต่ำของสารเคมีแต่ละชนิดในอากาศที่อาจติดไฟหรือระเบิดได้ (lower flammable limit หรือ lower explosive limit)

(๓) มีฝุ่นที่ติดไฟหรือระเบิดได้ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเท่ากับหรือมากกว่าค่าความเข้มข้นขั้นต่ำสุดของฝุ่นที่ติดไฟหรือระเบิดได้แต่ละชนิด (minimum explosible concentration)

(๔) มีค่าความเข้มข้นของสารเคมีแต่ละชนิดเกินมาตรฐานที่กำหนดตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีอันตราย

(๕) **สภาวะอื่นใดที่อาจเป็นอันตรายต่อร่างกายหรือชีวิตตามที่**อธิบดีประกาศกำหนด

หมวด ๑
บททั่วไป

ข้อ ๒ ให้นายจ้างจัดทำป้ายแจ้งข้อความว่า "ที่อับอากาศ อันตราย ห้ามเข้า" ให้มีขนาดมองเห็นได้ชัดเจน ติดตั้งไว้โดยเปิดเผยบริเวณทางเข้าออกของที่อับอากาศทุกแห่ง สำหรับที่อับอากาศซึ่งต้องมีอุปกรณ์เฉพาะในการเปิดทางเข้าออก ให้นายจ้างจัดให้มีมาตรการควบคุมเพื่อความปลอดภัยในการเปิดทางเข้าออกและต้องติดป้ายแจ้งข้อความดังกล่าวด้วย

ข้อ ๓ ห้ามนายจ้างให้ลูกจ้างหรือบุคคลใดเข้าไปในที่อับอากาศ เว้นแต่นายจ้างได้ดำเนินการให้มีความปลอดภัยตามกฎกระทรวงนี้แล้ว และลูกจ้างหรือบุคคลนั้นได้รับอนุญาตจากผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาตตามข้อ ๑๗ และเป็นผู้ได้รับการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามข้อ ๒๐

ข้อ ๔ ห้ามนายจ้างอนุญาตให้ลูกจ้างหรือบุคคลใดเข้าไปในที่อับอากาศ หากนายจ้างรู้หรือควรรู้ว่าลูกจ้างหรือบุคคลนั้นเป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ โรคหัวใจ หรือโรคอื่นซึ่งแพทย์เห็นว่าการเข้าไปในที่อับอากาศอาจเป็นอันตรายต่อบุคคลดังกล่าว

หมวด ๒
มาตรการความปลอดภัย

ข้อ ๕ ให้นายจ้างจัดให้มีการประเมินสภาพอันตรายในที่อับอากาศ หากพบว่ามีสภาพอันตราย นายจ้างต้องจัดให้มีมาตรการควบคุมสภาพอันตรายเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อลูกจ้าง และให้นายจ้างเก็บหลักฐานการดำเนินการไว้ ณ สถานประกอบกิจการ หรือสถานที่ทำงาน เพื่อให้พนักงานตรวจความปลอดภัยตรวจสอบได้

ข้อ ๖ ให้นายจ้างจัดให้มีการตรวจวัด บันทึกผลการตรวจวัด และประเมินสภาพอากาศในที่อับอากาศก่อนให้ลูกจ้างเข้าไปทำงานและในระหว่างที่ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศ หากพบว่ามีสภาวะที่เป็นบรรยากาศอันตราย ให้นายจ้างดำเนินการ ดังต่อไปนี้

(๑) ห้ามบุคคลใดเข้าไปในที่อับอากาศ

(๒) กรณีที่มีลูกจ้างอยู่ระหว่างการทำงานในที่อับอากาศ ให้นำลูกจ้างออกจากบริเวณนั้นทันที

(๓) ประเมินและค้นหาสาเหตุของการเกิดบรรยากาศอันตราย

(๔) ดำเนินการเพื่อทำให้สภาพอากาศในที่อับอากาศนั้นไม่มีบรรยากาศอันตราย เช่น การระบายอากาศหรือการปฏิบัติตามมาตรการอื่นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานแก่ลูกจ้าง

ให้นายจ้างเก็บบันทึกผลการตรวจวัด การประเมินสภาพอากาศ และการดำเนินการเพื่อให้สภาพอากาศในที่อับอากาศไม่มีบรรยากาศอันตรายไว้ ณ สถานประกอบกิจการ หรือสถานที่ทำงาน เพื่อให้พนักงานตรวจความปลอดภัยตรวจสอบได้อย่างน้อยหนึ่งปี

ข้อ ๗ หากนายจ้างได้ดำเนินการตามข้อ ๖ แล้ว ที่อับอากาศยังมีบรรยากาศอันตรายอยู่ แต่นายจ้างมีความจำเป็นที่จะต้องให้ลูกจ้างหรือบุคคลใดเข้าไปในที่อับอากาศที่มีบรรยากาศอันตรายนั้น ให้นายจ้างจัดให้ลูกจ้างหรือบุคคลนั้นสวมใส่หรือใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลที่เหมาะสมกับลักษณะงาน และใช้อุปกรณ์การทำงานชนิดที่ทำให้บุคคลดังกล่าวทำงานในที่อับอากาศได้โดยปลอดภัย

ข้อ ๘ กรณีที่นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศ นายจ้างต้องจัดให้มีลูกจ้างซึ่งได้รับการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามข้อ ๒๐ คนหนึ่งหรือหลายคนตามความจำเป็น เป็นผู้ควบคุมงานประจำในบริเวณพื้นที่ทำงานตลอดเวลาเพื่อทำหน้าที่ ดังต่อไปนี้

(๑) จัดทำแผนการปฏิบัติงานและการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงานและแผนช่วยเหลือผู้ปฏิบัติงานในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน และปิดประกาศหรือแจ้งให้ลูกจ้างทราบเป็นลายลักษณ์อักษร

(๒) ชี้แจงและซักซ้อมหน้าที่ความรับผิดชอบ วิธีการปฏิบัติงาน และวิธีการป้องกันอันตรายให้เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้

(๓) ควบคุมดูแลให้ลูกจ้างใช้เครื่องป้องกันอันตรายและอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล และให้ตรวจตราอุปกรณ์ดังกล่าวให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะใช้งาน

(๔) สั่งให้หยุดการทำงานไว้ชั่วคราวในทันที ในกรณีที่มีเหตุซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อลูกจ้าง หรือลูกจ้างแจ้งว่าอาจเกิดอันตราย จนกว่าเหตุนั้นจะหมดไป และหากจำเป็นจะขอให้ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาตตามข้อ ๑๗ ยกเลิกการอนุญาตให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศนั้นเสียก็ได้

ผู้ควบคุมงานตามวรรคหนึ่งอาจทำหน้าที่ควบคุมการทำงานในที่อับอากาศหลายจุด การทำงานในบริเวณพื้นที่เดียวกันในคราวเดียวกันก็ได้ ทั้งนี้ ต้องสามารถมาถึงแต่ละจุดการทำงานได้อย่างรวดเร็วในทันทีที่มีเหตุฉุกเฉิน

ข้อ ๙ ให้นายจ้างดำเนินการ ดังต่อไปนี้

(๑) จัดให้มีอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล อุปกรณ์ช่วยเหลือ และช่วยชีวิตที่เหมาะสมกับลักษณะงานตามมาตรฐานที่กำหนดตามกฎหมายว่าด้วยความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน และต้องควบคุมดูแลให้ลูกจ้างซึ่งทำงานในที่อับอากาศและผู้ช่วยเหลือสวมใส่หรือใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลและอุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิตนั้น

(๒) จัดให้ลูกจ้างซึ่งได้รับการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามข้อ ๒๐ คนหนึ่งหรือหลายคนตามความจำเป็น เป็นผู้ช่วยเหลือ พร้อมด้วยอุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิต

ที่เหมาะสมกับลักษณะงาน คอยเฝ้าดูแลบริเวณทางเข้าออกที่อับอากาศ โดยให้สามารถติดต่อสื่อสารกับลูกจ้างที่ทำงานในที่อับอากาศและช่วยเหลือลูกจ้างออกจากที่อับอากาศได้ตลอดเวลา

ข้อ ๑๐ ให้นายจ้างจัดให้มีสิ่งปิดกั้นที่สามารถป้องกันมิให้บุคคลใดเข้าหรือตกลงไปในที่อับอากาศที่มีลักษณะเป็นช่อง โพรง หลุม ถังเปิด หรือสิ่งอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน

ข้อ ๑๑ กรณีที่ที่อับอากาศที่ให้ลูกจ้างทำงานมีผนังต่อหรือมีโอกาสที่พลังงาน สาร หรือสิ่งที่เป็นอันตรายจะรั่วไหลเข้าสู่บริเวณที่อับอากาศที่ทำงานอยู่ ให้นายจ้างปิดกั้นหรือกระทำโดยวิธีการอื่นใดที่มีผลในการป้องกันมิให้พลังงาน สาร หรือสิ่งที่เป็นอันตรายเข้าสู่บริเวณที่อับอากาศในระหว่างที่ลูกจ้างกำลังทำงาน

ข้อ ๑๒ ให้นายจ้างจัดบริเวณทางเดินหรือทางเข้าออกที่อับอากาศให้มีความสะดวกและปลอดภัย

ข้อ ๑๓ ให้นายจ้างประกาศห้ามลูกจ้างหรือบุคคลใดสูบบุหรี่ หรือพกพาอุปกรณ์สำหรับจุดไฟหรือติดไฟที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำงานเข้าไปในที่อับอากาศ โดยปิดหรือแสดงไว้บริเวณทางเข้าออกที่อับอากาศ

ข้อ ๑๔ ให้นายจ้างจัดให้มีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการใช้งานในที่อับอากาศและตรวจสอบให้อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นมีสภาพสมบูรณ์และปลอดภัยพร้อมใช้งาน ในกรณีที่ที่อับอากาศนั้นมีบรรยากาศอันตรายที่ไวไฟหรือระเบิดได้ ต้องเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดที่ไม่เป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดการติดไฟหรือระเบิดได้

ข้อ ๑๕ ให้นายจ้างจัดให้มีอุปกรณ์ดับเพลิงที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในจำนวนเพียงพอที่จะใช้ได้ทันทีที่มีการทำงานที่อาจก่อให้เกิดการลุกไหม้

ข้อ ๑๖ ห้ามนายจ้างอนุญาตให้ลูกจ้างทำงานต่อไปนี้ในที่อับอากาศ

(๑) งานที่ก่อให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟในที่อับอากาศ เช่น การเชื่อม การเผาไหม้ การย้ำหมุด การเจาะ การขัด หรืองานอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน

(๒) งานที่ใช้สารระเหยง่าย สารพิษ หรือสารไวไฟ

มิให้นำความในวรรคหนึ่งมาใช้บังคับกับกรณีที่นายจ้างได้จัดให้มีมาตรการความปลอดภัยตามกฎกระทรวงนี้ ทั้งนี้ ลูกจ้างผู้ปฏิบัติงานอาจปฏิเสธการทำงานในคราวใดก็ได้ หากเห็นว่าการทำงานในคราวนั้นไม่มีมาตรการรองรับเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อลูกจ้าง

หมวด ๓
การอนุญาต

ข้อ ๑๗ ให้นายจ้างเป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาตให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศ ในการนี้ นายจ้างจะมอบหมายเป็นหนังสือให้ลูกจ้างซึ่งได้รับการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามข้อ ๒๐ คนหนึ่งหรือหลายคนตามความจำเป็น เป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาตแทนก็ได้

ให้นายจ้างเก็บหนังสือมอบหมายไว้ ณ สถานประกอบกิจการ หรือสถานที่ทำงาน เพื่อให้พนักงานตรวจความปลอดภัยตรวจสอบได้

ข้อ ๑๘ ให้นายจ้างจัดให้มีหนังสืออนุญาตให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศทุกครั้ง โดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

(๑) ที่อับอากาศที่อนุญาตให้ลูกจ้างเข้าไปทำงาน

(๒) วัน เวลาในการทำงาน

(๓) งานที่ให้ลูกจ้างเข้าไปทำ

(๔) ชื่อลูกจ้างที่อนุญาตให้เข้าไปทำงาน

(๕) ชื่อผู้ควบคุมงานตามข้อ ๘

(๖) ชื่อผู้ช่วยเหลือตามข้อ ๙ (๒)

(๗) อันตรายที่ลูกจ้างอาจได้รับ และวิธีการปฏิบัติตนและการช่วยเหลือลูกจ้างออกจากที่อับอากาศในกรณีฉุกเฉิน และวิธีการหลีกหนีภัย

(๘) ผลการประเมินสภาพอันตรายและบรรยากาศอันตราย

(๙) มาตรการความปลอดภัยที่เตรียมไว้ก่อนการให้ลูกจ้างเข้าไปทำงาน

(๑๐) อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล และอุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิต

(๑๑) ชื่อและลายมือชื่อผู้ขออนุญาต และชื่อและลายมือชื่อผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาตตามข้อ ๑๗

(๑๒) ผลการตรวจสุขภาพของลูกจ้างที่ทำงานในที่อับอากาศโดยมีใบรับรองแพทย์

ข้อ ๑๙ ให้นายจ้างเก็บหนังสืออนุญาตให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศตามข้อ ๑๘ ไว้ ณ สถานประกอบกิจการหรือสถานที่ทำงาน เพื่อให้พนักงานตรวจความปลอดภัยตรวจสอบได้และให้ปิดหรือแสดงสำเนาหนังสือดังกล่าวไว้ที่บริเวณทางเข้าที่อับอากาศให้เห็นชัดเจนตลอดเวลาที่ลูกจ้างทำงาน

หมวด ๙
การฝึกอบรม

ข้อ ๒๐ ให้นายจ้างจัดให้มีการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศแก่ลูกจ้างทุกคนที่ทำงานในที่อับอากาศรวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้อง ให้มีความรู้ความเข้าใจในทักษะที่จำเป็นในการทำงานอย่างปลอดภัยตามหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย พร้อมทั้งวิธีการและขั้นตอนในการปฏิบัติงานตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และหลักสูตรที่อธิบดีประกาศกำหนด

ในกรณีที่นายจ้างไม่สามารถดำเนินการฝึกอบรมตามวรรคหนึ่งได้เอง จะต้องให้นิติบุคคลที่ได้รับใบอนุญาตตามมาตรา ๑๑ เป็นผู้ดำเนินการ

ข้อ ๒๑ ให้นายจ้างเก็บหลักฐานการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามข้อ ๒๐ ไว้ ณ สถานประกอบกิจการหรือสถานที่ทำงาน เพื่อให้พนักงานตรวจความปลอดภัยตรวจสอบได้

บทเฉพาะกาล

ข้อ ๒๒ ให้ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการ และหลักสูตรการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศ พ.ศ. ๒๕๔๙ และที่แก้ไขเพิ่มเติม ใช้ได้ต่อไปเท่าที่ไม่ขัดหรือแย้งกับกฎกระทรวงนี้ จนกว่าจะมีประกาศตามข้อ ๒๐ ใช้บังคับ

ให้หน่วยงานฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศที่ได้ขึ้นทะเบียน ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการและหลักสูตรการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศ พ.ศ. ๒๕๔๙ และที่แก้ไขเพิ่มเติม ก่อนวันที่กฎกระทรวงนี้ใช้บังคับดำเนินการตามประกาศดังกล่าวต่อไป และให้ถือเป็นนิติบุคคลที่ได้รับใบอนุญาตตามมาตรา ๑๑ ตามข้อ ๒๐ วรรคสอง จนกว่าจะมีนิติบุคคลที่ได้รับใบอนุญาตตามมาตรา ๑๑ ดำเนินการ

ข้อ ๒๓ ในกรณีที่นายจ้างจัดให้มีการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานในที่อับอากาศ พ.ศ. ๒๕๔๗ ให้ถือว่านายจ้างได้จัดให้มีการฝึกอบรมแก่ลูกจ้างและลูกจ้างได้รับการฝึกอบรมตามข้อ ๒๐ แล้ว

ให้ไว้ ณ วันที่ ๑๑ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๖๒
พลตำรวจเอก อดุลย์ แสงสิงแก้ว
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงแรงงาน

หน้า ๑๘
เล่ม ๑๓๖ ตอนที่ ๑๘ ก ราชกิจจานุเบกษา ๑๕ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๒

หมายเหตุ :- เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ โดยที่มาตรา ๘ วรรคหนึ่ง แห่งพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. ๒๕๕๔ บัญญัติให้นายจ้างบริหารจัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดในกฎกระทรวง ซึ่งในการทำงานเกี่ยวกับที่อับอากาศสมควรจะต้องมีระบบการบริหารจัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ได้มาตรฐานอันจะทำให้ลูกจ้างและผู้เกี่ยวข้องมีความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับที่อับอากาศมากยิ่งขึ้น จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายรัฐไกร รอดพุก

ชื่อการค้นคว้าอิสระ การปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียกรณีศึกษา บริษัทผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า

สาขาวิชา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม

ประวัติ ประวัติการศึกษา

ปี พ.ศ. 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สาย วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนวัดเขมาภิรตาราม จังหวัดนนทบุรี

ปี พ.ศ. 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม (ET) คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปี พ.ศ. 2562 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิชาเอกอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ประวัติการทำงาน

ปี พ.ศ. 2553-ปัจจุบัน บริษัทอาร์เซลิค ฮิตาชิ โฮม แอพพลายแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ตำแหน่งผู้จัดการแผนกสิ่งแวดล้อม พลังงาน และความยั่งยืนขององค์กร สังกัดฝ่ายวิศวกรรมโรงงานและการจัดการสิ่งแวดล้อม