



การศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอนด้วยถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน
และชนิดหมุนเวียนตะกอนสำหรับการผลิตน้ำประปา กรณีศึกษา : โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอนด้วยถังตกตะกอนชนิด
ชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอนสำหรับการผลิตน้ำประปา กรณีศึกษา : โรงงานผลิต
น้ำมหาสวัสดิ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

INVESTIGATION AND COMPARISON THE ENERGY CONSUMPTION OF
CLARIFICATION PROCESS OF SLUDGE BLANKET AND SLUDGE RECIRCULATION
CLARIFIER FOR WATER TREATMENT PLANT. CASE STUDY : MAHASAWAT
WATER TREATMENT PLANT.



A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (ENERGY ENGINEERING)
Department of MECHANICAL ENGINEERING
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2017
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ การศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอนด้วยถัง
ตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอนสำหรับการผลิต
น้ำประปา กรณีศึกษา : โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

โดย วิวัฒน์ อ่อนนาคกล้า

สาขาวิชา วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติศักดิ์ คู่วริญญ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศน์วงศ์)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทสพล เขตเจนการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติศักดิ์ คู่วริญญ)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธิบดีรินทร์ แสงสว่าง)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อธิกร วงศธนวิศ)

58406303 : วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทบัณฑิต

คำสำคัญ : พลังงานจำเพาะ, ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน, ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน, กระบวนการผลิตน้ำประปา

นาย วิวัฒน์ อ่อนนาคกล้า: การศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอนด้วยถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอนสำหรับการผลิตน้ำประปา กรณีศึกษา : โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติศักดิ์ คู่วรัญญู

กระบวนการตกตะกอนเป็นกระบวนการกำจัดตะกอนและสารแขวนลอยที่ปะปนมากับน้ำดิบ บทความนี้จะศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน เพื่อนำไปกำหนดเป็นมาตรการประหยัดพลังงาน โดยปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงคือ ความขุ่นน้ำดิบในช่วง 26-40 NTU และอัตราการผลิตในช่วง 3.76-5.20 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ศึกษาถังตกตะกอน 2 ชนิดคือ ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน ผลการทดลองพบว่าความขุ่นน้ำดิบไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนอัตราการผลิตส่งผลต่อการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อัตราการผลิต 5.20 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีประหยัดพลังงานกว่าที่อัตราการผลิต 3.76 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนจะประหยัดพลังงานกว่าถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน 31-37 % จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ไปปรับเปลี่ยนรูปแบบการอัตราการผลิตให้ใช้พลังงานน้อยที่สุด พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอนได้ประมาณ 5.24 % คิดเป็นมูลค่า 688,207 บาทต่อปี

58406303 : Major (ENERGY ENGINEERING)

Keyword : Specific energy consumption, Sludge blanket clarifier, Sludge recirculation clarifier, Water treatment process

MR. WIWAT ONNAKLUM : INVESTIGATION AND COMPARISON THE ENERGY CONSUMPTION OF CLARIFICATION PROCESS OF SLUDGE BLANKET AND SLUDGE RECIRCULATION CLARIFIER FOR WATER TREATMENT PLANT. CASE STUDY : MAHASAWAT WATER TREATMENT PLANT. THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR KITTISAK KHUWARANYU, D.ENG.

Clarification is the turbidity removal process of water treatment plant. The objective of this paper was to study the factors affecting on energy consumption in order to control energy saving strategy. These factors were raw water turbidity in the range of 26-40 NTU and production rate in the range of 3.76-5.20 m³/sec. Clarifiers were sludge blanket and sludge recirculation clarifier. Experimental results found that the raw water turbidity was not significantly affect to energy consumption, while the production rate was significantly affect to energy consumption. Sludge blanket clarifier provided lower energy consumption than sludge recirculation clarifier about 31-37%. Subsequently, the operating pattern in production rate can be arranged to decreased energy consumption. The results showed that it can be reduced about 5.24 % of energy saving of clarification process about 688,207 Baht per year.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติศักดิ์ คูวัลย์ญ ซึ่งเป็นอาจารย์ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความรู้ ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่หอสมุดพระราชวังสนามจันทร์ สำหรับหนังสือและตำราเรียนที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนการทำงานของผู้วิจัย จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี

วิวัฒน์ อ่อนนาคกล้า



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	1
สารบัญรูป.....	4
บทที่ 1 บทนำ.....	7
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	7
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	11
1.3 แนวคิดของงานวิจัย.....	12
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	12
1.5 ขั้นตอนการวิจัย.....	12
1.8 ความจำกัดของการวิจัย.....	13
1.9 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	13
1.10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา.....	15
2.2 พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption).....	18
2.3 กลไกการทำงานของกระบวนการตกตะกอน.....	19
2.4 การใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอน.....	25
2.5 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย.....	27

2.6 ข้อมูลของโรงงานผลิตน้ำประปาที่ใช้ในงานวิจัย	32
2.7 ข้อมูลกระบวนการตกตะกอน.....	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	43
3.1 การพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน.....	43
3.2 เครื่องมือสำหรับงานวิจัย.....	46
3.3 สถานที่ทำการวิจัย	49
3.4 ระยะเวลาทำการวิจัย.....	49
3.5 การวางแผนการวิจัย	50
3.6 การวิเคราะห์ผล	53
บทที่ 4 ผลการวิจัย	54
4.1 ผลของความขุ่นน้ำดิบและอัตราการผลิตต่อการใช้พลังงาน.....	54
4.2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน.....	66
4.3 พัฒนาสมการสำหรับประมาณค่าปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน.....	68
4.4 มาตรการประหยัดพลังงาน.....	69
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	75
รายการอ้างอิง	76
ภาคผนวก.....	79
ภาคผนวก ก มาตรการจัดการพลังงานของถังตกตะกอนให้สอดคล้องกับความต้องการการผลิต	80
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้	87
ภาคผนวก ค ตารางบันทึกผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้	98
ภาคผนวก ง ตารางบันทึกการปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิต.....	104
ภาคผนวก จ ตารางบันทึกพลังงานรวมและพลังงานจำเพาะในกระบวนการตกตะกอน.....	117

ภาคผนวก ฉ ค่าใช้จ่ายรวมในกระบวนการตกตะกอน 121

ประวัติผู้เขียน..... 123



สารบัญตาราง

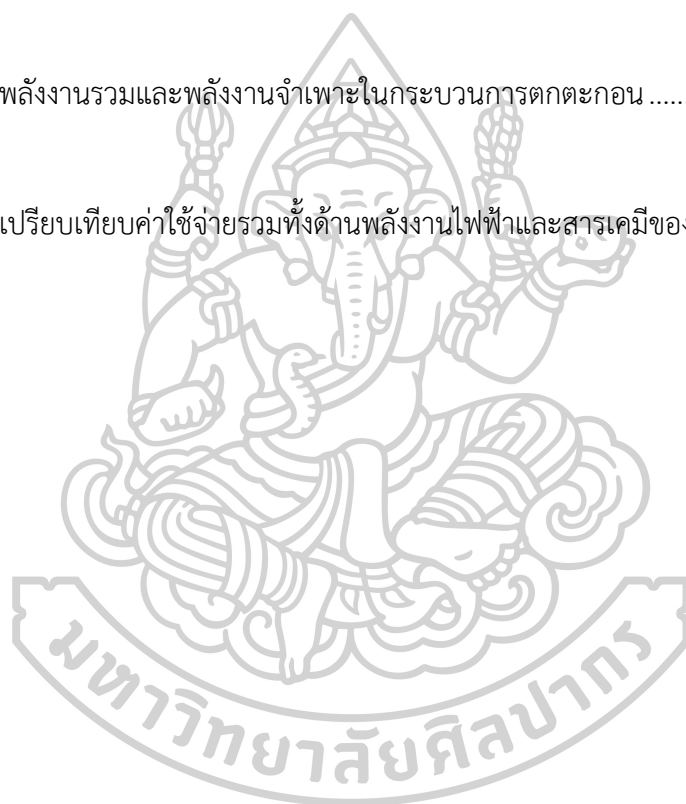
หน้า

ตารางที่ 1. 1	งานวิจัยด้านมาตรการในการประหยัดพลังงานของโรงงานผลิตน้ำประปา.....	9
ตารางที่ 2. 1	ตารางสำหรับทดสอบสมมติฐานด้วย Two-Way ANOVA	30
ตารางที่ 2. 2	เครื่องจักรในกระบวนการสูบน้ำดิบ	35
ตารางที่ 2. 3	ข้อมูลทางเทคนิคของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน	35
ตารางที่ 2. 4	ข้อมูลทางเทคนิคของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน	36
ตารางที่ 2. 5	ข้อมูลทางเทคนิคของบ่อกรองชนิดวัสดุกรองชนิดเดียว.....	36
ตารางที่ 2. 6	ข้อมูลทางเทคนิคของบ่อกรองชนิดวัสดุกรองสองชนิด	37
ตารางที่ 2. 7	ข้อมูลของเครื่องสูบน้ำของกระบวนการสูบน้ำ/สูบส่งน้ำ.....	38
ตารางที่ 2. 8	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยประจำปี 2559	39
ตารางที่ 2. 9	แสดงอัตราการใช้สารส้มที่ความขุ่นน้ำดิบ 26-40 NTU	40
ตารางที่ 3. 1	แสดงระยะเวลาในการทำวิจัย.....	49
ตารางที่ 4. 1	ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างพลังงานในกระบวนการตกตะกอนและ	60
ตารางที่ 4. 2	ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างพลังงานในกระบวนการตกตะกอนและ	60
ตารางที่ 4. 3	ผลการทดสอบความขุ่นน้ำดิบและอัตราการผลิตต่อการใช้พลังงานโดยการใช้ ANOVA กรณีถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน.....	61
ตารางที่ 4. 4	ผลการทดสอบความขุ่นน้ำดิบและอัตราการผลิตต่อการใช้พลังงานโดยการใช้ ANOVA กรณีถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน.....	61
ตารางที่ 4. 5	เปรียบเทียบการใช้พลังงานของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและหมุนเวียนตะกอน ..	67
ตารางที่ 4. 6	ผลประหยัดจากการปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตระหว่างเดือน.....	71

ตารางที่ ก. 1 รูปแบบอัตราการผลิต.....	83
ตารางที่ ก. 2 การปรับเปลี่ยนอัตราการผลิตในเดือน มิถุนายน 2559.....	85
ตารางที่ ข. 1 ผลของความชุ่มน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 3.76-4.05 m ³ /sec.....	88
ตารางที่ ข. 2 ผลของความชุ่มน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.05-4.24 m ³ /sec.....	89
ตารางที่ ข. 3 ผลของความชุ่มน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.24-4.63 m ³ /sec.....	90
ตารางที่ ข. 4 ผลของความชุ่มน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.63-4.92 m ³ /sec.....	91
ตารางที่ ข. 5 ผลของความชุ่มน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.92-5.20 m ³ /sec.....	92
ตารางที่ ข. 6 ผลของความชุ่มน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 3.76-4.05 m ³ /sec.....	93
ตารางที่ ข. 7 ผลของความชุ่มน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.05-4.24 m ³ /sec.....	94
ตารางที่ ข. 8 ผลของความชุ่มน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.24-4.63 m ³ /sec.....	95
ตารางที่ ข. 9 ผลของความชุ่มน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.63-4.92 m ³ /sec.....	96
ตารางที่ ข. 10 ผลของความชุ่มน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.92-5.20 m ³ /sec.....	97
ตารางที่ ค. 1 พลังงานและพลังงานจำเพาะ ในช่วงอัตราการผลิต 3.76-5.20 m ³ /sec.....	99
ตารางที่ ค. 2 พลังงานและพลังงานจำเพาะ ในช่วงอัตราการผลิต 3.76-5.20 m ³ /sec.....	101
ตารางที่ ง. 1 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนมกราคม 2559.....	105
ตารางที่ ง. 2 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2559.....	106
ตารางที่ ง. 3 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนมีนาคม 2559.....	107
ตารางที่ ง. 4 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนเมษายน 2559.....	108
ตารางที่ ง. 5 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนพฤษภาคม 2559.....	109
ตารางที่ ง. 6 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนมิถุนายน 2559.....	110
ตารางที่ ง. 7 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนกรกฎาคม 2559.....	111

หน้า

ตารางที่ ง. 8	ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนสิงหาคม 2559	112
ตารางที่ ง. 9	ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนกันยายน 2559.....	113
ตารางที่ ง. 10	ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนตุลาคม 2559	114
ตารางที่ ง. 11	ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนพฤศจิกายน 2559.....	115
ตารางที่ ง. 12	ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนธันวาคม 2559	116
ตารางที่ จ. 1	พลังงานรวมและพลังงานจำเพาะในกระบวนการตกตะกอน	118
ตารางที่ ฉ. 1	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมทั้งด้านพลังงานไฟฟ้าและสารเคมีของถังตกตะกอน	122



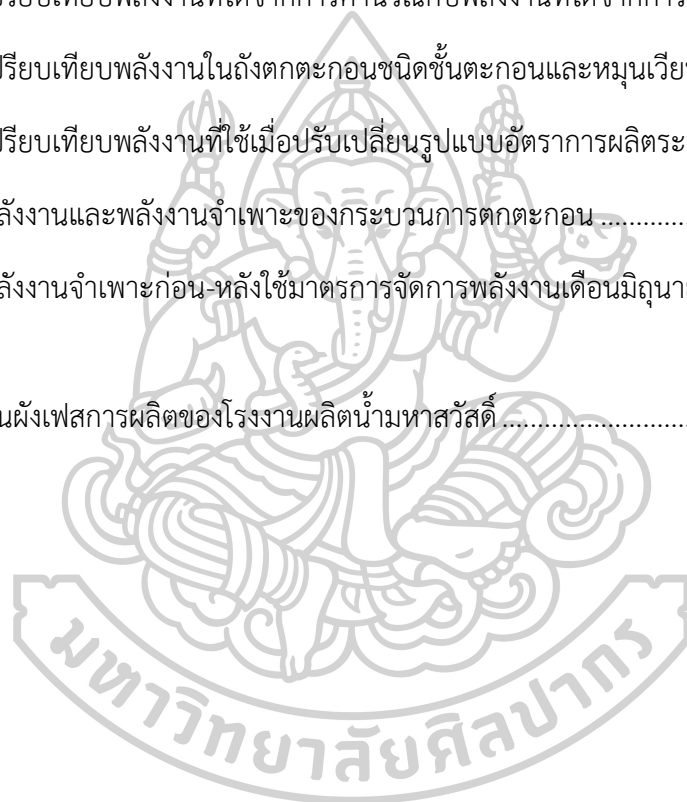
สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1. 1 ปริมาณการใช้น้ำประปาปี 2555-2558.....	7
รูปที่ 1. 2 ปริมาณการใช้น้ำประปาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละโรงงานผลิตน้ำประปาช่วงปี 2555 – 2558.....	8
รูปที่ 1. 3 การใช้พลังงานของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์.....	8
รูปที่ 2. 1 แผนภูมิกระบวนการผลิตน้ำประปา.....	16
รูปที่ 2. 2 เครื่องจักรในกระบวนการตกตะกอน.....	20
รูปที่ 2. 3 ถังกวนเร็วแบบชลศาสตร์.....	20
รูปที่ 2. 4 ถังกวนเร็วแบบเครื่องกล [1].....	21
รูปที่ 2. 5 เครื่องกวนเร็วในเส้นท่อ[1].....	21
รูปที่ 2. 6 ถังกวนช้าแบบชลศาสตร์ (ก) แบบแนวราบ (ข) แบบแนวตั้ง.....	22
รูปที่ 2. 7 ถังตกตะกอนแบบแนวนอน(ถังสี่เหลี่ยม).....	23
รูปที่ 2. 8 ถังตกตะกอนแบบแนวตั้ง(ถังวงกลม)[1].....	24
รูปที่ 2. 9 ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน [1].....	24
รูปที่ 2. 10 ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน[24].....	25
รูปที่ 2. 11 Free body diagram ความเค้นเฉือนสำหรับของไหล.....	26
รูปที่ 2. 12 แสดงการสร้างเส้นกราฟถดถอย.....	28
รูปที่ 2. 13 แสดงการหาค่า a และ b ของสมการถดถอย.....	28
รูปที่ 2. 14 แสดงโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ จาก Google earth.....	32
รูปที่ 2. 15 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตน้ำประปา.....	33
รูปที่ 2. 16 แสดงอุปกรณ์และกระบวนการทำงานของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน.....	41
รูปที่ 2. 17 แสดงอุปกรณ์และกระบวนการทำงานของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน.....	42
รูปที่ 3. 1 แผนผังเฟสการผลิตและ Input Output ของกระบวนการตกตะกอน.....	44

รูปที่ 3. 2	แผนผังการทำงานของถังตกตะกอน.....	44
รูปที่ 3. 3	ปริมาณความต้องการน้ำดิบ ในช่วง กรกฎาคม 2558 – ธันวาคม 2559	45
รูปที่ 3. 4	ปริมาณความต้องการน้ำดิบในเดือน กรกฎาคม 2559	46
รูปที่ 3. 5	ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน.....	47
รูปที่ 3. 6	ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน.....	47
รูปที่ 3. 7	เครื่องวัดอัตราการไหล.....	48
รูปที่ 3. 8	เครื่องวัดความขุ่น	48
รูปที่ 3. 9	เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า.....	49
รูปที่ 3. 10	แผนการวิจัย	50
รูปที่ 3. 11	แผนการทดลองผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน	51
รูปที่ 3. 12	วิธีการทดลอง.....	52
รูปที่ 4. 1	ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 3.76-4.05 m ³ /sec.....	54
รูปที่ 4. 2	ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.05-4.34 m ³ /sec.....	55
รูปที่ 4. 3	ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.34-4.63 m ³ /sec.....	55
รูปที่ 4. 4	ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.63-4.92 m ³ /sec.....	56
รูปที่ 4. 5	ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.92-5.20 m ³ /sec.....	56
รูปที่ 4. 6	ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 3.76-4.05 m ³ /sec.....	57
รูปที่ 4. 7	ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.05-4.34 m ³ /sec.....	57
รูปที่ 4. 8	ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.34-4.63 m ³ /sec.....	58
รูปที่ 4. 9	ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.63-4.92 m ³ /sec.....	58
รูปที่ 4. 10	ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.92-5.20 m ³ /sec	59
รูปที่ 4. 11	ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนอนุภาคของตะกอนในน้ำดิบ (number/ml) กับความขุ่นน้ำดิบ (NTU)[17]	62

รูปที่ 4. 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนอนุภาคของตะกอนขนาดใหญ่กว่า 5 μm และเล็กกว่า 5 μm ในน้ำดิบ (number/ml) กับความขุ่นน้ำดิบ (NTU) [17].....	62
รูปที่ 4. 13 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคตะกอนในน้ำดิบเฉลี่ยกับความขุ่นน้ำดิบ(NTU)[17].	63
รูปที่ 4. 14 พลังงานในถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน.....	64
รูปที่ 4. 15 พลังงานในถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน.....	64
รูปที่ 4. 16 เปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากการคำนวณกับพลังงานที่ได้จากการตรวจวัดจริง	66
รูปที่ 4. 17 เปรียบเทียบพลังงานในถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและหมุนเวียนตะกอน	66
รูปที่ 4. 18 เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้เมื่อปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตระหว่าง.....	69
รูปที่ 4. 19 พลังงานและพลังงานจำเพาะของกระบวนการตกตะกอน	72
รูปที่ 4. 20 พลังงานจำเพาะก่อน-หลังใช้มาตรการจัดการพลังงานเดือนมิถุนายน 2559	73
รูปที่ ก. 1 แผนผังเฟสการผลิตของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์.....	81



บทที่ 1

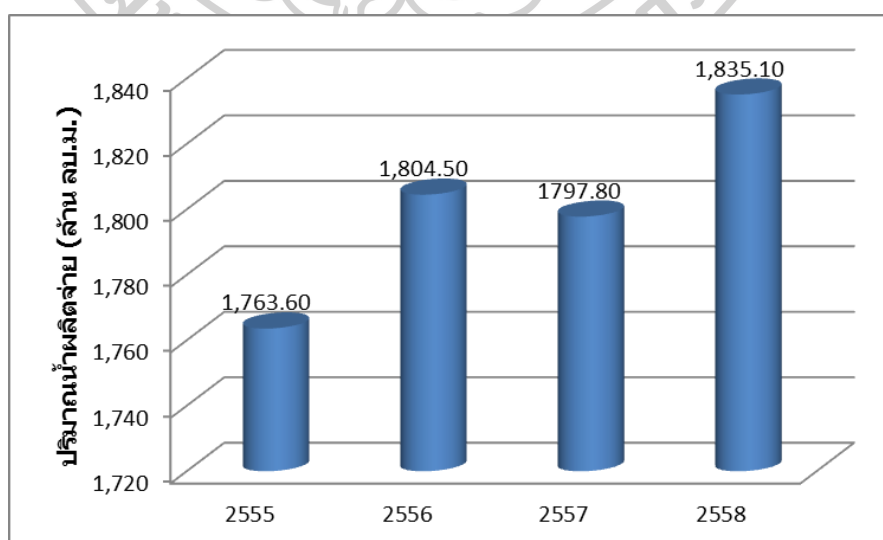
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

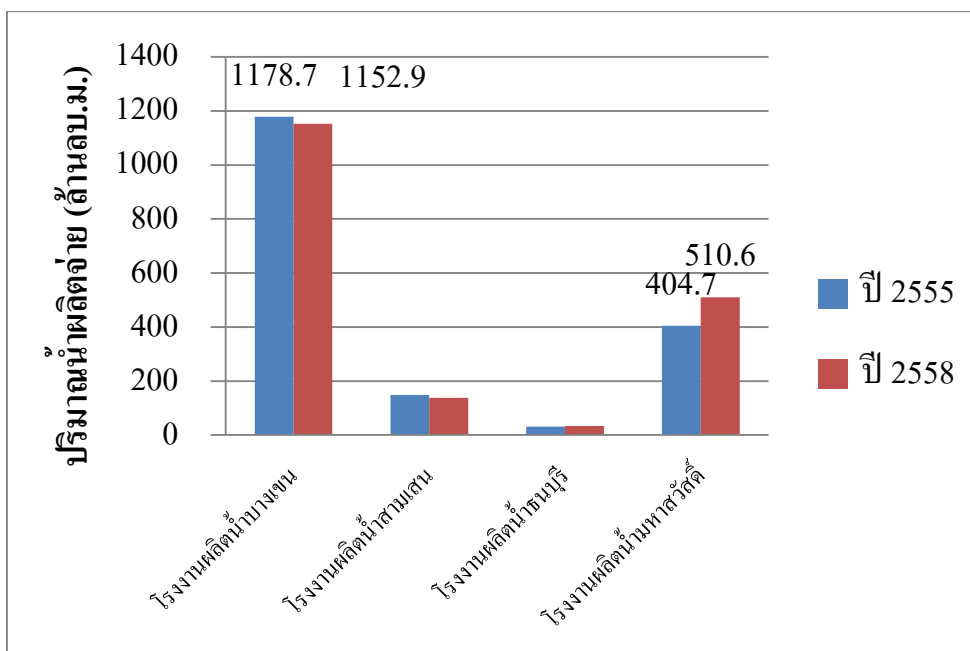
น้ำ เป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิต ไม่ว่าจะเป็นที่การอุปโภคหรือบริโภค ล้วนแล้วแต่มิ น้ำเข้ามาเป็นหนึ่งในสิ่งจำเป็นในประกอบกิจกรรมต่าง ๆ อีกทั้งการขยายตัวของประชากรในเขต เมือง ที่มีทั้งจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น โดยในปี 2558 ประชากรในเขตนครหลวงซึ่งประกอบไป ด้วย กรุงเทพมหานคร นนทบุรีและสมุทรปราการ มีประชากร 8.16 ล้านคน เพิ่มขึ้น 1.5% จากปี 2555 คิดเป็นประชากร 12.4 % ของทั้งประเทศ[2]

ในปี 2558 ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตนครหลวง มีปริมาณน้ำผลิตจ่าย 1,835.1 ล้าน ลูกบาศก์เมตร เพิ่มขึ้น 4% จากปี 2555[3] ดังรูปที่ 1.1 โดยมีโรงงานผลิตน้ำประปาที่รองรับปริมาณ การใช้น้ำประปาจำนวน 4 โรงงาน คือ โรงงานผลิตน้ำบางเขน โรงงานผลิตน้ำสามเสน โรงงานผลิตน้ำ ธานี และ โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

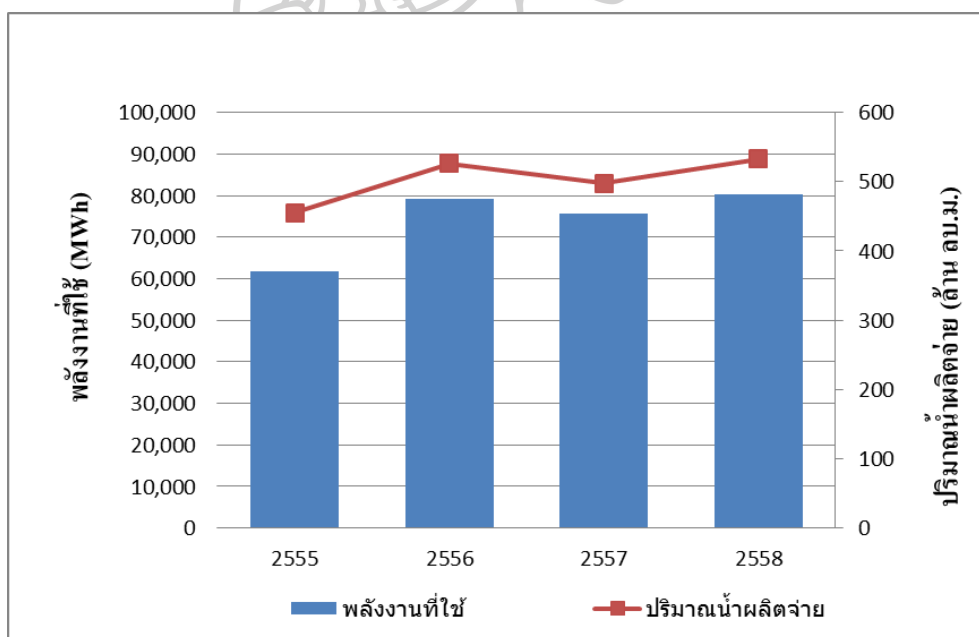
โรงงานผลิตน้ำประปาทั้ง 4 โรงงานมีปริมาณน้ำผลิตจ่ายระหว่างปี 2555-2558 ดังรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่า โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์มีสัดส่วนปริมาณน้ำผลิตจ่ายเพิ่มขึ้นมากกว่าโรงงานผลิตน้ำแห่ง อื่น โดยมีกำลังการผลิตสูงสุด 1.8 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในปี 2558 ผลิตน้ำประปา 510.6 ล้าน ลูกบาศก์เมตร เพิ่มขึ้น 17 % จากปี 2555 คิดเป็น 28% ของปริมาณการใช้น้ำในเขตนครหลวง(การ ประปานครหลวง, 2559) และมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 80,359 MWh เพิ่มขึ้น 30 % จากปี 2555[4] ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.1 ปริมาณการใช้น้ำประปาปี 2555-2558



รูปที่ 1. 2 ปริมาณการใช้น้ำประปาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละโรงงานผลิตน้ำประปาช่วงปี 2555 – 2558



รูปที่ 1. 3 การใช้พลังงานของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

การนำน้ำดิบจากธรรมชาติมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพจนกระทั่งเป็นน้ำประปาที่สามารถนำมาใช้อุปโภคได้ตามบ้านเรือนได้นั้น ล้วนแล้วแต่ต้องใช้พลังงานเป็นตัวขับเคลื่อนให้

กระบวนการสามารถดำเนินไปได้ การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำประปา สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ กระบวนการสูบน้ำดิบ กระบวนการตกตะกอน กระบวนการกรองและ กระบวนการสูบน้ำ/สูบส่งน้ำ

ในปัจจุบันได้ ได้มีการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ รวมไปถึงวิธีการใหม่ ๆ เข้าช่วยในการจัดการเพื่อลดการใช้พลังงานในการผลิตน้ำประปา โดยได้กำหนดเป็นมาตรการในการบริหารจัดการเพื่อให้โรงงานมีการใช้พลังงานน้อยที่สุด ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1. 1 งานวิจัยด้านมาตรการในการประหยัดพลังงานของโรงงานผลิตน้ำประปา

ลำดับ	งานวิจัย	ผลการวิจัย	ผู้วิจัย
1	นำ VSD เข้าใช้ในระบบสูบน้ำแทนการหรีวาล์ว	ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 218,887 kWh	[5]
2	ศึกษาแนวทางในการจัดการด้านพลังงานในการสูบน้ำ	การใช้ระบบ VSD จะสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ 44.88%	[6]
3	เดินเครื่องสูบน้ำดิบ ในช่วง off peak ให้มากกว่า on peak	ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ 704,167 บาทต่อปี	[7]
4	ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET เข้ามากำหนดรูปแบบการสูบส่งน้ำ	ลดการใช้พลังงานได้ 3.4% ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ 6.4%	[8]
5	การใช้ท่อแยก Bypass น้ำประปาจากท่อส่งน้ำเข้าสู่ท่อจ่ายน้ำโดยตรง	สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 2,264,492 บาทต่อปี	[9]
6	เปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบสูบน้ำที่ใช้ VSD กับไม่ใช้ VSD	ระบบที่มี VSD สามารถลด Max. Pressure ลงได้ แต่พลังงานที่ใช้อาจไม่ลดลง	[10]
7	วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและด้านสารเคมี ของแหล่งน้ำดิบที่มีคุณภาพน้ำแตกต่างกันและระยะทางในการลำเลียงน้ำแตกต่างกัน	สร้างสมการพยากรณ์สำหรับคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและด้านสารเคมี	[11]

ตารางที่ 1. 1 งานวิจัยด้านมาตรการในการประหยัดพลังงานของโรงงานผลิตน้ำประปา(ต่อ)

ลำดับ	งานวิจัย	ผลการวิจัย	ผู้วิจัย
8	ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET เข้ามากำหนดรูปแบบการสูบน้ำจ่ายน้ำ	สามารถลดการใช้พลังงานได้ และสามารถลด Max. Pressure ลงได้	[12]
9	ศึกษาวัฏจักรของน้ำ การใช้พลังงาน ตั้งแต่ น้ำดิบ ผ่านโรงงานผลิตน้ำ ผ่านผู้ใช้งาน ผ่านโรงงานบำบัดน้ำเสีย จนกระทั่งปล่อยกลับสู่แหล่งน้ำ	ควรเลือกวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ให้มีความเหมาะสมตามการใช้งาน เพื่อให้คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไป	[13]
10	Optimization รูปแบบการเดินเครื่องสูบน้ำสำหรับการสูบน้ำจ่ายน้ำ	การปรับเปลี่ยนรูปแบบการสูบน้ำ ให้แต่ละช่วงเวลา ให้มีความเหมาะสมกับความต้องการในช่วงเวลานั้น จะสามารถลดการใช้พลังงานได้	[14]
11	Optimization ความเร็วรอบในการกวนเพื่อผสมน้ำดิบกับสารตกตะกอน	การเพิ่มความเร็วยุโรปจะทำให้สามารถลดความขุ่นได้มากขึ้น แต่จะสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่การเพิ่มความเร็วยุโรปที่มากเกินไปจะทำให้ตะกอนเกิดการแตกตัว ทำความขุ่นเพิ่มสูงขึ้น และสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้นเช่นกัน	[15]

กระบวนการสูบน้ำดิบน้ำ เป็นการใช้เครื่องสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำ สามารถประหยัดพลังงานได้โดยการใช้ระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์เข้ามาควบคุมเพื่อปรับอัตราการสูบน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการ[5] และการเดินเครื่องสูบน้ำดิบในช่วง Off Peak ให้มีจำนวนเครื่องสูบน้ำและชั่วโมงการทำงานที่มากกว่า On Peak โดยการใช้ถังเก็บน้ำใส เป็นตัวช่วยในการเก็บสะสมน้ำประปาในช่วง Off Peak ให้มีปริมาณมาก และจะเดินเครื่องสูบน้ำดิบให้น้อยลงในช่วง On Peak ซึ่งสามารถช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้[7]

กระบวนการตกตะกอน เป็นการผสมสารตกตะกอนเข้ากับน้ำดิบเพื่อให้ตะกอนเกิดการแยกชั้นออกจากน้ำใส โดยการควบคุม Velocity gradient (G) เพื่อผสมน้ำดิบกับสารตกตะกอนให้มีความเหมาะสม จะสามารถควบคุมความขุ่น และลดการใช้พลังงานได้[15]

กระบวนการกรองเป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นสุดท้าย โดยการให้น้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนไหลผ่านชั้นของวัสดุ เพื่อดักจับตะกอนที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เมื่อวัสดุกรองถูกใช้งานเวลานาน จะต้องมีการล้างย้อน เพื่อทำความสะอาดวัสดุกรอง การใช้พลังงานจึงขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งในการล้างย้อนบ่อกรอง และ วิธีในการล้างย้อนบ่อกรอง

กระบวนการสูบส่ง/สูบน้ำ เป็นการใช้เครื่องสูบน้ำประปาที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วส่งผ่านท่อไปยังผู้ใช้น้ำและสถานีสูบน้ำในแต่ละพื้นที่ สามารถประหยัดพลังงานได้โดยการใช้ระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์เข้ามาปรับอัตราการจ่ายน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการ [6, 10] และ โปรแกรม EPANET เข้ามาควบคุมเพื่อปรับอัตราการสูบน้ำประปาให้ได้เหมาะสมกับความต้องการในแต่ละช่วงเวลา และสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ [8, 12, 14] นอกจากนี้ การเชื่อมต่อท่อสูบน้ำเข้ากับท่อส่งน้ำเพื่อผันน้ำประปาจากท่อส่งเข้าสู่ท่อสูบน้ำโดยตรง ในช่วงเวลาที่มีปริมาณความต้องการน้ำประปาน้อย จะสามารถลดการใช้พลังงานของสถานีสูบน้ำในแต่ละพื้นที่ได้ [9]

จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่า กระบวนการสูบน้ำ/สูบน้ำ/สูบน้ำดิบ จะมีงานวิจัยด้านมาตรการประหยัดพลังงานออกมาหลายงาน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีการใช้พลังงานคิดเป็น 70-80% ของการใช้พลังงานทั้งโรงงาน หากควบคุมกระบวนการนี้จะสามารถประหยัดพลังงานได้มาก จึงทำให้ไม่มีงานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการตกตะกอนและการกรองออกมามากนัก ทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่า กระบวนการตกตะกอนเป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการแรกที่จะต้องรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำดิบที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล [16] อีกทั้งยังต้องรองรับต่ออัตราการผลิตที่เปลี่ยนแปลงให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ประปาอีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาถึงกระบวนการทำงานและการใช้พลังงานของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานรวมไปถึงกำหนดเป็นมาตรการในการจัดการด้านพลังงาน เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของความชุ่มน้ำดิบและอัตราการผลิตต่อการใช้พลังงานของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของถังตกตะกอนชนิดชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน

1.2.3 เพื่อศึกษาหามาตรการลดการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอน

1.3 แนวคิดของงานวิจัย

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ มีอัตราการผลิต 1.8 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน แบ่งการผลิตออกเป็น 4 เฟส เฟสละ 4.5 แสนลูกบาศก์เมตรต่อวัน ต้องรองรับต่อความต้องการการใช้น้ำวันละ 1.4 – 1.8 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา ฤดูกาลและสภาพภูมิอากาศ โดยจะรับน้ำดิบจากคลองประปาฝั่งตะวันตก ซึ่งมีความขุ่น 20-100 NTU ขึ้นอยู่กับฤดูกาล โดยโรงงานผลิตน้ำจะต้องควบคุมกระบวนการตกตะกอนให้สามารถผลิตน้ำประปา ได้ทั้งปริมาณที่ต้องการและคุณภาพตามมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องปรับอัตราการผลิตในแต่ละเฟสให้ได้ปริมาณน้ำประปาตามความต้องการ ในแต่ละเฟสการผลิตจะประกอบได้ ถึงตกตะกอน จำนวน 2 ถึง รวม 8 ถึง โดยพนักงานควบคุมการผลิต จะทำการปรับอัตราการผลิตในแต่ละเฟส ให้มีความใกล้เคียงกัน โดยมีได้คำนึงถึงเรื่องการใช้พลังงาน

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงกระบวนการควบคุมการทำงานของระบบตกตะกอน ให้มีการคำนึงถึงการใช้พลังงานด้วย โดยจะทำการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการตกตะกอน เพื่อให้สามารถเดินเครื่องจักรต่าง ๆ ได้ปริมาณน้ำประปาตามความต้องการ ได้น้ำที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน อีกทั้งยังประหยัดพลังงานอีกด้วย

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ศึกษากระบวนการทำงานและใช้พลังงานของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน

1.4.2 ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลการควบคุมความขุ่นของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน

1.4.3 ศึกษาหาจุดที่เหมาะสมในกระบวนการตกตะกอนที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด

1.4.4 สารตกตะกอนที่ใช้ คือ สารส้มน้ำ

1.4.5 ความขุ่นของน้ำดิบจะทำการวิจัยในช่วง 26-40 NTU ซึ่งเป็นช่วงของค่าความขุ่นของน้ำดิบที่ใช้ในโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

1.4.6 อัตราการผลิตจะทำการวิจัยในช่วง $3.76-5.20 \text{ m}^3/\text{sec}$ ซึ่งเป็นช่วงอัตราการผลิตที่มีการใช้งานเป็นประจำ

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1 รวบรวมข้อมูลถังตกตะกอนที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา

1.5.2 ศึกษาหลักการทำงานและการใช้พลังงานของถังตกตะกอน

1.5.3 ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลการควบคุมความขุ่นของถังตกตะกอน

1.5.4 ทดลองหาจุดที่เหมาะสมในการเดินเครื่องถังตกตะกอน

1.5.5 สรุปผลการวิเคราะห์ พร้อมเขียนรายงานสรุปการวิจัย

1.8 ความจำกัดของการวิจัย

1.8.1 งานวิจัยนี้ทำงานทดลองที่โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ การประปานครหลวง ซึ่งเป็นโรงงานผลิตน้ำที่ผลิตและจ่ายน้ำให้กับผู้ใช้น้ำพื้นที่กรุงเทพฯและนนทบุรี ฝั่งธนบุรี มีการใช้น้ำดิบจากเขื่อนแม่กลอง มาปรับปรุงเป็นน้ำประปา ทำให้ความขุ่นน้ำดิบที่ใช้การทดลองขึ้นอยู่กับน้ำที่มาจากเขื่อน ซึ่งมีค่า อยู่ในช่วง 26-40 NTU

1.8.2 อัตราการผลิตน้ำประปาที่โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์จะผลิตน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำในพื้นที่กรุงเทพฯและนนทบุรี (ฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา) ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองในหลาย ๆ ช่วงอัตราการผลิตได้

1.9 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.9.1 น้ำดิบ คือ น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ใช้สำหรับผลิตน้ำประปา

1.9.2 น้ำประปา คือ ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ เป็นน้ำที่สะอาด ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการอุปโภค บริโภค ผ่านตามมาตรฐาน

1.9.3 ความขุ่นของน้ำ คือ น้ำที่มีสารแขวนลอยและคอลลอยด์ปนอยู่ในน้ำจึงทำให้น้ำมีลักษณะขุ่น

1.9.4 NTU คือ หน่วยวัดความขุ่นของน้ำ ซึ่งเป็นการวัดการกระเจิงของแสง เมื่อส่องแสงผ่านน้ำ ด้วยวิธี Nephelometric

1.9.5 VSD คือ ระบบการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ ทำให้สามารถใช้งานเครื่องสูบน้ำได้ในหลายๆ ช่วงความเร็วรอบ

1.9.6 TOU คือ การคิดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้งาน โดยแบ่งการคิดออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ On peak และ Off peak

On peak คือ ช่วงเวลาวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 09.00 น. – 22.00 น.

Off peak คือ ช่วงเวลาวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 22.00 น. – 09.00 น. และ

วันหยุดราชการตามปกติทั้งวัน (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

1.9.7 EPANET คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้สำหรับจำลองการไหลภายใต้ท่อความดันใช้ในการจำลองการไหลของระบบจ่ายน้ำได้

1.10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.10.1 สามารถนำผลจากการทดลองไปใช้ควบคุมถึงตกตะกอน โดยใช้พลังงานน้อยที่สุด

1.10.2 สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาสำหรับการขยายกำลังการผลิต เพื่อให้มีการใช้พลังงานในการผลิตน้ำประปาต่ำที่สุด



บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาแนวทางเพื่อกำหนดเป็นมาตรการประหยัดพลังงานในกระบวนการตกตะกอนสำหรับการผลิตน้ำประปา โดยในขั้นตอนแรกจำเป็นต้องศึกษาถึงหลักการทำงานของกระบวนการผลิตประปา และกระบวนการตกตะกอนเพื่อให้ทราบถึงแหล่งที่มาของการใช้พลังงานและปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานเพื่อให้สามารถผลิตน้ำประปาได้ทั้งปริมาณตามความต้องการ คุณภาพน้ำประปาได้มาตรฐานและใช้พลังงานต่ำที่สุด

2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

กระบวนการผลิตน้ำประปา คือ กระบวนการนำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาปรับปรุงคุณภาพจนสามารถนำมาอุปโภคบริโภคได้ตามมาตรฐาน กระบวนการผลิตน้ำประปา ประกอบด้วย กระบวนการต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

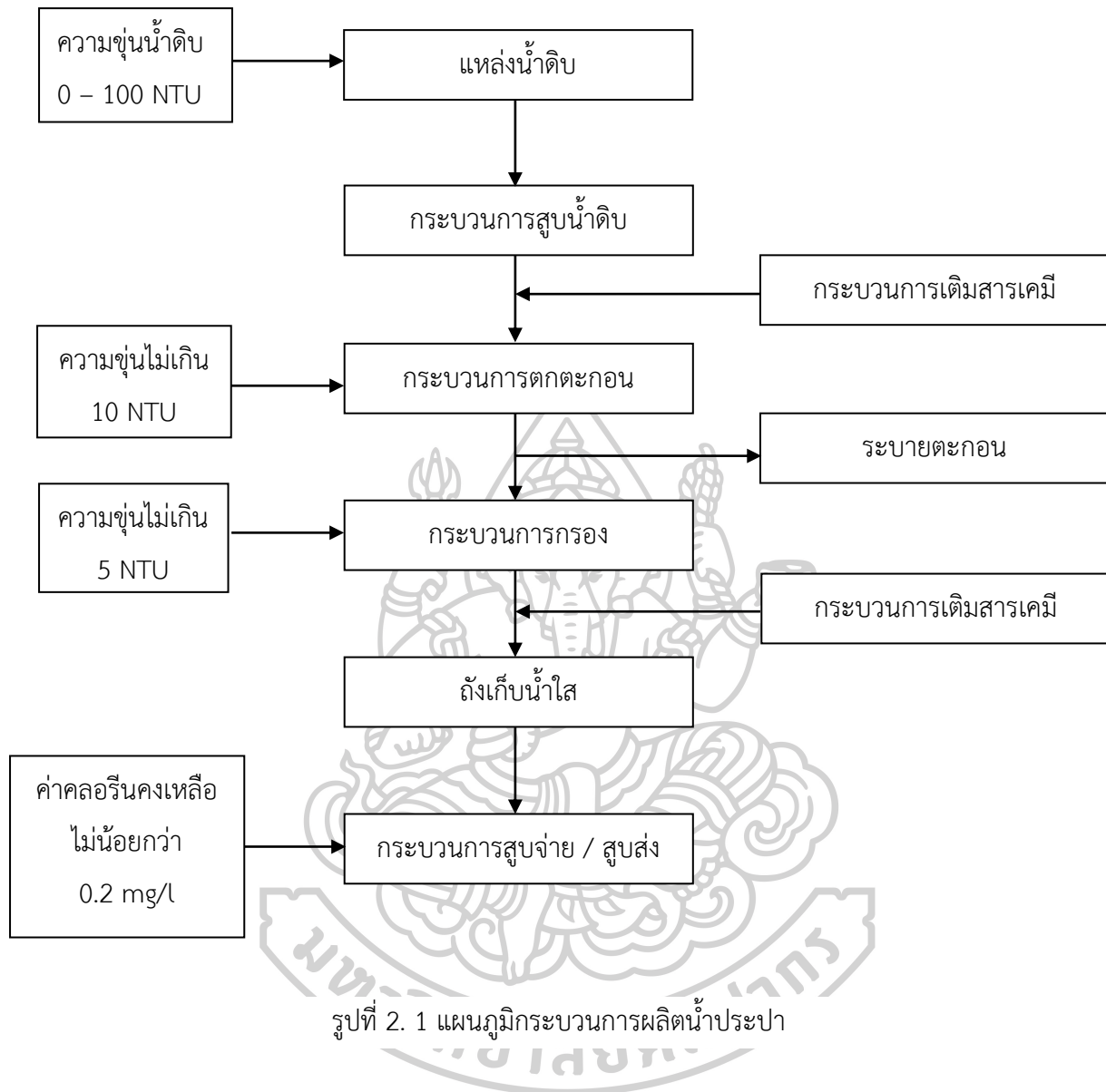
แหล่งน้ำดิบ คือ แหล่งน้ำที่จะใช้ป็นน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา น้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบจะต้องมีคุณภาพที่เหมาะสมและมีปริมาณเพียงพอต่อการผลิตน้ำประปา แหล่งน้ำดิบ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ แหล่งน้ำผิวดิน และ แหล่งน้ำใต้ดิน

แหล่งน้ำผิวดิน คือ พื้นที่รองรับน้ำฝนที่ตกลงมาแล้วไหลนองไปตามพื้นดิน และไปสะสมตามแหล่งน้ำต่างๆ ได้แก่ เขื่อน อ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ

แหล่งน้ำใต้ดิน คือ น้ำฝนที่ตกลงมาแล้วซึมผ่านช่องว่างที่อยู่ระหว่างเม็ดดิน เม็ดกรวด รูพรุนของดิน รอยแยกและรอยแตกต่าง ๆ แล้วไปสะสมอยู่บริเวณใต้พื้นดิน

ความขุ่นของน้ำดิบ เกิดจากการที่น้ำดิบ มีตะกอนปนเปื้อนอยู่ในน้ำดิบ โดยความขุ่นจะมีความสัมพันธ์กับจำนวนอนุภาคของตะกอนและขนาดตะกอนที่ปนเปื้อนอยู่ ความสัมพันธ์ของความขุ่นกับตะกอนในน้ำ จะแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ความขุ่น 0 – 25 NTU, 26-40 NTU และ 41 – 100 NTU โดยในช่วงความขุ่น 0 – 25 NTU หรือช่วงความขุ่นต่ำ ค่าความขุ่นจะขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคของตะกอนเส้น ส่วนในช่วง 41 – 100 NTU หรือช่วงค่าความขุ่นสูง ค่าความขุ่นจะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของตะกอน และในช่วงความขุ่นน้ำดิบ 26-40 NTU จะเป็นช่วงเปลี่ยนผ่านจะช่วงความขุ่นต่ำไปสู่ความขุ่นสูง [17]

กระบวนการสูบน้ำดิบ เป็นกระบวนการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำประปา ประกอบไปด้วย เครื่องสูบน้ำที่สามารถสูบน้ำดิบได้เพียงพอับความต้องการของผู้ใช้น้ำ และสามารถรองรับการต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำดิบในแหล่งน้ำดิบได้



กระบวนการเติมสารเคมี ทำหน้าที่เติมสารปรับปรุงคุณภาพน้ำ เข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำ เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ สารเคมีสำหรับตกตะกอนและสารเคมีสำหรับฆ่าเชื้อโรค

สารเคมีสำหรับตกตะกอน จะทำให้อนุภาคของตะกอนที่ติดมากับน้ำดิบ เกิดการสูญเสียเสถียรภาพและจับตัวกันเป็นเม็ดตะกอน จับกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้น และตกตะกอนในที่สุด สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน คือ สารส้ม โพลีเมอร์ ปูนขาว ต่างทับทิม จุนสี เป็นต้น

สารส้ม หรือ Aluminum Sulfate มีสูตรทางเคมี คือ $Al_3SO_4 \cdot 14H_2O$ เป็นสารตกตะกอนที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งน้ำต่าง ๆ อีกทั้งยังหาซื้อได้ง่ายและราคาไม่แพงโดยสารส้มจะเหมาะกับน้ำดิบที่มีค่า pH 6.0-7.5 [18]

โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) หรือบางครั้งจะเรียกว่า โพลีเมอร์ เป็นสารเคมีที่ได้รับ ความนิยมนานเช่นกัน แต่จะมีราคาสูงกว่าสารส้ม จึงนิยมใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนหรือที่เรียกว่า Coagulant Aid การใช้โพลีเมอร์จึงนิยมใช้ในกรณีที่ความขุ่นของน้ำดิบมีค่าสูง

สารเคมีสำหรับฆ่าเชื้อโรค ในระบบประปาจะนิยมใช้คลอรีนเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการ สามารถคงตัวอยู่ในน้ำประปาได้นาน โดยมาตรฐานการผลิตน้ำประปา จะต้องมียอดคลอรีนคงเหลือใน น้ำประปา ไม่น้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร(mg/l) [19] การเติมคลอรีนจะแบ่งเป็น 2 จุดคือ Pre-chlorine และ Post-chlorine โดย Pre-chlorine จะเติมเมื่อน้ำดิบผ่านสถานีสูบน้ำดิบมาแล้ว โดย ทำการเติมก่อนเข้าสู่กระบวนการตกตะกอน ทำหน้าที่การกำจัดสาหร่ายเซลล์เดียว จุลินทรีย์ และเชื้อ โรคต่าง ๆ ที่ติดมากับน้ำดิบ และจุดที่ 2 คือ Post-chlorine โดยจะเติมบริเวณก่อนเข้าถึงเก็บน้ำใส เป็นจุดสำหรับเติมคลอรีนให้มีคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานเพื่อเป็นสารฆ่า เชื้อขั้นตอนสุดท้าย เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถฆ่าเชื้อโรคได้หมด

กระบวนการตกตะกอน ทำหน้าที่ แยกตะกอนออกจากน้ำดิบโดยการคลุกเคล้าสารเคมีกับ น้ำดิบด้วยความปั่นป่วนจนเกิดการแยกตัวของตะกอนจากน้ำดิบออกมาเป็นชั้น โดยน้ำส่วนที่ความใส มากพอ และส่งไปสู่กระบวนการต่อไป ส่วนตะกอนจะถูกแยกออกและระบายออกไปกำจัดต่อไป น้ำที่ ผ่านกระบวนการตกตะกอนแล้วควรมีค่าความขุ่นไม่เกิน 10 NTU [20]

กระบวนการกรอง ทำหน้าที่ แยกสารปนเปื้อนขนาดเล็กที่ติดมากับน้ำดิบ โดยการให้น้ำไหล ผ่านไปตามชั้นของวัสดุกรอง ที่วางซ้อนกันเป็นชั้นๆ เรียกว่า ปอกรอง ซึ่งการกรองที่นิยมใช้เป็นแบบ การกรองเร็ว โดยสามารถเป็นตามชนิดของวัสดุกรองได้เป็น 3 ประเภท คือแบบชั้นกรองเดียว, แบบ สองชั้นกรองและแบบสามชั้นกรอง น้ำที่ผ่านกระบวนการกรองแล้วควรมีค่าความขุ่นไม่เกิน 5 NTU[19]

ถังเก็บน้ำใส ทำหน้าที่ กักเก็บน้ำประปาที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพแล้วพร้อม สำหรับการแจกจ่ายไปยังผู้ใช้ น้ำ โดยก่อนเข้าถึงเก็บน้ำใส จะมีการเติม Post-chlorine เพื่อเป็นการ ฆ่าเชื้อโรคเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนแจกจ่ายน้ำให้ผู้ใช้ต่อไป

กระบวนการสูบน้ำ ทำหน้าที่แจกจ่ายน้ำให้ผู้ใช้ในพื้นที่โดยจะปรับเปลี่ยนความเร็ว รอบของปั้มน้ำให้สามารถรองรับต่อปริมาณการใช้น้ำของผู้ใช้ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะมีความต้องการที่ เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและสภาพอากาศ

กระบวนการสูบน้ำ ทำหน้าที่สูบน้ำประปาให้กับ สถานีสูบน้ำในแต่ละพื้นที่ และ สถานีสูบน้ำแต่ละสถานีจะแจกจ่ายน้ำให้กับผู้ใช้ตามแต่ละพื้นที่ที่รับผิดชอบ

2.2 พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption)

พลังงานไฟฟ้า เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญของกระบวนการผลิตน้ำประปา แต่ละกระบวนการของการผลิตน้ำประปา ล้วนแล้วต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยในการทำงาน ในแต่ละโรงงานอาจจะปัจจัยภายนอกที่ส่งผลให้มีการใช้พลังงานมาก-น้อยแตกต่างกันไป จึงจำเป็นต้องมีตัวบ่งชี้ซึ่งเป็นค่าที่สามารถใช้เปรียบเทียบการใช้พลังงานของแต่ละโรงงานได้

พลังงานจำเพาะหรือดัชนีการใช้พลังงาน เป็นตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้โดยสามารถเป็นเป็นตัวเปรียบเทียบหากมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการใดๆ ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้น หรือ ลดลง ทั้งในส่วนการใช้พลังงานและผลผลิต อีกทั้งยังสามารถใช้ในการประเมินศักยภาพการประหยัดการใช้พลังงานทั้งในส่วนของแต่ละกระบวนการ รวมไปถึงตลอดทั้งโรงงาน ซึ่งค่าพลังงานจำเพาะ จะขึ้นอยู่กับ ชนิดของผลผลิต ชนิดของกระบวนการและประสิทธิภาพของกระบวนการ

พลังงานจำเพาะ คือ อัตราการส่วนของพลังงานที่ใช้เทียบกับปริมาณผลผลิตที่ผลิตได้หรือวัตถุดิบที่ใช้ [21] ดังแสดงในสมการ (2.16) โดยผลผลิตของโรงงานผลิตประปา คือปริมาณน้ำผลิตจ่าย แต่ในกระบวนการผลิตน้ำประปา ยังมีกระบวนการย่อย ๆ อีกหลายกระบวนการ อีกทั้งบางกระบวนการยังมีของเสียที่ต้องกำจัดออก จึงทำให้แต่ละกระบวนการที่ปริมาณผลผลิตที่ไม่เท่ากัน ซึ่งการจะนำปริมาณน้ำผลิตจ่ายมาเป็นตัวเปรียบเทียบ อาจทำให้การใช้พลังงานจำเพาะมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงได้ และจะทำให้การพิจารณาว่ากระบวนการใด ที่มีการใช้พลังงานสูงผิดปกติผิดพลาดไป จึงควรมีการพิจารณาการใช้พลังงานจำเพาะของแต่ละกระบวนการโดยใช้ผลผลิตของแต่ละกระบวนการเป็นตัวเปรียบเทียบด้วย เพื่อให้สามารถทราบได้ถึงกระบวนการที่มีการใช้พลังงานสูงได้อย่างถูกต้อง

ในกระบวนการผลิตน้ำประปานั้น อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านในแต่ละกระบวนการนั้น มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละกระบวนการ เนื่องจากกระบวนการตกตะกอนและกระบวนการกรองจะมีต้องมีการแยกตะกอนหรือของเสียออกไป ทำให้ อัตราการไหลจะมีค่าลดลง จึงทำให้ปริมาณน้ำผลิตจ่ายกับปริมาณน้ำดิบมีค่าไม่เท่ากัน ที่มีดังนั้นในการศึกษาจึงควรพิจารณาปริมาณน้ำที่เป็นผลผลิตของแต่ละกระบวนการเพื่อให้ได้ปริมาณที่นำมาพิจารณาเป็นปริมาณน้ำจริง ๆ ที่เครื่องจักรต้องรับภาระ[13] ดังสมการ (2.17)

$$\text{พลังงานจำเพาะ (kWh/unit)} = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ (kWh)}}{\text{ผลผลิต(unit)}} \quad (2.1)$$

$$\text{พลังงานจำเพาะ (kWh/m}^3\text{)} = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ (kWh)}}{\text{ปริมาณผลผลิตของแต่ละกระบวนการ(m}^3\text{)}} \quad (2.2)$$

กรณีโรงสูบน้ำดิบ ผลผลิตของโรงสูบน้ำดิบคือ ปริมาณน้ำดิบที่สูบเข้าสู่กระบวนการ, กรณีถังโรงสูบน้ำจ่ายน้ำ ผลผลิตคือ ปริมาณน้ำจ่าย, กรณี โรงสูบน้ำส่งน้ำ ผลผลิตคือ ปริมาณน้ำสูบน้ำส่ง และกรณีกระบวนการตกตะกอน ผลผลิตคือ น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนจะเท่ากับปริมาณน้ำดิบที่หักออกด้วย ปริมาณน้ำระบายตะกอน แต่ปริมาณน้ำระบายตะกอนในกระบวนการตกตะกอน มีปริมาณไม่ถึง 1% ของปริมาณน้ำดิบ จึงสามารถพิจารณาปริมาณน้ำดิบเป็นผลผลิตของกระบวนการตกตะกอนได้เลย

พลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการคือ ผลคูณระหว่างกำลังของเครื่องจักรและระยะเวลาที่ใช้งานดังสมการ (2.18) จะเห็นได้ว่าหากระยะเวลาในการเดินเครื่องเท่ากัน เครื่องจักรที่ใช้กำลังสูงกว่า จะสิ้นเปลืองพลังงานที่สูงกว่าด้วย

$$\text{พลังงานที่ใช้ (kWh)} = \text{กำลัง (kW)} \times \text{ระยะเวลา (h)} \quad (2.3)$$

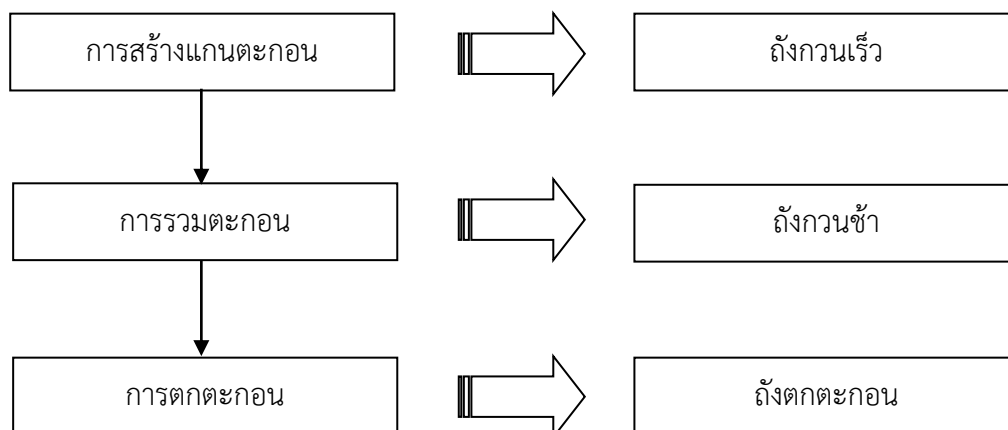
การใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอน พลังงานจะใช้ไปกับเครื่องจักรที่ทำให้เกิดการผสมคลุกเคล้าน้ำดิบและสารตกตะกอนให้เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็น ไบโวกวน หรือ Blower ซึ่งจะทำให้ตะกอนเกิดการรวมตัวจากขนาดเล็กเป็นขนาดใหญ่เพียงพอที่ตกตะกอนและแยกชั้นระหว่างส่วนที่เป็นน้ำใสกับส่วนที่เป็นตะกอน สารตกตะกอนที่นิยมใช้ คือ สารส้ม และ โพลีเมอร์

สารส้มเป็นสารตกตะกอนที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากหาได้ง่ายและมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ อีกทั้งเหมาะสมกับการใช้งานในช่วง pH 6.0-7.5 ซึ่งเป็นค่า pH ของน้ำดิบตามธรรมชาติอีกด้วย [18]

การใช้โพลีเมอร์เป็นสารตกตะกอนจะสิ้นเปลืองพลังงานในการกวนมากกว่าการใช้สารส้มประมาณ 3-4 เท่าแต่จะใช้พลังงานในการกำจัดตะกอนที่ต่ำกว่าสารส้ม ซึ่งต้องมีการพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับแต่ละโรงงาน [22]

2.3 กลไกการทำงานของกระบวนการตกตะกอน

กระบวนการตกตะกอน เป็นการแยกสารปนเปื้อนออกจากน้ำดิบ ซึ่งสารเหล่านี้จะปนอยู่ในน้ำดิบ ที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะถูกกำจัดได้ง่าย เรียกว่า สารแขวนลอย ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กและกำจัดออกได้ยาก เรียกว่า คอลลอยด์ ปัญหาของการกำจัดคอลลอยด์ในน้ำดิบ คือ ขนาดอนุภาคของคอลลอยด์มีขนาดเล็กมากและไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยตัวเอง หากจะปล่อยให้มีการตกตะกอนด้วยตัวเอง จะต้องใช้เวลามาก กระบวนการตกตะกอน ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการคือ การสร้างแกนตะกอน, การรวมตะกอนและการตกตะกอน



รูปที่ 2. 2 เครื่องจักรในกระบวนการตักตะกอน

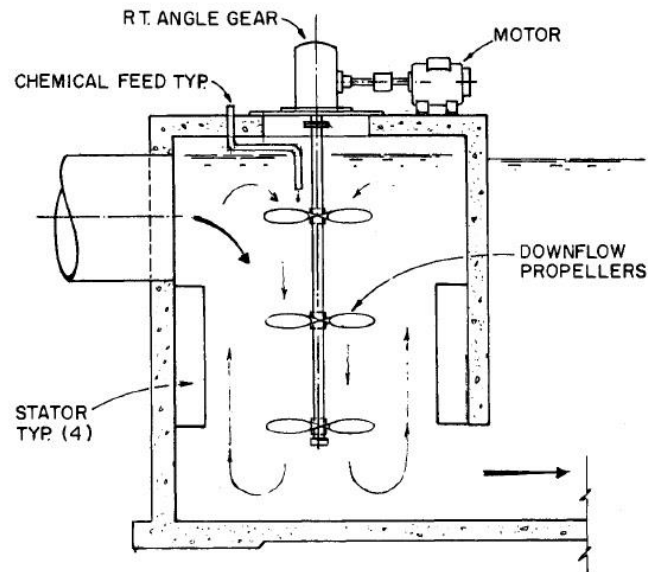
การสร้างแกนตะกอน เป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคความขุ่นที่อยู่ในน้ำสูญเสียเสถียรภาพ และจับตัวกันเกิดเป็นเม็ดตะกอน ทำได้โดยการเติมสารตกตะกอน เช่น สารส้ม เข้าไปผสมกับน้ำดิบ และผสมกันอย่างทั่วถึงและรวดเร็ว โดยการใช้ถังกวนเร็ว เป็นเครื่องจักรที่ทำให้เกิดการผสมและความปั่นป่วนในน้ำ แบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ ถังกวนเร็วแบบชลศาสตร์ ถังกวนเร็วแบบเครื่องกล และเครื่องกวนเร็วในเส้นท่อ

ถังกวนเร็วแบบชลศาสตร์ เป็นการกวนเร็วโดยการใช้แรงโน้มถ่วงของโลก จากการไหลของน้ำ โดยการบังคับให้น้ำเกิดการกระโดด (Hydraulic jump) หรือการไหลผ่านฝายหรือผ่านแผงกั้น ซึ่งล้นแล้วแต่ก่อให้เกิดความปั่นป่วนของน้ำดิบ โดยไม่ต้องเพิ่มพลังงานภายนอกเข้าไปอีก

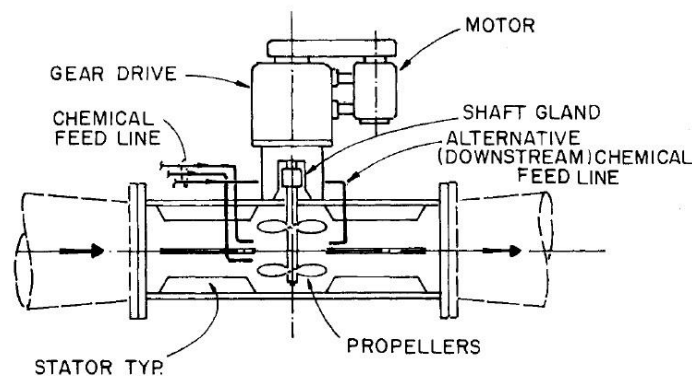
ถังกวนเร็วแบบเครื่องกล เป็นการกวนเร็วโดยการใช้ใบพัดทำให้การผสมและความปั่นป่วนในน้ำ ทำให้สารตกตะกอนและน้ำดิบรวมเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 2. 3 ถังกวนเร็วแบบชลศาสตร์



รูปที่ 2.4 ถังกวนเร็วแบบเครื่องกล [1]

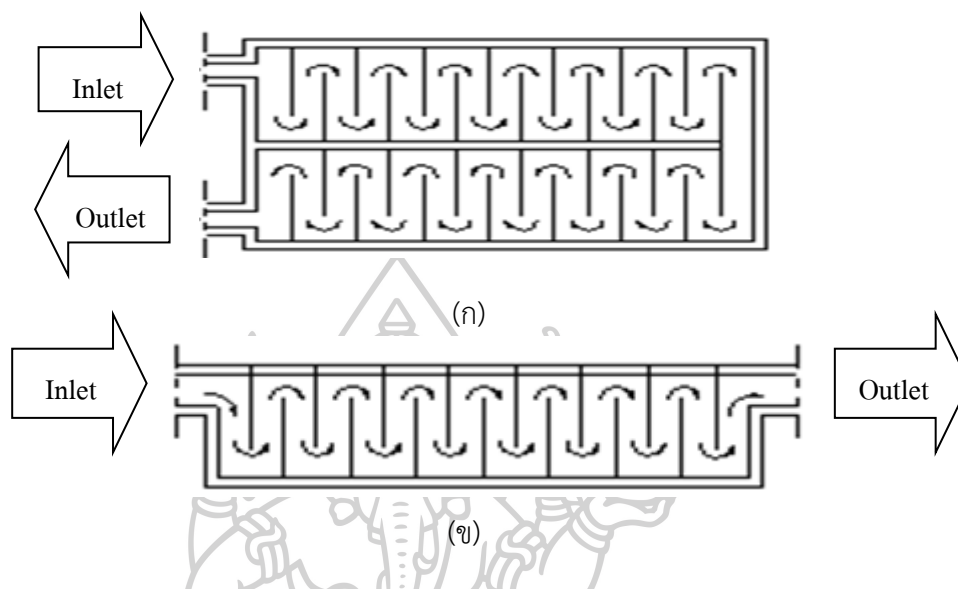


รูปที่ 2.5 เครื่องกวนเร็วในเส้นท่อ[1]

เครื่องกวนเร็วในเส้นท่อ เป็นการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเข้าไปในเส้นท่อทางไหลของน้ำดิบ เพื่อให้เกิดการผสมของน้ำดิบกับสารเคมี มีทั้งแบบที่มีการหมุนปั่นของเครื่องกวนซึ่งต้องใช้พลังงานภายนอกในการผสมและแบบติดตั้งเป็นแผ่นครีบขวางการไหลของน้ำดิบซึ่งไม่ต้องใช้พลังงานภายนอก

การรวมตะกอน เป็นการทำให้อนุภาคของคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพ มีโอกาสสัมผัสกันมากขึ้นและเกิดการรวมตะกอนเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น และตกตะกอนไปด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก กระบวนการนี้จะเกิดในถังกวนช้า โดยถังกวนช้ากับถังกวนเร็วจะมีลักษณะการทำงานและการออกแบบจะคล้ายคลึงกัน จะมีความแตกต่างกันในส่วนองระดับความปั่นป่วนของน้ำดิบ โดยถังกวนเร็วจะต้องการความปั่นป่วนที่สูงเพื่อให้เกิดการคลุกเคล้าที่ดี แต่ถังกวนช้าต้องการความ

ปั่นป่วนที่ต่ำ เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนแตกออกและต้องการระยะเวลาในการรวมตะกอนนาน เพื่อให้ตะกอนมีโอกาสจับตัวกันได้มากที่สุด แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ถังกวนช้าแบบชลศาสตร์และถังกวนช้าแบบเครื่องกล เช่นเดียวกันถังกวนเร็ว



รูปที่ 2. 6 ถังกวนช้าแบบชลศาสตร์ (ก) แบบแนวราบ (ข) แบบแนวตั้ง

การตกตะกอน เป็นการแยกตะกอนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ตามแรงโน้มถ่วงของโลก จะทำให้น้ำใสและตะกอนเหลวแยกจากกัน ตะกอนที่อยู่ก้นถังจะถูกระบายเพื่อไปกำจัด เรียกว่า Sludge ส่วนตะกอนที่แขวนลอยที่ผิวน้ำเรียกว่า Scum เครื่องจักรที่ใช้เพื่อตกตะกอน เรียกว่า ถังตกตะกอน

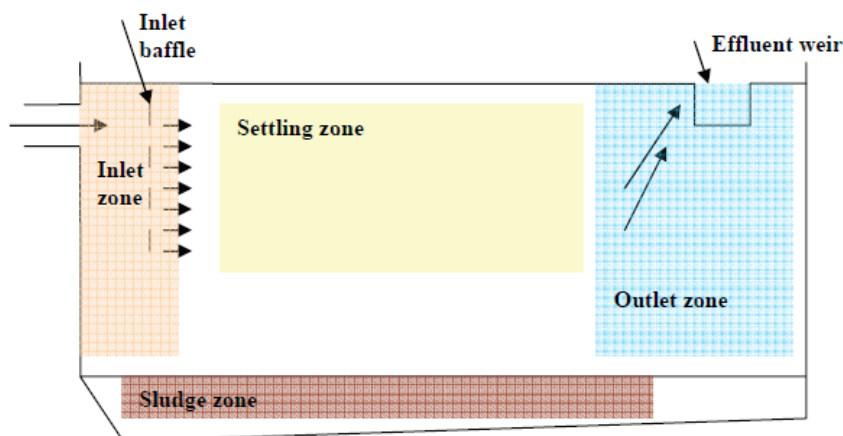
ถังตกตะกอน มีหลักการทำงานที่สำคัญ คือ การทำให้น้ำเคลื่อนที่ผ่านอย่างช้า ๆ เสมอทั่วทั้งหน้าตัด เพื่อให้ตะกอนตกตะกอนลงบริเวณก้นของถังตกตะกอน และที่ก้นถังตกตะกอน อาจจะมีเครื่องกวาดตะกอนหรือไม่ก็ได้ มีลักษณะการไหลแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ถังตกตะกอนแนวนอนมีลักษณะเป็นถังรูปสี่เหลี่ยมบางครั้งจึงเรียกว่า ถังตกตะกอนแบบถังสี่เหลี่ยม และ ถังตกตะกอนแนวตั้งมีลักษณะเป็นถังรูปวงกลมบางครั้งจึงเรียกว่า ถังตกตะกอนแบบถังกลม

นอกจากถังตกตะกอนที่กล่าวมาแล้ว ยังมีถังตกตะกอนอีกชนิดหนึ่ง ที่รวมเอาถังกวนเร็วและถังตกตะกอนมารวมเป็นถังเดียวกัน เรียกว่า ถังตกตะกอนแบบโซลิดซ์คอนแทคต์ แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ แบบหมุนเวียนตะกอน และ แบบชั้นตะกอน

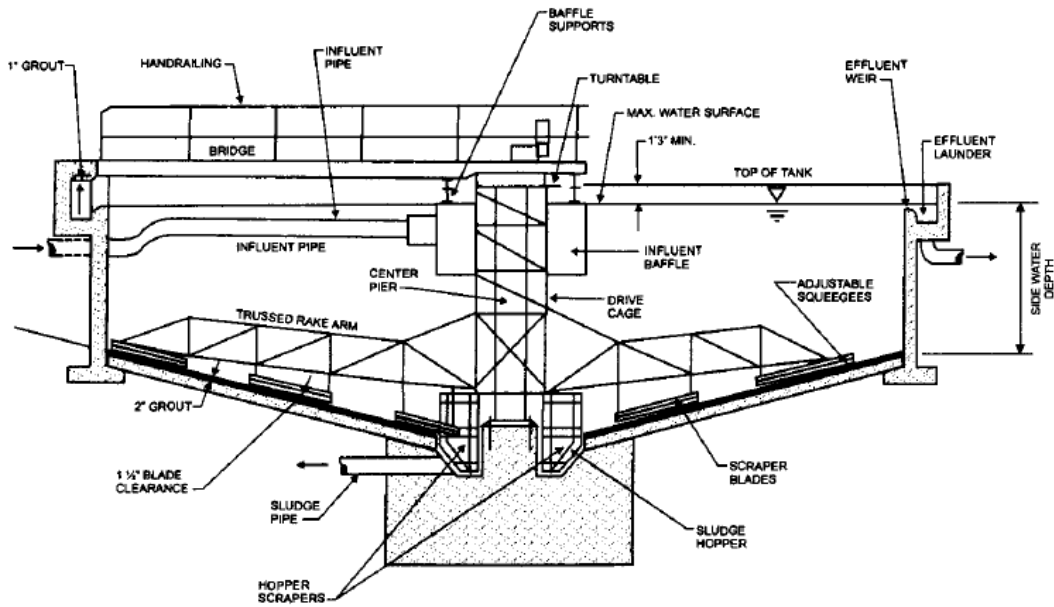
ถังตกตะกอนแบบหมุนเวียนตะกอน มีลักษณะเป็นถังกลม มีการใช้ใบกวนทำให้เกิดการผสมคลุกเคล้าและหมุนเวียนตะกอนจากบริเวณตกตะกอนไปยังส่วนที่เป็นถังกวนเร็วเพื่อช่วยเร่งอัตราเร็วในการสร้างรวมตะกอน การกวนน้ำอาจใช้ใบพัดหรือชลศาสตร์ก็ได้ ส่วนตะกอนที่มีขนาดใหญ่จะตก

ลงสู่ก้นถังตกตะกอนและจะมีเครื่องกวาดตะกอน เพื่อช่วยกวาดตะกอนที่ก้นถังตกตะกอนให้ระบายออกจากถังตกตะกอน ความเร็วในการกวาดเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความขุ่นน้ำหลังตกตะกอน การกวาดที่ความเร็วรอบสูงเกินไป จะทำให้ค่า Velocity gradient มีค่าสูง อาจจะทำให้ตะกอนเกิดการแตกตัวทำให้ความสามารถในการกำจัดความขุ่นลดลงได้ และยังสามารถสิ้นเปลืองพลังงานอีกด้วย[15]

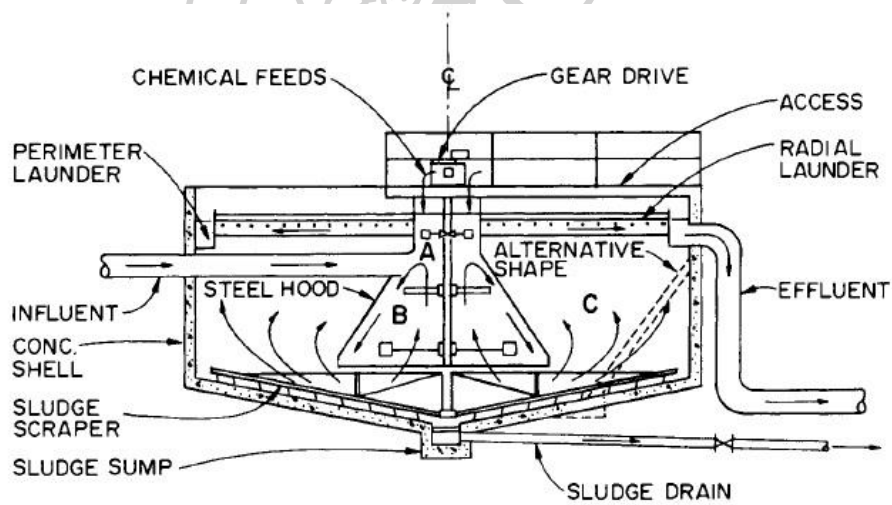
ถังตกตะกอนแบบชั้นตะกอน มีลักษณะเป็นถังสี่เหลี่ยม จะไม่มีการหมุนเวียนตะกอนแต่จะสร้างชั้นตะกอนให้อยู่ในถังตลอดเวลา โดยไม่ฟุ้งกระจายขึ้นมาและไม่อัดแน่นอยู่ที่ก้นถัง โดยน้ำดิบที่ผสมกับสารเคมีแล้ว จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนจากด้านล่าง ผ่านการคลุกเคล้า และสร้างความปั่นป่วนเพื่อผสมน้ำดิบกับสารเคมีโดยการใช้ Vacuum chamber จากน้ำดิบจะผ่านชั้นตะกอนและจะมีเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำใสเท่านั้นที่ไหลผ่านขึ้นไปได้ และชั้นตะกอนจะหนาขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณตะกอนที่มากับน้ำดิบ และตะกอนส่วนเกินจะไหลล้นออกทางช่องระบายตะกอน จะเหมาะสำหรับน้ำดิบที่มีความขุ่นไม่เกิน 200 NTU การเพิ่มระยะเวลาในการ ยกมวลน้ำ และการเพิ่มความสูงในการยกมวลน้ำใน Vacuum chamber จะสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดความขุ่นลงได้ แต่จะใช้พลังงานสูงเพิ่มขึ้นเช่นกัน การเพิ่มระยะยกที่สูงเกินไป อาจทำให้ตะกอนเกิดการแตกตัวทำให้ความสามารถในการกำจัดความขุ่นลดลงได้ จึงควรทดลองเพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการใช้งาน [23]



รูปที่ 2. 7 ถังตกตะกอนแบบแนวนอน(ถังสี่เหลี่ยม)

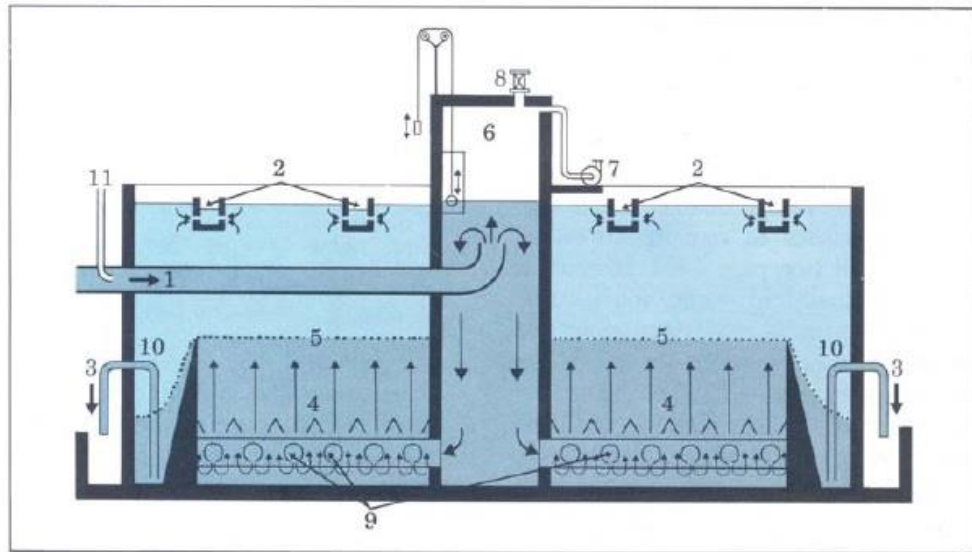


รูปที่ 2. 8 ถังตกตะกอนแบบแนวตั้ง(ถังวงกลม)[1]



ZONE A - RAPID MIX
 ZONE B - FLOCCULATION AND SOLIDS CONTACT
 ZONE C - UPFLOW AND SLUDGE BLANKET ZONE
 ALTERNATE SHAPE FOR SLUDGE BLANKET DESIGN

รูปที่ 2. 9 ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน [1]



- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 - Raw water inlet. | 7 - Vacuum pump. |
| 2 - Clarified water outlet. | 8 - Air release valve. |
| 3 - Sludge removal. | 9 - Raw water distribution system. |
| 4 - Stilling baffles. | 10 - Sludge concentrators. |
| 5 - Upper level of sludge blanket. | 11 - Reagent feed. |
| 6 - Vacuum chamber. | |

รูปที่ 2. 10 ถังตกตะกอนชนิดขึ้นตะกอน[24]

2.4 การใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอน

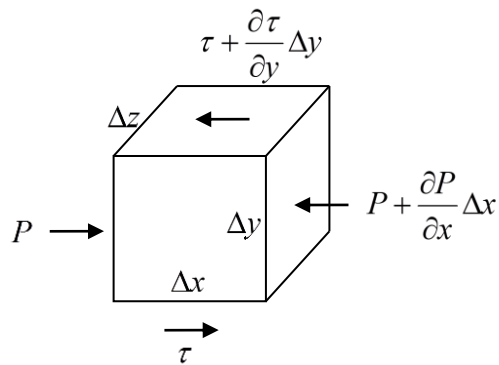
พลังงานที่ใช้ในกระบวนการสร้างแกนตะกอนและการรวมตะกอน ซึ่งก็คือกระบวนการผสม ซึ่งทำให้ชั้นของของไหลเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ความเร็วเกรเดียนต์คือส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานในของไหล สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของสมมูลแรงและสมมูลกำลัง[25]

จากสมการของ Newton's law of viscosity สำหรับการไหลใน 1 มิติได้ว่า

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{dv_x}{dy} \quad (2.4)$$

โดยที่	τ_{yx}	คือ	ความเค้นเฉือนต่อหน่วยพื้นที่ตามแนวแกน X
	μ	คือ	ความหนืดสัมบูรณ์
	v_x	คือ	ความเร็วในแนวแกน x
	y	คือ	ระยะทางในแนวแกน y

พิจารณาสมมูลแรงตามแนวแกน x ของ Element ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2. 11 Free body diagram ความเค้นเฉือนสำหรับของไหล

จากสมการ Newton's law

$$\begin{aligned}\sum \vec{F}_x &= 0 \\ p\Delta y\Delta z - (p + \frac{\partial p}{\partial x}\Delta x)\Delta y\Delta z + \tau\Delta x\Delta z - (\tau + \frac{\partial \tau}{\partial y}\Delta y)\Delta x\Delta z &= 0 \\ \frac{\partial p}{\partial x} &= -\frac{\partial \tau}{\partial y} \quad (2.5)\end{aligned}$$

พิจารณาสมดุลกำลังของ Element

จากสมการกำลัง $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$ พิจารณาตามแนวแกน x

$$\begin{aligned}P_{in} - P_{out} &= \Delta P \\ (v + \frac{\partial v}{\partial y}\frac{\Delta y}{2})p\Delta y\Delta z - (p + \frac{\partial p}{\partial x}\frac{\Delta x}{2})\Delta y\Delta z + \tau v\Delta x\Delta z - (\tau v + \frac{\partial(\tau v)}{\partial y}\Delta y)\Delta x\Delta z &= \Delta P \\ -v\frac{\partial p}{\partial x}\Delta x\Delta y\Delta z - v\frac{\partial \tau}{\partial y}\Delta x\Delta y\Delta z - \tau\frac{\partial v}{\partial y}\Delta x\Delta y\Delta z &= \Delta P\end{aligned}$$

$$\text{โดยที่ } \Delta x\Delta y\Delta z = \Delta V, \quad \frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\partial \tau}{\partial y}$$

$$\text{จะได้ } -\tau\frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (2.6)$$

$$\text{แทน (3) ใน (4)} \quad \mu\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 = \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (2.7)$$

$$\text{โดยที่ } \frac{\Delta P}{\Delta V} \equiv \frac{P}{V}, \quad \text{แทนค่า } \frac{\partial v}{\partial y} \text{ ด้วยค่า } G$$

จะได้เป็นสมการของ Camp และ Stein ดังนี้

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (2.8)$$

โดย	G	คือ	ความเร็วแกรเดียนต์ หรือ ระดับความปั่นป่วน (s^{-1})
	P	คือ	กำลัง (W)
	V	คือ	ปริมาตรน้ำในถัง (m^3)
	μ	คือ	ความหนืดสัมบูรณ์ (Pa.s)

ทำการจัดรูปสมการใหม่จะได้ว่า

$$P = \mu V G^2 \quad (2.9)$$

จะเห็นว่ากำลังที่ใช้ในกระบวนการสร้างแกนตะกอนและการรวมตะกอน จะขึ้นอยู่กับ ปริมาตรของถังความเร็ว/กวนช้า/ตกตะกอนและ ความเร็วแกรเดียนต์ โดยทั่วไปแล้วความเร็วแกรเดียนต์ของถังความเร็วจะมีค่าประมาณ $600-1,000 s^{-1}$ ส่วนถังกวนช้าจะมีความเร็วแกรเดียนต์ ประมาณ $20-70 s^{-1}$ [1]

2.5 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นวิธีการที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรต้น ว่ามีความสัมพันธ์กันแบบใด ในระดับใด และสามารถนำไปสู่สมการพยากรณ์เพื่อหาค่าตัวแปรตามเมื่อทราบค่าตัวแปรต้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

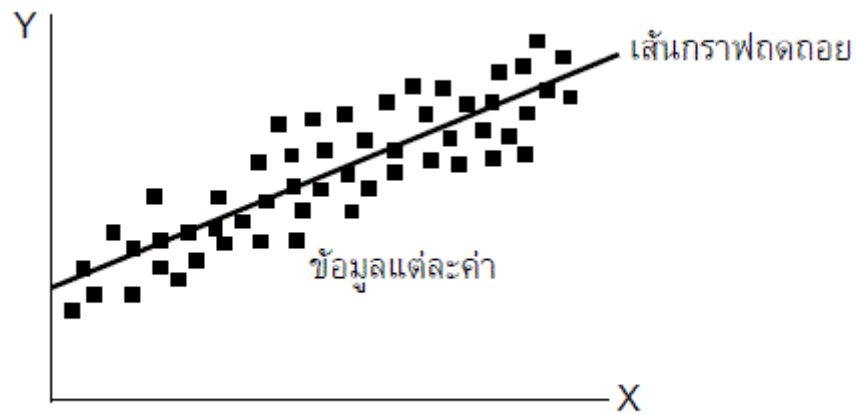
1. การวิเคราะห์ถดถอยอย่างง่าย เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัวและตัวแปรต้น 1 ตัว
2. การวิเคราะห์ถดถอยแบบพหุ เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัวและตัวแปรต้นตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป

การวิเคราะห์ถดถอยอย่างง่าย เป็นการวิเคราะห์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม 1 ตัว กับตัวแปรต้น 1 ตัว และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรต้นเป็นแบบเชิงเส้น โดยมีสมการถดถอย ดังสมการ

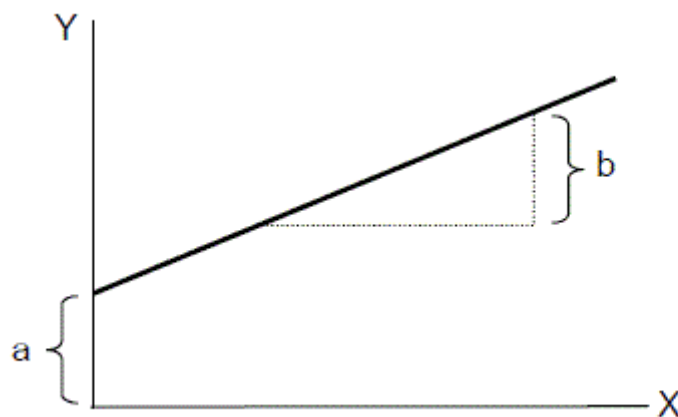
$$Y = A + BX + \epsilon \quad (2.10)$$

โดยที่	Y	คือ	ตัวแปรตาม
	X	คือ	ตัวแปรต้น
	A	คือ	ค่าคงที่จุดตัดแกน y
	B	คือ	ความชันของเส้นกราฟ
	ϵ	คือ	ความคลาดเคลื่อน

ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในรูปของสมการพหุคูณ โดยการนำข้อมูลจากการเก็บข้อมูลมาพล็อตให้ตัวแปรตามเป็นแกน y และตัวแปรต้นเป็นแกน x จากนั้นจะทำการลากเส้นกราฟถดถอย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรต้น ดังรูปที่ 4.18 จากนั้นทำการหาค่า a (จุดตัดแกน y) และค่า b (ความชัน) ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19



รูปที่ 2.12 แสดงการสร้างเส้นกราฟถดถอย



รูปที่ 2.13 แสดงการหาค่า a และ b ของสมการถดถอย

สมการที่ได้จะเป็นสมการพยากรณ์ ดังสมการ $\hat{y} = a + bx$

$$\text{โดยที่} \quad b = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.11)$$

$$a = \bar{y} - a\bar{x} \quad (2.12)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ในการจะพิจารณาถึงความถูกต้องของสมการพยากรณ์ จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต้น (x) ว่าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรตาม (y) มากน้อยเพียงใด โดยค่า R^2 ตั้งแต่ 0 ถึง 1

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \quad (2.13)$$

ถ้า $R^2 = 0$ หมายความว่า ตัวแปรต้นและตัวแปรตามไม่มีความสัมพันธ์กัน

ถ้า $R^2 = 1$ หมายความว่า ตัวแปรต้นและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น

การปรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Adjust- R^2) ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์จะเป็นกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร ดังนั้นการคำนวณค่า R^2 จึงต้องปรับด้วยขนาดของข้อมูลเพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ส่วนการแปลความหมายจะแปลค่าได้เช่นเดียวกับค่า R^2

$$\bar{R}^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n-2} \right) \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \quad (2.14)$$

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA) เป็นการศึกษาผลของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตาม โดยข้อมูลที่มีตัวแปรอิสระหรือตัวแปรจัดกระทำ (Treatment) หรือปัจจัย (Factor) 2 ตัว ส่วนตัวแปรตามมีเพียงตัวเดียว โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละชุดจะต้องเป็นอิสระต่อกัน มีการแจกแจงแบบปกติและความแปรปรวนเท่ากัน

การทดสอบสมมติฐาน เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่เกิดขึ้นจากการ มีความผันแปรร่วมระหว่างแถวกับหลัก, เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่เกิดขึ้นในแถว และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่เกิดขึ้นในหลัก

สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

สมมติฐานรอง $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

การวิเคราะห์ความแปรปรวน จะคำนวณค่าดังตารางที่ 2.1 เพื่อหาค่า F-ratio

$$\begin{aligned} \text{SSR} &= \text{ผลบวกของความผันแปรที่เกิดจากปัจจัยที่ 1 ที่มีองศาอิสระ (r-1)} \\ &= \sum_{i=1}^r n_i (\bar{X}_i - \bar{X}_t)^2 \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} \text{SSC} &= \text{ผลบวกของความผันแปรที่เกิดจากปัจจัยที่ 2 ที่มีองศาอิสระ (c-1)} \\ &= \sum_{j=1}^c n_j (\bar{X}_j - \bar{X}_t)^2 \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} \text{SSRC} &= \text{ผลบวกของความผันแปรที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ 1 และ 2} \\ &\text{ที่มีองศาอิสระ (r-1)(c-1)} \\ &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c n_{ij} (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X}_t)^2 \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} \text{SSE} &= \text{ผลบวกของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง ที่มีองศาอิสระ rc(n-1)} \\ &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^k n_{ijk} (\bar{X}_{ijk} - \bar{X}_{ij})^2 \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} \text{SST} &= \text{ผลบวกของความผันแปรทั้งหมด ที่มีองศาอิสระ nrc-1} \\ &= \text{SSR} + \text{SSC} + \text{SSRC} + \text{SSE} \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\text{MSR} = \text{SSR} / (r-1) \quad (2.20)$$

$$\text{MSC} = \text{SSC} / (c-1) \quad (2.21)$$

$$\text{MSRC} = \text{SSRC} / (r-1)(c-1) \quad (2.22)$$

$$\text{MSE} = \text{SSE} / rc(n-1) \quad (2.23)$$

ตารางที่ 2.1 ตารางสำหรับทดสอบสมมติฐานด้วย Two-Way ANOVA

Source of Variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F-ratio
Between Row	r-1	SSR	MSR	MSR/MSE
Between column	c-1	SSC	MSC	MSC/MSE
Interaction effect	(r-1) (c-1)	SSRC	MSCR	MSRC/MSE
Error	rc(n-1)	SSE	MSE	
Total	nrc-1	SST		

จากนั้นนำค่า F-ratio ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่า $F_{critical}$ ที่ได้จากการตารางการแจกแจงแบบ F ถ้า F ที่ได้จากการคำนวณ มีค่ามากกว่า $F_{critical}$ ให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แต่ถ้า F ที่ได้จากการคำนวณ มีค่าน้อยกว่า $F_{critical}$ ให้ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้โปรแกรม Microsoft Excel โดยจะใช้ในการพิจารณาตัวแปรต้นที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ และสร้างสมการพยากรณ์ปริมาณพลังงานที่ใช้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA) ทำการทดสอบสมมติฐานผลของตัวแปรต้นต่อตัวแปรตามโดยการใช้ Two-way ANOVA โดยการวิเคราะห์จากค่า P-value ที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน ถ้า $P\text{-value} > 0.05$ แสดงว่าตัวแปรต้นไม่ส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้า $P\text{-value} \leq 0.05$ แสดงว่าตัวแปรต้นส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ

การวิเคราะห์ถดถอยอย่างง่าย ทำการความเป็นเชิงเส้น ผลของตัวแปรต้นต่อตัวแปรตามโดยการใช้ Regression โดยการวิเคราะห์จากค่า P-value ที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน ถ้า $P\text{-value} > 0.05$ แสดงว่าตัวแปรต้นไม่ส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้า $P\text{-value} \leq 0.05$ แสดงว่าตัวแปรต้นส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ พร้อมทั้งพิจารณาค่า R^2 เป็นค่าบ่งชี้การกระจายตัวของข้อมูลว่ามีความผิดพลาดจากสมการเส้นตรงมากน้อยเท่าใด ค่า R^2 ควรมีค่ามากกว่า 0.8 ถึงจะสามารถยอมรับได้ว่าสมการมีความถูกต้องและเหมาะสม

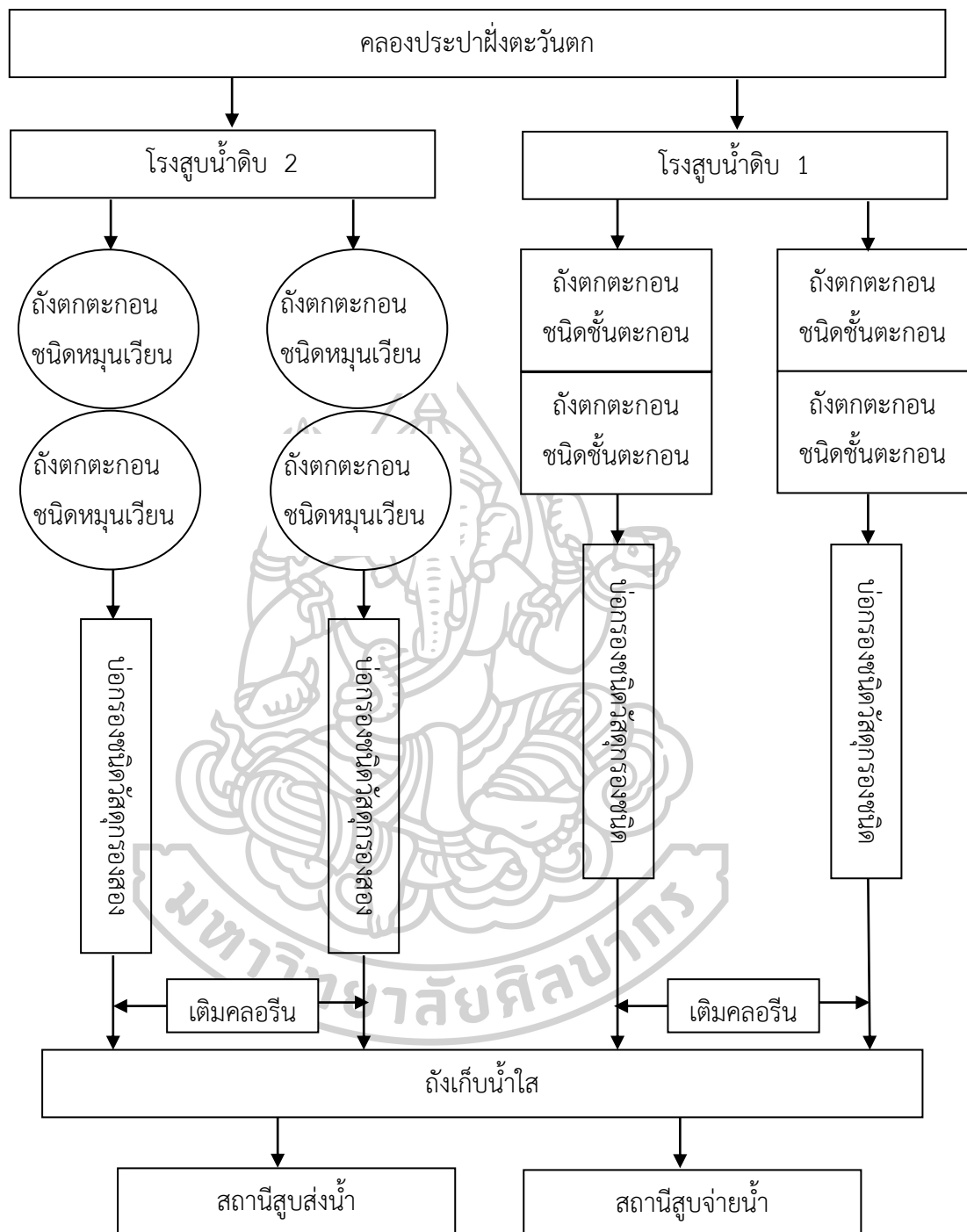


2.6 ข้อมูลของโรงงานผลิตน้ำประปาที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 2. 14 แสดงโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ จาก Google earth

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. คลองประปาฝั่งตกตะวันตก | 2. โรงสูบน้ำดิบ 1 |
| 3. โรงสูบน้ำดิบ 2 | 4. ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน |
| 5. ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน | 6. บ่อกรองชนิดวัสดุกรองชนิดเดียว |
| 7. บ่อกรองชนิดวัสดุกรองสองชนิด | 8. สถานีสูบน้ำ |
| 9. สถานีสูบน้ำส่งน้ำ | 10. จุดจ่ายสารส้มและคลอรีน |
| 11. จุดจ่ายคลอรีน | |



รูปที่ 2. 15 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตน้ำประปา

การประปานครหลวง เป็นรัฐวิสาหกิจในสังกัดของกระทรวงมหาดไทย ก่อตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 16 สิงหาคม 2510 ตามพระราชบัญญัติการประปานครหลวง พ.ศ. 2510 มีหน้าที่ 1. สำรองจัดหา

แหล่งน้ำดิบ และจัดมาให้ได้ซึ่งน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา 2. ผลิต จัดส่งและจำหน่ายน้ำประปาในเขต ท้องที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรีและจังหวัดสมุทรปราการและควบคุมมาตรฐานประปาเอกชน ในพื้นที่ดังกล่าว 3. ดำเนินธุรกิจที่เกี่ยวข้องหรือเป็นประโยชน์ต่อการประปา ปัจจุบันมีโรงงานผลิต น้ำอยู่ 4 แห่งคือ โรงงานผลิตน้ำบางเขน โรงงานผลิตน้ำสามเสน โรงงานผลิตน้ำธนบุรีและโรงงานผลิต น้ำมหาสวัสดิ์

แหล่งน้ำดิบสำหรับการประปานครหลวง จะใช้คลองประปา ทำหน้าที่รับน้ำดิบจากแหล่งน้ำ ผิดดิน โดยมีแหล่งน้ำดิบจำนวน 2 แห่ง คือ เขื่อนแม่กลอง และ แม่น้ำเจ้าพระยา โดยโรงงานผลิตน้ำ ในฝั่งตะวันออก ได้แก่ โรงงานผลิตน้ำบางเขน โรงงานผลิตน้ำสามเสน และโรงงานผลิตน้ำธนบุรี จะ รับน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยา ส่วนโรงงานผลิตน้ำฝั่งตะวันตก คือ โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ จะรับน้ำ จากเขื่อนแม่กลอง

จากรูปที่ 2.14 และ 2.15 แสดงกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ เริ่มจ่ายน้ำบริการผู้ใช้น้ำเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2539 มีกำลังการผลิต 1.8 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน แบ่งกำลังการผลิตออกเป็น 4 เฟส เฟสละ 450,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน กระบวนการผลิตน้ำประปา จะเริ่มจากการสูบน้ำดิบจากคลองประปาฝั่งตะวันตก ทำการเติมสารส้มและคลอรีนเพื่อปรับปรุง คุณภาพน้ำดิบ จากนั้นน้ำดิบที่ผสมสารเคมีแล้วจะเข้าสู่กระบวนการตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนออก จากน้ำดิบ น้ำส่วนที่ใสจะเข้าสู่กระบวนการกรอง เพื่อกำจัดตะกอนอีกชั้นตอนหนึ่ง จากนั้นน้ำที่ผ่าน การกรองจะเติมคลอรีนอีกครั้ง เพื่อให้มีคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา และจะถูกเก็บอยู่ในถังเก็บน้ำใส รอการสูบน้ำ/สูบส่งน้ำไปกับผู้ใช้ต่อไป

แหล่งน้ำดิบ โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์จะรับน้ำดิบจากเขื่อนแม่กลองเพื่อมาผลิตเป็น น้ำประปา เป็นระยะทาง 106 กิโลเมตรที่ระดับความสูงที่ต่างกัน 19 เมตร ผ่านคลองประปาท่าม่วง โรงสูบน้ำดิบบางเลน จนมาถึงคลองประปาฝั่งตะวันตก โดยความชันของน้ำดิบมีค่า 26-50 NTU ขึ้นอยู่กับฤดูกาล

กระบวนการสูบน้ำดิบ มีโรงสูบน้ำดิบ จำนวน 2 โรง แต่ละโรงสูบน้ำดิบจะสูบน้ำดิบเข้าสู่ กระบวนการผลิต 2 เฟส โรงสูบน้ำดิบ 1 ประกอบไปด้วย เครื่องสูบน้ำจำนวน 5 เครื่อง ขนาด 560 kW จำนวน 5 เครื่องโดยมี 3 เครื่องที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ ส่วนโรงสูบน้ำดิบ 2 ประกอบไป ด้วย เครื่องสูบน้ำขนาด 480 kW จำนวน 3 เครื่อง โดยมี 2 เครื่องที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ ดัง แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 เครื่องจักรในกระบวนการสูบน้ำดิบ

เครื่องจักร	Power (kW)	Head (m.)/ Flow rate (m ³ /h)	ระบบ VSD	จำนวน
โรงสูบน้ำดิบ 1				
Vertical turbine pump	560	16.3 / 8748	√	3
Vertical turbine pump	560	12.6 / 9630	-	2
โรงสูบน้ำดิบ 2				
Vertical turbine pump	480	14.5 / 8760	√	2
Vertical turbine pump	480	14.5 / 8760	-	1

ตารางที่ 2. 3 ข้อมูลทางเทคนิคของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

ข้อมูล	ปริมาณ	หน่วย
กำลังการผลิต	200,000	ลบ.ม./วัน/ถัง
ขนาดถังตกตะกอน	67.2x40.45	ตร.ม.
ความสูง	5	ม.
ขนาด Vacuum chamber	5.2x5.2	ตร.ม.
Vacuum fan	22	kW
Flow rate	4,700	m ³ /h
Vacuum prssure	0 to 800	mm WC
จำนวนถังตกตะกอน	4	เครื่อง
Metering pump ขนาด 1.5 kW	3	เครื่อง
Submersible pump ขนาด 28 kW	3	เครื่อง

ตารางที่ 2. 4 ข้อมูลทางเทคนิคของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

ข้อมูล	ปริมาณ	หน่วย
กำลังการผลิต	200,000	ลบ.ม./วัน/ถัง
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	63	ม.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนตกตะกอน	19.5	ม.
ความสูง	4.8	ม.
อุปกรณ์การผสม	Turbine	
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	7.62	ม.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	5.57	ม.
จำนวนใบพัด	36	ใบ
ขนาดมอเตอร์พร้อม VSD	22	kW
อัตราทด	369.36	
อุปกรณ์การกวาดตะกอน	Scraper	
ขนาดมอเตอร์	2.2	kW
อัตราทด	31,662	
จำนวนถังตกตะกอน	4	เครื่อง
Metering pump ขนาด 1.5 kW	6	เครื่อง
Submersible pump ขนาด 28 kW	3	เครื่อง

ตารางที่ 2. 5 ข้อมูลทางเทคนิคของบ่อกรองชนิดวัสดุกรองชนิดเดียว

ข้อมูล	ปริมาณ	หน่วย
อัตราการกรอง	60,000	ลบ.ม./วัน/บ่อ
ขนาด	197.8	ตร.ม.
จำนวน	16	บ่อ
เครื่องจักรในการล้างบ่อกรอง		
Blower ขนาด 90 kW, 6,430 m ³ /h	2	เครื่อง
Centrifugal pump ขนาด 30 kW, 1390 m ³ /h	2	เครื่อง

ตารางที่ 2. 6 ข้อมูลทางเทคนิคของบ่อกรองชนิดวัสดุกรองสองชนิด

ข้อมูล	ปริมาณ	หน่วย
อัตราการกรอง	32,000	ลบ.ม./วัน/บ่อ
ขนาด	112	ตร.ม.
จำนวน	28	บ่อ
เครื่องจักรในการล้างบ่อ		
Blower ขนาด 75 kW, 2,800 m ³ /h	2	เครื่อง
Double suction Centrifugal pump ขนาด 132 kW, 3080 m ³ /h	2	เครื่อง

กระบวนการตกตะกอน จะประกอบไปด้วยถังตกตะกอนเฟสละ 2 ถัง รวมเป็น 8 ถัง เป็นถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนจำนวน 4 ถัง และชนิดหมุนเวียนตะกอนจำนวน 4 ถัง ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และ 2.4 โดยเป็นกระบวนการที่ต้องรองรับต่อความขุ่นในทุก ๆ ช่วงความขุ่นและต้องควบคุมความขุ่นหลังตกตะกอนให้ไม่เกิน 10 NTU โดยการใ้ไบกวน(สำหรับถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน) หรือ Blower(สำหรับถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน) ในการสร้าง Velocity gradient (G) เพื่อทำให้น้ำดิบและสารตกตะกอนคลุกเคล้ากันจนตะกอนเกิดการจับตัวกันจากอนุภาคขนาดเล็กจนกลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่และแยกชั้นออกจากส่วนที่เป็นน้ำใส

กระบวนการกรอง ประกอบไปด้วย บ่อกรองชนิดวัสดุกรองชนิดเดียว จำนวน 16 บ่อ และบ่อกรองชนิดวัสดุกรองสองชนิดจำนวน 28 บ่อ ดังตารางที่ 2.5 และ 2.6 จะรับน้ำจากถังตกตะกอนและควบคุมความขุ่นขาออกไม่เกิน 5 NTU โดยบ่อกรองจะต้องทำการล้างย้อนเพื่อทำความสะอาดบ่อกรอง ทุก ๆ 48 ชั่วโมง เพื่อรักษาประสิทธิภาพในการกรองให้สามารถควบคุมความขุ่นได้ตามมาตรฐาน

การล้างย้อนจะเริ่มจาก ลดระดับน้ำในบ่อกรองให้มีความสูงไม่เกิน 20 เซนติเมตร จากนั้นจะใช้ลมจาก Blower เป่าจากด้านล่างของบ่อกรองเพื่อให้อนุภาคของวัสดุกรองขัดสีกันจนตะกอนหลุดจากวัสดุกรอง ใช้เวลาประมาณ 2-5 นาที จากนั้นจะเพิ่มเครื่องสูบน้ำอีก 1 เครื่องเพื่อช่วยในการขัดสีของวัสดุกรองและช่วยพาเอาตะกอนออกไปจากวัสดุกรอง ใช้เวลาประมาณ 6-10 นาที จากนั้นจะหยุดการทำงานของ Blower และเพิ่มเครื่องสูบน้ำ อีก 1 เครื่องรวมเป็น 2 เครื่อง เพื่อทำการพาเอาตะกอนออกไปจากวัสดุกรองจนกระทั่งน้ำบริเวณเหนือวัสดุกรองใส จึงทำการหยุดเครื่องสูบน้ำทั้ง 2 เครื่อง ใช้เวลาประมาณ 6-8 นาที เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนดังที่กล่าวมาจะกลับเข้าสู่การกรองตามปกติ

ตารางที่ 2. 7 ข้อมูลของเครื่องสูบน้ำของกระบวนการสูบน้ำ/สูบส่งน้ำ

เครื่องจักร	Power (kW)	Head (m.)/ Flow rate (m ³ /h)	ระบบ VSD	จำนวน
โรงสูบน้ำ				
Double suction centrifugal pump	1,600	40 / 8892	√	2
Double suction centrifugal pump	1,460	40 / 8892	√	2
โรงสูบส่งน้ำ				
Double suction centrifugal pump	2,050	32 / 18,000	√	2
Double suction centrifugal pump	2,200	32 / 18,000	√	1

กระบวนการสูบน้ำ ประกอบไปด้วยเครื่องสูบน้ำ จำนวน 4 เครื่องดังแสดงในตาราง 2.7 ทำหน้าที่สูบน้ำให้ผู้ใช้ในในพื้นที่ อำเภอบางกรวย อำเภอบางใหญ่ อำเภอบางบัวทองและอำเภอไทรน้อยในจังหวัดนนทบุรี โดยจะต้องควบคุมความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ ตามความต้องการของผู้ใช้น้ำ ในแต่ละช่วงเวลา มีอัตราการสูบน้ำประมาณ 500,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

กระบวนการสูบส่งน้ำ ประกอบไปด้วยเครื่องสูบน้ำ จำนวน 3 เครื่องดังแสดงในตาราง 2.7 ทำหน้าที่สูบส่งไปยังสถานีสูบน้ำฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา คือ สถานีสูบน้ำเพชรเกษม สถานีสูบน้ำท่าพระและสถานีสูบน้ำราษฎร์บูรณะ โดยสถานีสูบน้ำแต่ละสถานีจะสูบน้ำให้กับผู้ใช้น้ำในแต่ละพื้นที่ต่อไป โดยสถานีจะสูบส่งน้ำมีปริมาณน้ำสูบส่ง ประมาณ 1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ใช้แรงดันไฟฟ้า 24 kV คิดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU) โดยมีรายละเอียดการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าดังนี้

1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (kW) ราคา 132.93 บาทต่อ kW
2. ช่วงเวลา 09.00 น.-22.00 น. ของวันธรรมดาเป็นช่วง On Peak คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4.2097 บาท
3. ช่วงเวลา 22.00น.-09.00 น. ของวันธรรมดาและช่วงเวลา 00.00 น.-24.00 น. ของวันหยุดราชการและนักขัตฤกษ์ เป็นช่วง Off Peak คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.6295 บาท

4. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (kVAr) พิจารณาค่าปรับจากกำลังไฟฟ้า Reactive กรณีกำลังไฟฟ้า Reactive ไม่เกิน 61.97 % ของค่าความต้องการไฟฟ้า(kW) จะไม่คิดค่าปรับ หากเกินจะคิดค่าปรับราคา 56.07 บาทต่อ kVAr
5. ค่าบริการ 312.24 บาทต่อเดือน
6. อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร(FT) ขึ้นอยู่กับประกาศของ กฟน.
7. เดือน กันยายน 2559 – ธันวาคม 2559 ราคา -33.29 สตางค์ต่อหน่วย
8. ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) ปี 2559 คิดที่ 7%

โดยในปี 2559 โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 2.8 โดยมีค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3.47 บาทต่อหน่วย

ตารางที่ 2. 8 ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยประจำปี 2559

เดือน	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า(kW)	ค่าพลังงานไฟฟ้า(kWh)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท)	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย(บาท/kWh)
		On Peak	Off Peak		
มกราคม	10,675	2,181,000	3,728,000	21,222,998	3.59
กุมภาพันธ์	14,720	2,955,000	3,972,000	25,927,701	3.74
มีนาคม	15,654	3,485,000	4,357,000	29,391,810	3.75
เมษายน	15,821	2,913,000	5,479,000	29,970,439	3.57
พฤษภาคม	15,706	3,452,000	5,451,000	29,551,785	3.32
มิถุนายน	14,950	3,176,000	4,197,000	25,245,634	3.42
กรกฎาคม	13,350	2,719,000	4,670,000	24,296,992	3.29
สิงหาคม	13,196	3,033,000	4,035,000	23,992,152	3.39
กันยายน	14,746	3,120,000	3,977,000	24,446,228	3.44
ตุลาคม	13,030	2,798,000	4,074,000	23,117,002	3.36
พฤศจิกายน	12,531	2,588,000	3,373,000	20,482,473	3.44
ธันวาคม	12,071	2,583,000	3,754,000	21,358,721	3.37
รวม	-	35,003,000	51,067,000	299,003,933	3.47

2.7 ข้อมูลกระบวนการตกตะกอน

กระบวนการตกตะกอน จะเริ่มจากการรับน้ำดิบจากโรงสูบน้ำดิบ จากนั้นจะทำการเติมสารส้มตามความขุ่นของน้ำดิบดังแสดงในตารางที่ 2.9 โดยอัตราการจ่ายสารส้มจะขึ้นอยู่กับความขุ่นน้ำดิบและอัตราการผลิตท จากนั้นน้ำดิบที่ผสมกับสารส้มเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะเข้าสู่ถังตกตะกอน พนักงานควบคุมการผลิตจะควบคุมความขุ่นน้ำหลังตกตะกอนให้ความขุ่นออกมาไม่เกิน 10 NTU ส่วนที่เป็นน้ำใสจะถูกส่งไปยังกระบวนการกรองเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานต่อไป ส่วนที่เป็นตะกอนจะถูกระบายออกโดยการไ้ไบกวาดหรือไมไ้ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของถังตกตะกอน จากนั้นตะกอนจะถูกลำเลียงออกไปโดยใช้ Submersible pump เพื่อนำไปตากให้แห้งและชุดเอาตะกอนที่แห้งไปใช้ประโยชน์ต่อไป

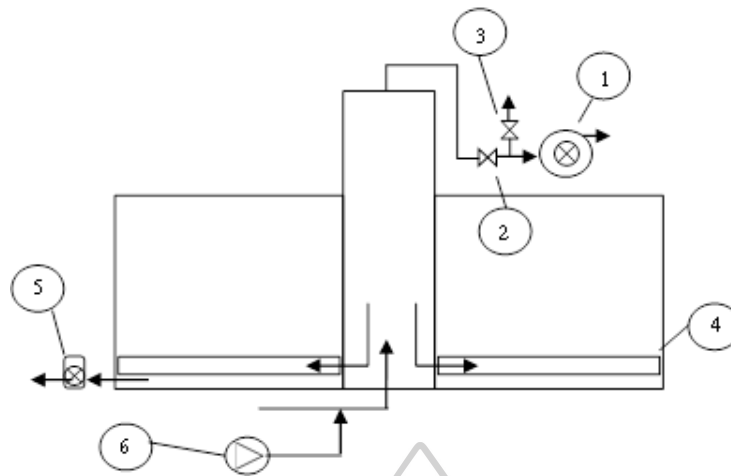
จะเห็นว่า อัตราการผลิตสูง ความขุ่นน้ำดิบสูง ส่งผลให้จะต้องจ่ายสารส้มในปริมาณมาก และต้องใช้พลังงานในเครื่องจ่ายสารส้มที่สูง พลังงานในการควบคุมถังตกตะกอนที่สูง และพลังงานในการลำเลียงตะกอนไปทิ้งสูงด้วย ซึ่งถังตกตะกอนที่ต่างชนิดกันจะมีอุปกรณ์ในการผสมที่ต่างกัน จึงส่งผลให้มีการใช้พลังงานที่ต่างกันด้วย

ตารางที่ 2. 9 แสดงอัตราการใช้สารส้มที่ความขุ่นน้ำดิบ 26-40 NTU

ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)	อัตราการใช้สารส้ม (ppm)
26-30	16-18
31-35	19-21
36-40	22-25

ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน เป็นถังทรงสี่เหลี่ยม ประกอบด้วย Vacuum Fan , เครื่องจ่ายสารส้ม, วาล์วควบคุมทิศทางและ Submersible pump ดังแสดงในรูปที่ 2.16 โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. น้ำดิบที่ผสมสารส้มแล้วจะไหลเข้าสู่แกนกลางถังตกตะกอนบริเวณห้อง Vacuum chamber โดยมี Vacuum fan จะทำหน้าที่ยกมวลน้ำขึ้นไปตาม Vacuum chamber โดยควบคุมระยะความสูงในการยกมวลน้ำและเวลาในการยกมวลน้ำด้วยวาล์วหมายเลข 2
2. ปล่อยมวลน้ำลงมาโดยควบคุมเวลาในการปล่อยด้วยวาล์วหมายเลข 3



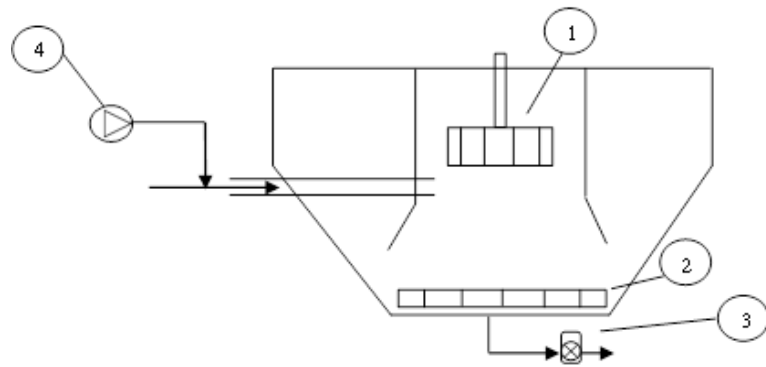
รูปที่ 2. 16 แสดงอุปกรณ์และกระบวนการทำงานของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| 1. Vacuum fan | 2. Butterfly valve |
| 3. Actuator Butterfly valve | 4. ท่อกระจายน้ำ |
| 5. Submersible pump | 6. เครื่องจ่ายสารส้ม |

- น้ำดิบและสารส้มจะคลุกเคล้ากันและกระจายตัวไปตามท่อหมายเลข 4 ตะกอนจะสะสมตัวเป็นชั้นของตะกอนขึ้นและทำหน้าที่เป็นชั้นสำหรับดักจับตะกอน จะมีแค่ส่วนที่เป็นน้ำใสเท่านั้นที่สามารถผ่านชั้นตะกอนได้

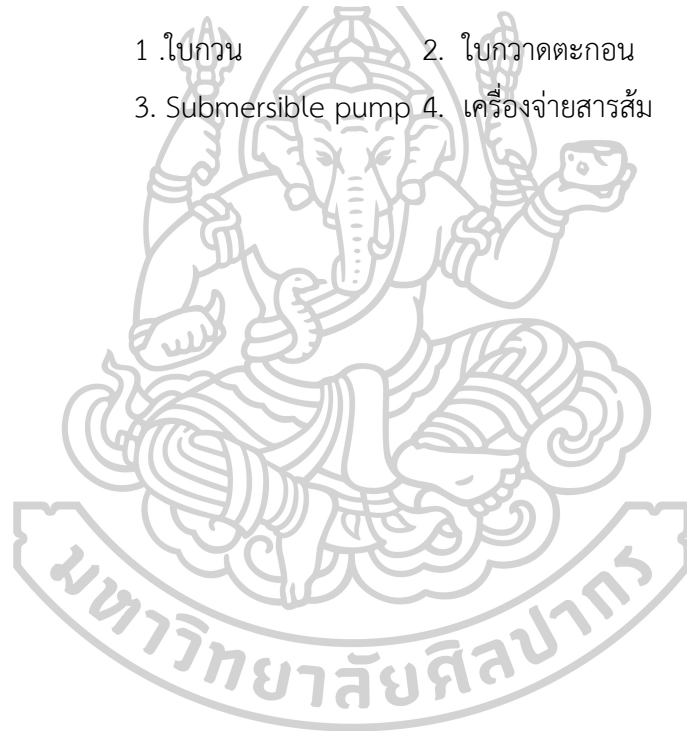
ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน มีพื้นที่หน้าตัดรูปวงกลม ประกอบด้วย ไบวอน, ไบกวาด ตะกอน, เครื่องจ่ายสารส้มและ Submersible pump ดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- น้ำดิบที่ผสมสารส้มแล้วจะไหลเข้าสู่แกนกลางถังตกตะกอน โดยมีไบวอนเป็นอุปกรณ์สำหรับผสม คลุกเคล้า จนน้ำส่วนที่ใสกับตะกอนแยกชั้นออกจากกัน
- ส่วนให้น้ำใส ค่อยๆ ไหลขึ้นอย่างช้า ๆ เพื่อให้มีเวลานานพอให้ตะกอนตกลงสู่ก้นถังตกตะกอน
- ส่วนที่เป็นตะกอนจะถูกกวาด และระบายออกไปกำจัดต่อไป



รูปที่ 2. 17 แสดงอุปกรณ์และกระบวนการทำงานของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

1. ไบพาส 2. ไบกวาดตะกอน
3. Submersible pump 4. เครื่องจ่ายสารส้ม



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยภาคสนาม (Field experimental) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของกระบวนการตกตะกอนในการผลิตน้ำประปา

3.1 การพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน

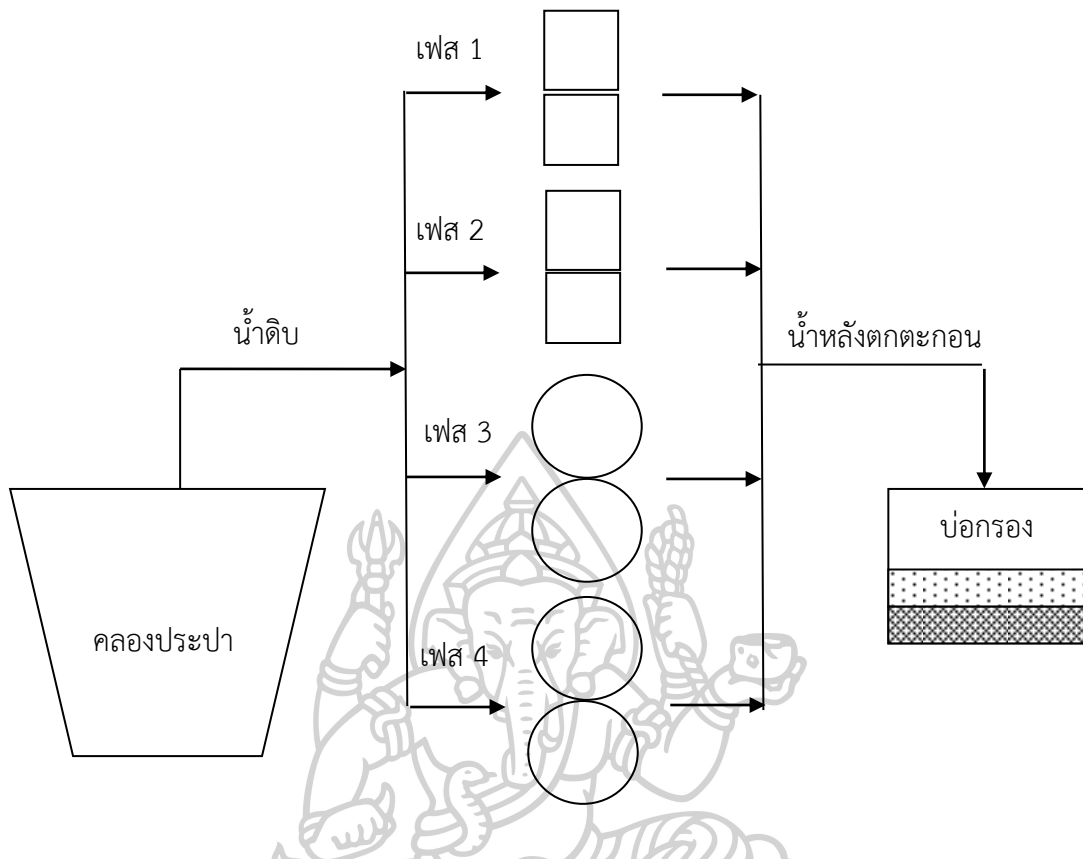
การผลิตน้ำประปาประกอบไปด้วยปัจจัยอันเนื่องมาจาก ความต้องการปริมาณน้ำของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศและคุณภาพน้ำที่ผันแปรตามฤดูกาล โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ มีกำลังการผลิตสูงสุด 1.8 ล้านลบ.ม. แบ่งการผลิตออกเป็น 4 เฟส เฟสละ 4.5 แสนลบ.ม.

กระบวนการตกตะกอนจะปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ โดยรับน้ำดิบจากคลองประปา จากนั้นจะเติมสารส้มด้วยอัตราการใช้ขึ้นอยู่กับความขุ่นน้ำดิบและอัตราการผลิต จากนั้นน้ำดิบและสารส้มจะถูกผสมเข้าด้วยกันด้วยถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน จนน้ำมีความขุ่นไม่เกิน 10 NTU จะออกถังตกตะกอนเข้าสู่กระบวนการต่อไป คือ การกรอง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการตกตะกอนมีดังนี้

1. อัตราการผลิต จะต้องสามารถรองรับความต้องการน้ำประปาที่มีการเปลี่ยนแปลงตามแต่ละช่วงเวลา ฤดูกาลและอุณหภูมิได้ โดยจะต้องทำการปรับอัตราการผลิตในแต่ละเฟสให้ได้ปริมาณน้ำรวมตามความต้องการ ซึ่งจะทำให้การศึกษาอัตราการผลิตของแต่ละเฟสในช่วง 3.76-5.20 m³/s ซึ่งเป็นอัตราการผลิตที่มีการใช้งาน

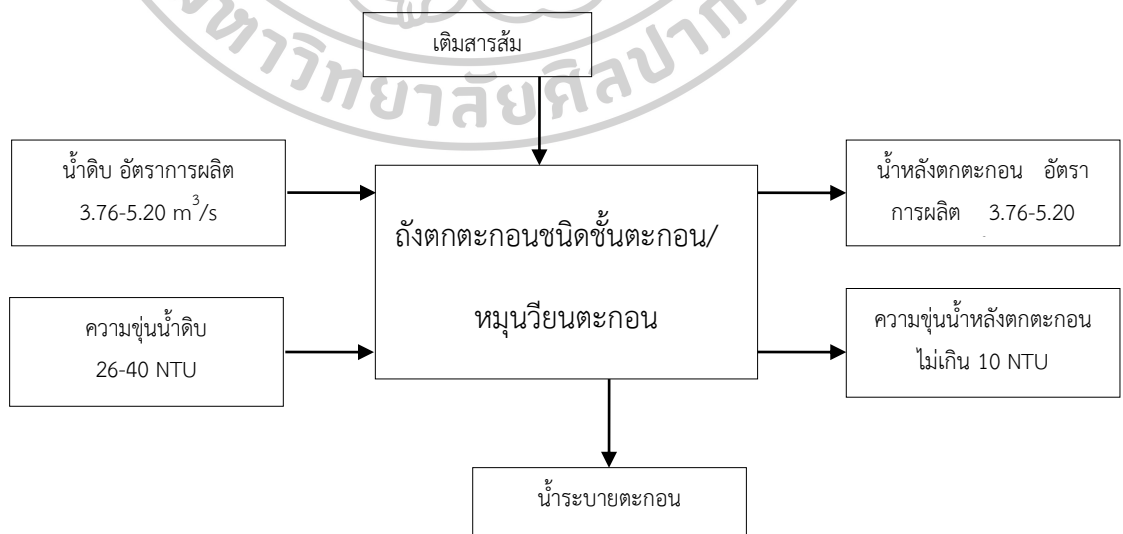
2. ความขุ่นน้ำดิบ คุณภาพน้ำดิบจะมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ซึ่งความขุ่นน้ำดิบที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีการเติมสารส้มในอัตราที่สูงขึ้น และจะทำให้มีการระบายตะกอนออกเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยจะทำการศึกษาในช่วง 26-40 NTU ซึ่งเป็นช่วงความขุ่นน้ำดิบที่รับเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

3. ชนิดถังตกตะกอน ถังตกตะกอนเป็นเครื่องจักรที่สำคัญในกระบวนการตกตะกอน เป็นเครื่องจักรที่ทำให้ น้ำดิบและสารตกตะกอนรวมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยการสร้าง Velocity Gradient (G) ทำให้เกิดการคลุกเคล้า จนกระทั่งส่วนตะกอนแยกชั้นออกจากน้ำดิบ และส่วนที่เป็นตะกอนจะถูกกำจัดออกไป โรงงานผลิตน้ำจะนิยมเป็นถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน



รูปที่ 3. 1 แผนผังเฟสการผลิตและ Input Output ของกระบวนการตกตะกอน

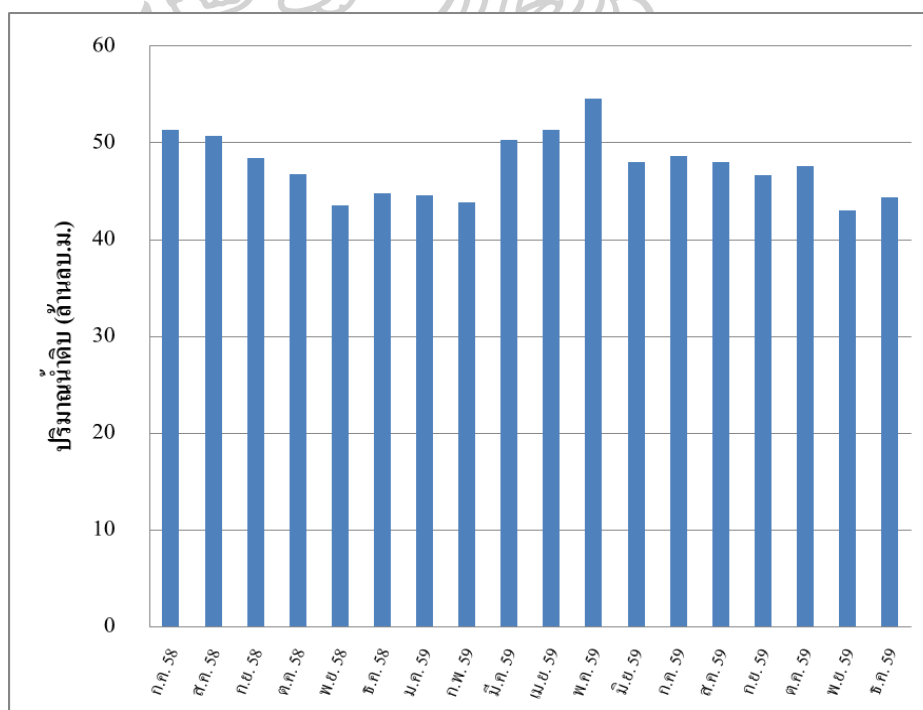
□ ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ○ ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน



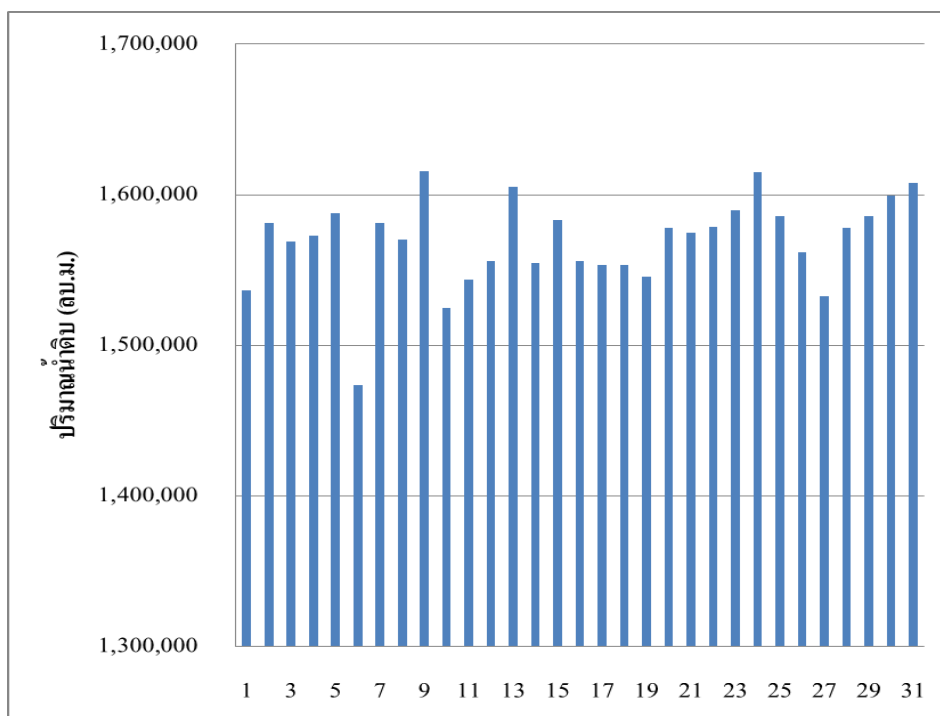
รูปที่ 3. 2 แผนผังการทำงานของถังตกตะกอน

จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการตกตะกอน คือ อัตราการผลิต ความชุ่มน้ำดิบ และ ชนิดของถังตกตะกอน ดังแสดงในรูป 3.2 ซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอน โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ มีอัตราการผลิต 40-54 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน ซึ่งความต้องการน้ำดิบมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศ ดังแสดงในรูป 3.3 พบว่าในช่วงเดือนกรกฎาคม 2558 – ธันวาคม 2559 มีความต้องการน้ำประปาที่แตกต่างกันออกอีกทั้งยังพบว่าในแต่ละวันยังมีความต้องการน้ำประปาที่แตกต่างกันอีกเช่นกันดังแสดงในรูป 3.4

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์แบ่งเป็นการผลิตวันละ 1.4-1.8 ล้านลูกบาศก์แบ่งออกเป็น 4 เฟสการผลิต การใช้พลังงานของกระบวนการตกตะกอนจะเกิดจากปริมาณพลังงานที่ใช้ของการผลิตทั้ง 4 เฟสรวมกัน โดยในเฟส 1 และ 2 จะใช้ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ส่วนเฟส 3 และ 4 จะใช้ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนโดยแต่ละเฟส พนักงานควบคุมการผลิตจะทำการปรับอัตราการผลิตให้ได้ปริมาณน้ำตามความต้องการ ซึ่งพนักงานควบคุมการผลิตแต่ละคนจะปรับอัตราการผลิตในแต่ละเฟสแตกต่างกันออกไป โดยเน้นที่ความสะดวกและรวดเร็วในการทำงาน ซึ่งมีได้คำนึงถึงเรื่องการประหยัดพลังงาน จึงทำให้รูปแบบอัตราการผลิตมีความหลากหลายแตกต่างกันออกไป ซึ่งการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอน จะเกิดจากการใช้พลังงานของทั้ง 4 เฟสการผลิต



รูปที่ 3. 3 ปริมาณความต้องการน้ำดิบ ในช่วง กรกฎาคม 2558 – ธันวาคม 2559



รูปที่ 3. 4 ปริมาณความต้องการน้ำดิบในเดือน กรกฎาคม 2559

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า หากนำเอาเฟสการผลิตมาใช้เป็นตัวแปรใช้ในการควบคุมการผลิต จะทำให้พนักงานควบคุมการผลิตสามารถใช้งานได้สะดวกกว่าการใช้ตัวแปร

3.2 เครื่องมือสำหรับงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ เครื่องมือวิจัยที่ใช้คือ ถังตกตะกอนแบบโซลิตซ์คอนแทคท์ ซึ่งมีใช้ในการทดลองอยู่ 2 ชนิดคือ ถังตกตะกอนแบบถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน

ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ซึ่งเป็นถังตกตะกอนทรงสี่เหลี่ยมที่ใช้ Vacuum fan เป็นเครื่องจักรในการสร้าง Velocity Gradient โดยการปรับระยะยกมวลน้ำ ระยะเวลาในการยกมวลน้ำ และเวลาในการปล่อยมวลน้ำทำให้เกิดการคลุกเคล้ากัน เพื่อควบคุมความขุ่นน้ำหลังตกตะกอน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3. 5 ถังตกตะกอนชนิดขั้นตะกอน



รูปที่ 3. 6 ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน ซึ่งเป็นถังตกตะกอนทรงกระบอกที่ใช้ใบกวนเป็นอุปกรณ์ในการสร้าง Velocity Gradient โดยการปรับความเร็วรอบของ Turbine ทำให้เกิดการคลุกเคล้ากัน เพื่อควบคุมความขุ่นน้ำหลังตกตะกอน ดังรูปที่ 3.6

เครื่องวัดอัตราการไหล สำหรับการวัดอัตราการไหล จะวัดด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก Prosonic S FMU 90 ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่สามารถวัดอัตราการไหลในช่องเปิดได้ โดยมีความผิดพลาดไม่เกิน 0.2% และมีความละเอียด 1 m^3 ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3. 7 เครื่องวัดอัตราการไหล

เครื่องวัดความขุ่น สำหรับการวัดความขุ่นของน้ำดิบในแต่ละกระบวนการ จะวัดโดยใช้เครื่องวัดความขุ่นชนิด Nephelometric ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100AN ความละเอียด 1 NTU และมีความผิดพลาด ไม่เกิน 2 % ในช่วงการใช้งาน 0 ถึง 1000 NTU ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3. 8 เครื่องวัดความขุ่น

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า สำหรับการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการ จะวัดโดยใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ยี่ห้อ Multilin รุ่น 350 ความละเอียด 0.001 MWh ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

3.3 สถานที่ทำการวิจัย

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ การประปานครหลวง ตั้งอยู่เลขที่ 169 ถนนกาญจนาภิเษก ตำบลปลายบาง อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี

3.4 ระยะเวลาทำการวิจัย

ตารางที่ 3.1 แสดงระยะเวลาในการทำวิจัย

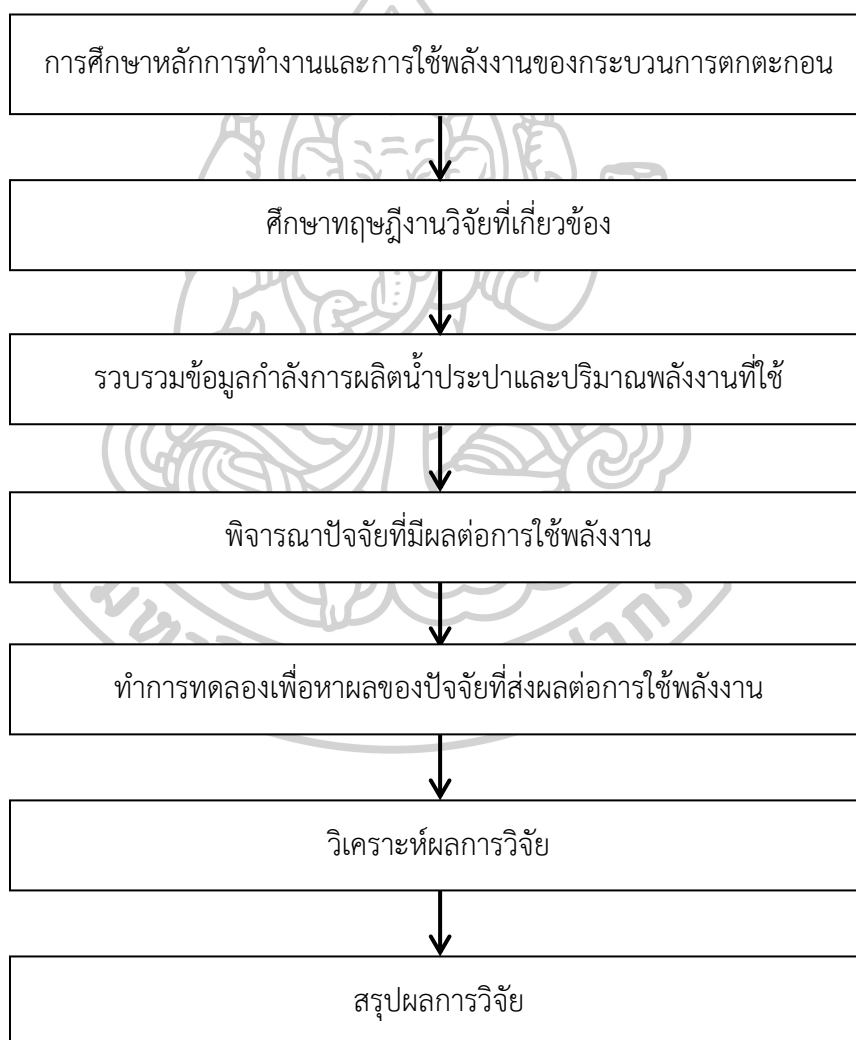
รายการดำเนินงานวิจัย	ปี 2559											ปี 2560					
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	
1. ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง																	
2. ศึกษาหาตัวแปรและเงื่อนไขที่ใช้ในงานวิจัย																	
3. ทำการวิจัยและเก็บผลการวิจัย																	
4. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย																	
5. เขียนรายงานการวิจัย																	

ในงานวิจัยนี้ จะเริ่มต้นศึกษาข้อมูลของถังตกตะกอนรวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตั้งแต่เดือนมกราคม 2559 ต่อมาในเดือนเมษายน 2559 เป็นการศึกษเพื่อหาตัวแปรและเงื่อนไขที่ใช้ในการวิจัย และเริ่มทำการวิจัยและเก็บผลการวิจัย ในเดือน กรกฎาคม จนถึงเดือน ธันวาคม 2559 ต่อมาทำการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยตั้งแต่เดือน มกราคม 2560 และเขียนสรุปรายงานวิจัยในเดือน มีนาคม 2560 ดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.5 การวางแผนการวิจัย

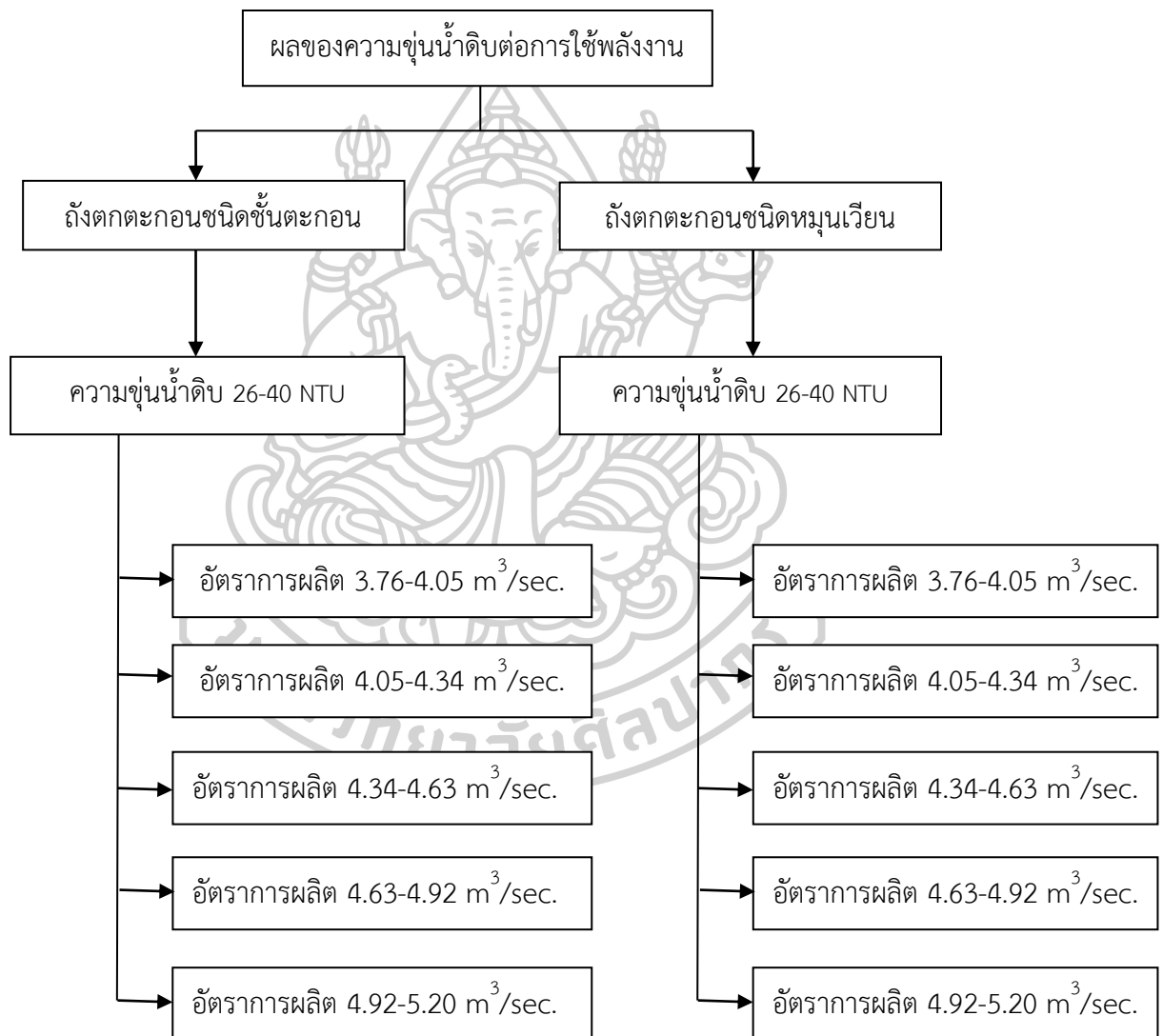
การวางแผนการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น แผนการวิจัย, แผนการทดลองและวิธีการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.5.1 แผนการวิจัย จะเริ่มจากการศึกษาหลักการทำงานและการใช้พลังงานของกระบวนการตกตะกอน จากนั้นจึงศึกษา ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นรวบรวมภาระกำลังการผลิตน้ำประปาและปริมาณพลังงานที่ใช้ จากนั้นจะพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานนำไปสู่ขั้นตอนการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับการใช้พลังงาน จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลการวิจัยและสรุปผลการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.11



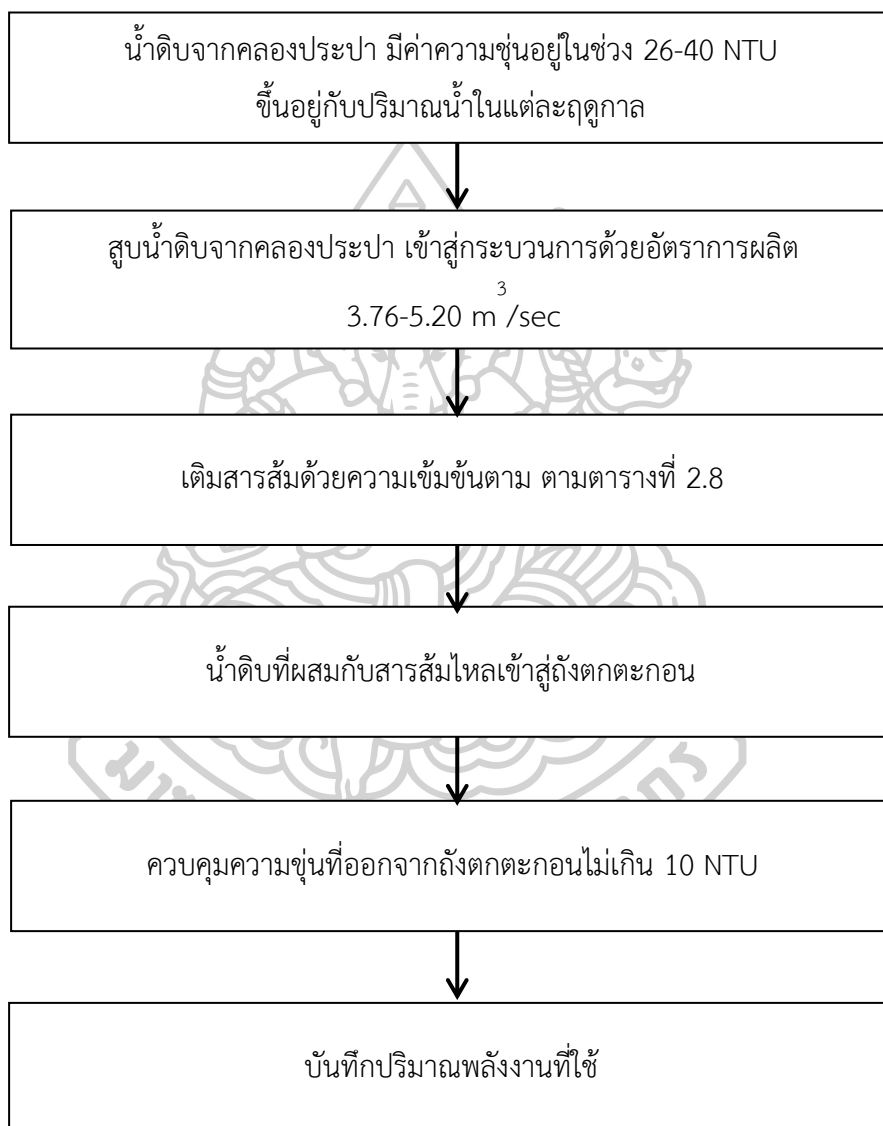
รูปที่ 3. 10 แผนการวิจัย

3.5.3 แผนการทดลอง ในงานวิจัยนี้ จะทำการทดลองถึงผลของอัตราการผลิต, ความขุ่นน้ำดิบและชนิดของถังตกตะกอนต่อการใช้พลังงาน โดยทำการวิจัยที่อัตราการผลิตในช่วง 3.76 – 5.20 m^3/sec ซึ่งเป็นอัตราการผลิตที่มีการใช้งาน ส่วนความขุ่นน้ำดิบที่ใช้ในงานวิจัยจะอยู่ในช่วง 26–40 NTU ซึ่งเป็นช่วงค่าความขุ่นของน้ำดิบที่บริเวณจุดรับน้ำดิบคลองประปาฝั่งตะวันตกที่นำมาผลิตน้ำประปา และจะทำการทดลองในถังตกตะกอน 2 ชนิด คือ ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน



รูปที่ 3. 11 แผนการทดลองผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน

การทดลองผลของความขุ่นน้ำดิบและอัตราการผลิตต่อการใช้พลังงาน จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณี คือถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน ในแต่ละกรณีจะทำการทดลองที่ความขุ่นน้ำดิบ 26-40 NTU เหมือนกันและจะแบ่งอัตราการผลิตออกเป็น 5 ช่วงคือ 3.76-4.05, 4.05-4.34, 4.34-4.63, 4.63-4.92 และ 4.92-5.20 m^3/sec ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3. 12 วิธีการทดลอง

3.5.4 วิธีการทดลอง ในงานวิจัยนี้มีขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ดังนี้

3.5.4.1 เริ่มจากการสูบน้ำดิบจากคลองประปาเข้าสู่กระบวนการ พร้อมทั้งทำการวัดความขุ่นของน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบ

3.5.4.2 ปรับอัตราการผลิตในแต่ละเฟสในช่วง 3.76-5.20 m³/sec โดยอัตราการผลิตรวมทั้ง 4 เฟสจะต้องเท่ากับความต้องการน้ำใน 1 วัน

3.5.4.3 เติมสารส้มด้วย Optimum dose จากวิธีการทำ Jar test ดังแสดงในตารางที่ 2.8 โดยเติมที่บริเวณก่อนทางเข้าถังตกตะกอน

3.5.4.5 น้ำดิบที่ผสมกับสารส้ม จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน ทำการควบคุมถังตกตะกอนโดยต้องควบคุมความขุ่นของน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนให้ไม่เกิน 10 NTU

3.5.4.6 วัดปริมาณน้ำดิบที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในแต่ละเฟสใน 1 วัน

3.5.4.7 วัดปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละเฟสใน 1 วัน

กรณีถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน จะทำการปรับระยะยกมวลน้ำ 40 cm. เวลาในการยกมวลน้ำ 40 sec และเวลาในการปล่อยน้ำ 10 sec [23, 26-28]

กรณีถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน จะทำการควบคุมความเร็วรอบ Turbine ที่ 2 rpm [15, 29, 30]

3.6 การวิเคราะห์ผล

3.6.1 ใช้วิธีการทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐานของการวิจัย เพื่อให้ทราบถึงตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานของกระบวนการตกตะกอนเมื่อทราบถึงตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอน และหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ เปรียบเทียบผลของตัวแปรต่อการใช้พลังงาน

3.6.2 เมื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและการใช้พลังงาน จะนำไปสู่การสร้างสมการประมาณค่าปริมาณพลังงานที่ใช้ เพื่อให้ใช้ในการประมาณค่าพลังงานที่ใช้เมื่อมีปรับเปลี่ยนตัวแปร

3.6.3 นำสมการประมาณค่าพลังงานในกระบวนการตกตะกอนที่ได้ ไปกำหนดเป็นมาตรการประหยัดพลังงานในกระบวนการตกตะกอน ซึ่งจะพิจารณาให้มีการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอนต่ำที่สุดโดยการควบคุมผลของตัวแปรที่ได้จากการทดลองให้ได้จุดที่ดีที่สุด และจะต้องไม่กระทบกับความต้องการน้ำประปาของผู้ใช้น้ำ

3.6.4 เสนอแนะช่วงการใช้งานกระบวนการตกตะกอนที่สามารถประหยัดพลังงานได้ดีที่สุด โดยค่าพลังงานจำเพาะเป็นตัวเปรียบเทียบ

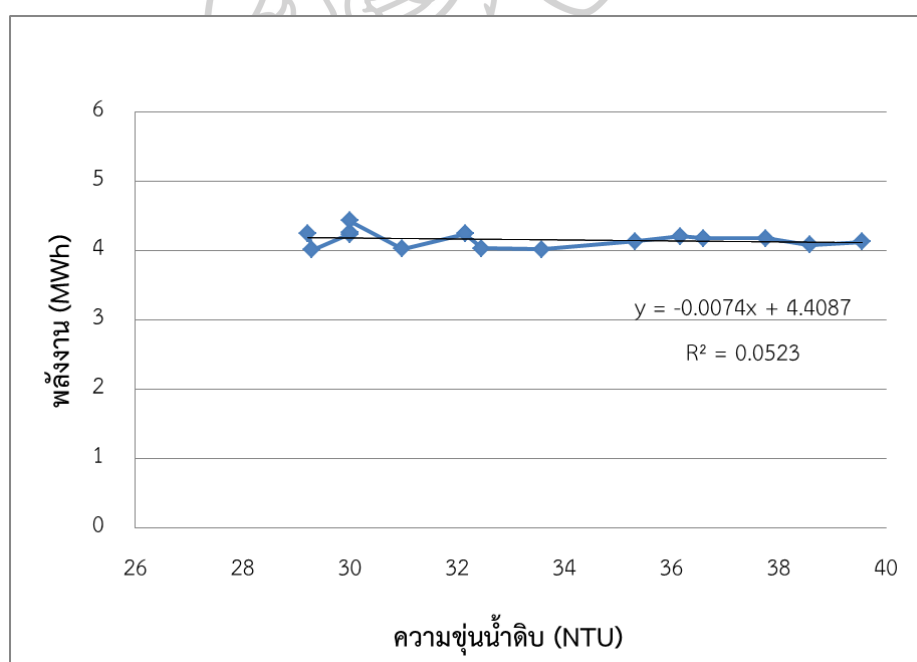
บทที่ 4

ผลการวิจัย

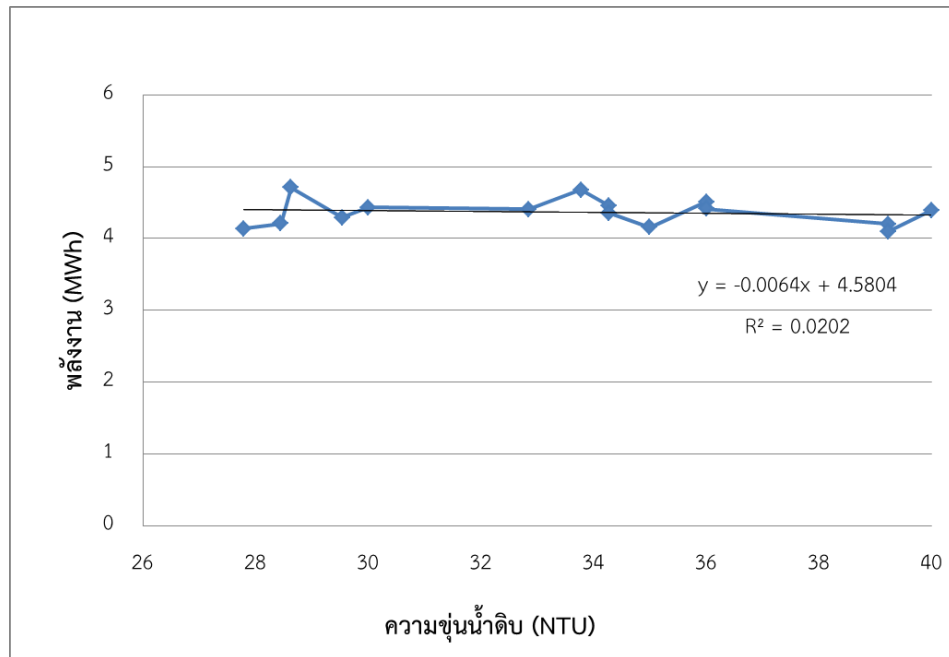
งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอนสำหรับโรงงานผลิตน้ำประปา เพื่อนำไปกำหนดเป็นมาตรการพลังงานของกระบวนการตกตะกอน โดยในประเทศไทยจะใช้ถังตกตะกอนประเภท Solid contact สำหรับกระบวนการตกตะกอน ซึ่งจากการคัดเลือกตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาตัวแปรที่ศึกษา คือ ความขุ่นของน้ำดิบ และ อัตราการผลิต

ในการศึกษาและเปรียบเทียบจะแบ่ง กรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณีคือ 1. ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน 2. ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน 3. เปรียบเทียบผลของการใช้พลังงานของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน เมื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา จะนำไปควบคุมกระบวนการตกตะกอนให้สามารถเดินเครื่องโดยมีการใช้พลังงานน้อยที่สุด

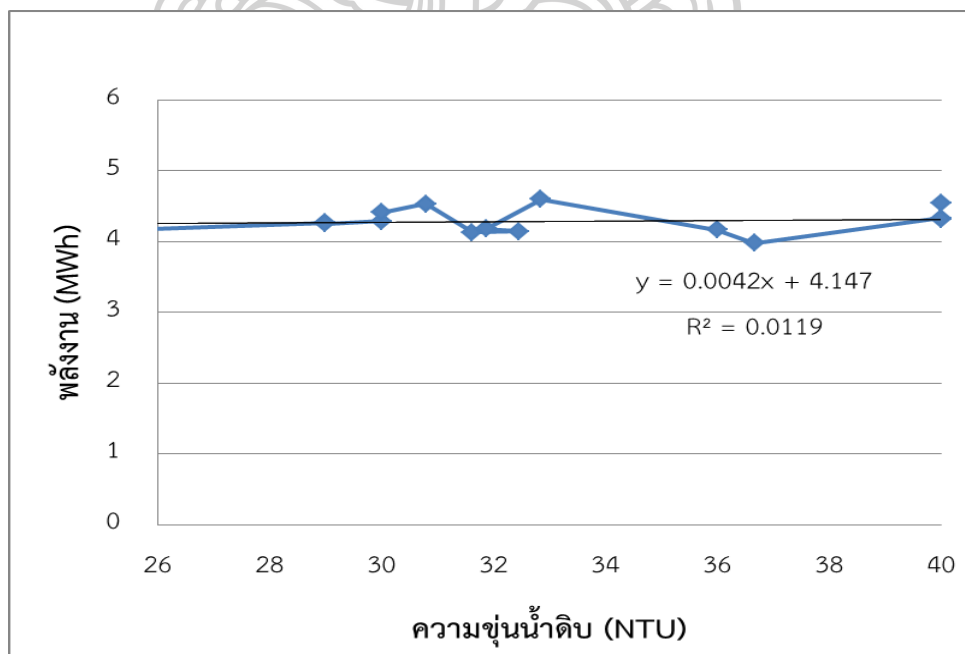
4.1 ผลของความขุ่นน้ำดิบและอัตราการผลิตต่อการใช้พลังงาน



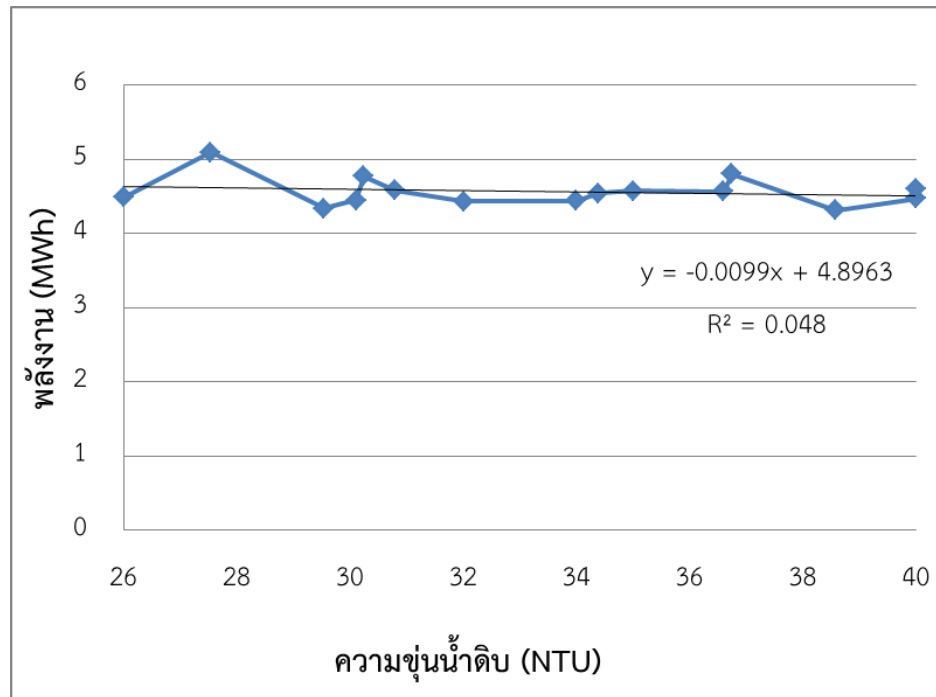
รูปที่ 4. 1 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 3.76-4.05 m³/sec
กรณี ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน



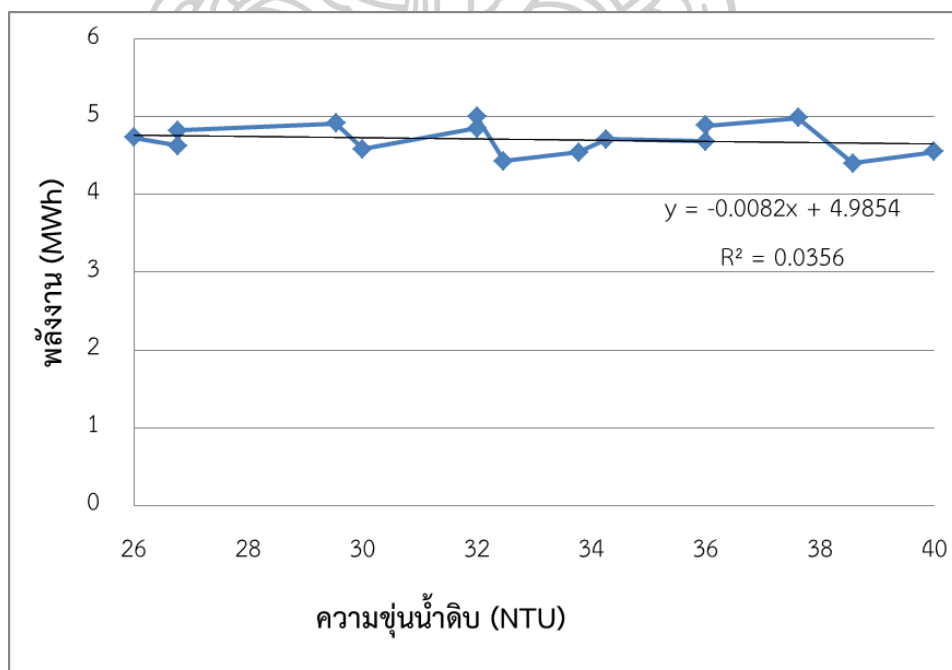
รูปที่ 4. 2 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.05-4.34 m³/sec
กรณี ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน



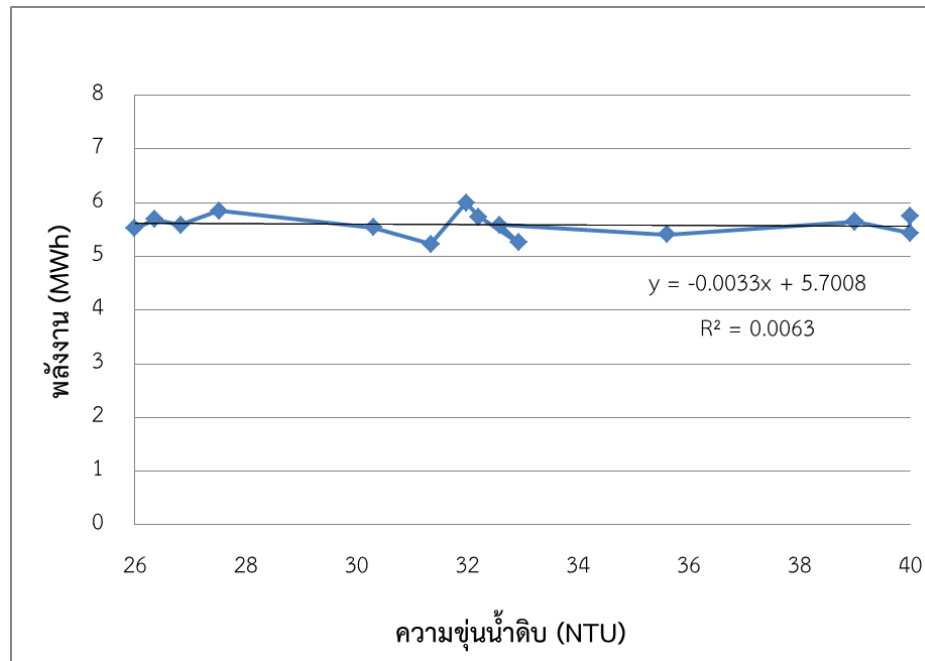
รูปที่ 4. 3 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.34-4.63 m³/sec
กรณี ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน



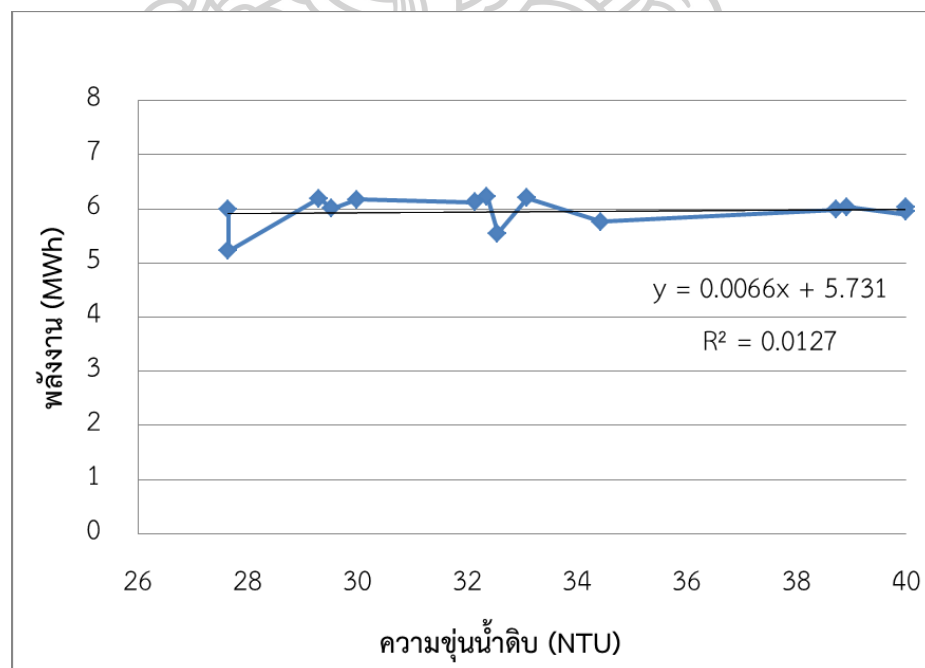
รูปที่ 4. 4 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.63-4.92 m³/sec
กรณี ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน



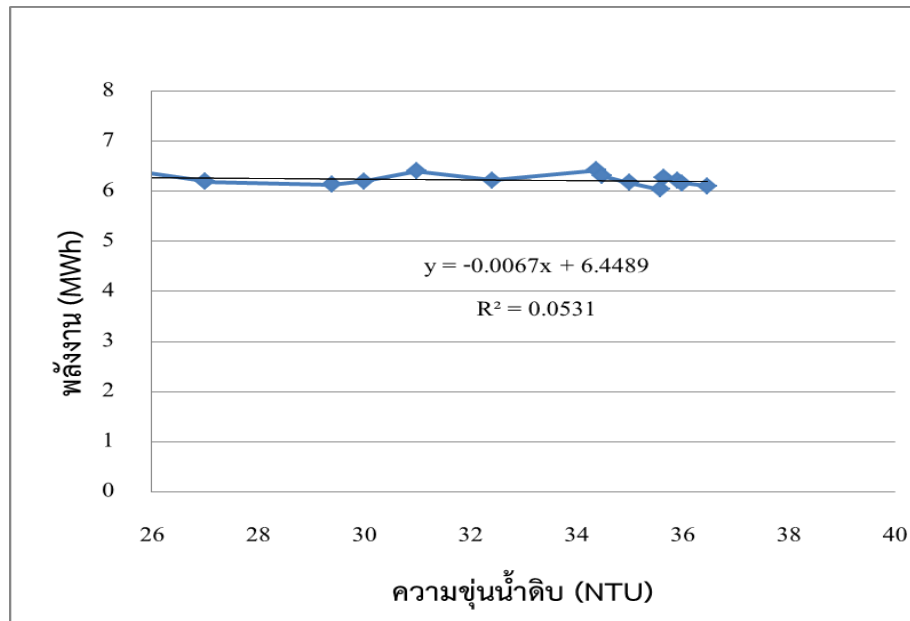
รูปที่ 4. 5 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.92-5.20 m³/sec
กรณี ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน



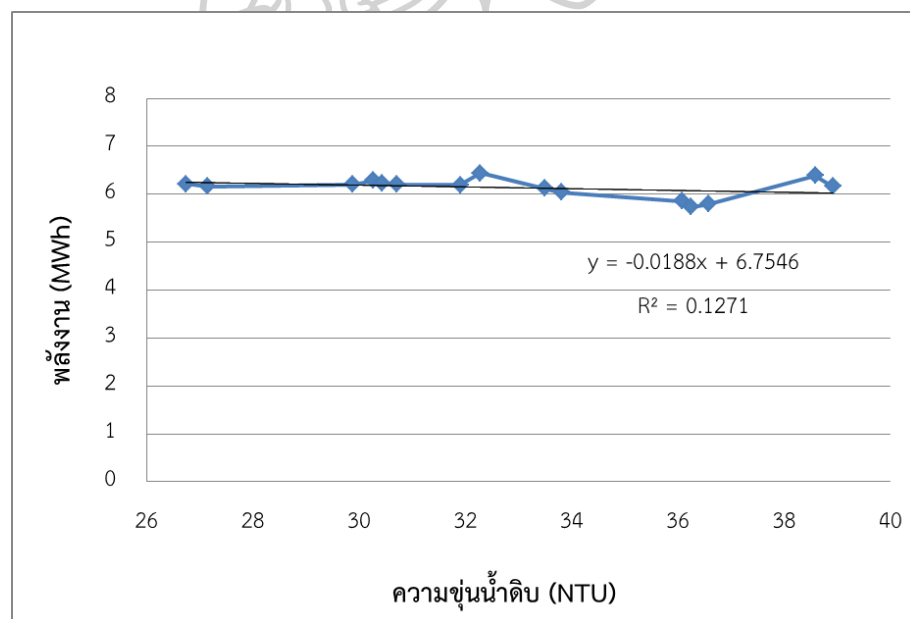
รูปที่ 4. 6 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 3.76-4.05 m³/sec กรณี ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน



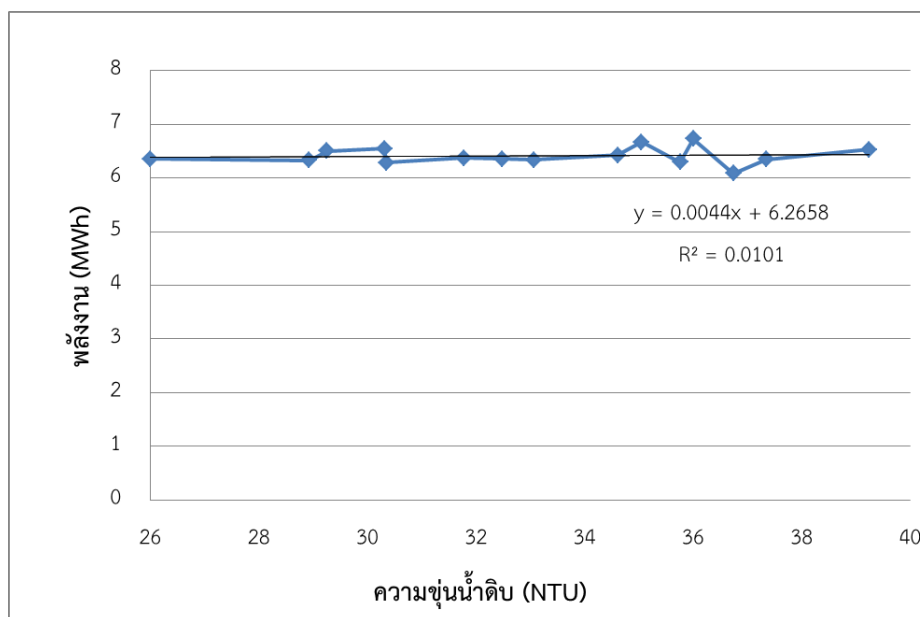
รูปที่ 4. 7 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.05-4.34 m³/sec กรณี ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน



รูปที่ 4. 8 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.34-4.63 m³/sec กรณี ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน



รูปที่ 4. 9 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.63-4.92 m³/sec กรณี ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน



รูปที่ 4. 10 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อการใช้พลังงาน อัตราการผลิต 4.92-5.20 m³/sec
กรณี ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

จากรูปที่ 4.1 – 4.5 จะพบว่ากรณีถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ที่อัตราการผลิต 3.76-4.05, 4.05-4.34, 4.34-4.63, 4.63-4.92 และ 4.92-5.20 m³/sec ตามลำดับ จะพบว่า เมื่อความขุ่นน้ำดิบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่พลังงานที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนกลับมีค่าไม่เพิ่มขึ้นในทุก ๆ ช่วงอัตราการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (ข้อมูลผลการทดลองแสดงใน ภาคผนวก ข) จะพบว่า ค่า R² ของสมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในกระบวนการตกตะกอนและอัตราการผลิต นั้นมีค่าน้อยกว่า 0.1 ในทุก ๆ ช่วงอัตราการผลิต แสดงให้เห็นว่า ความขุ่นน้ำดิบไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอน

ส่วนกรณีถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน ที่อัตราการผลิตเช่นเดียวกับถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนจะพบว่า เมื่อความขุ่นน้ำดิบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่พลังงานที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน มีค่าคงที่ ในทุก ๆ ช่วงอัตราการผลิตเช่นเดียวกันถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 – 4.10 และเมื่อนำมาสรุปในรูปแบบของสมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในกระบวนการตกตะกอนและอัตราการผลิตดังแสดงในตารางที่ 4.2 (ข้อมูลผลการทดลองแสดงใน ภาคผนวก ข) จะพบว่า ค่า R² นั้นมีค่าน้อยกว่า 0.15 ในทุก ๆ ช่วงอัตราการผลิต แสดงให้เห็นว่า ความขุ่นน้ำดิบไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอน

ตารางที่ 4. 1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างพลังงานในระบบการตกตะกอนและความขุ่นน้ำดิบ สำหรับถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	สมการเส้นตรง	R ²
1	3.76 - 4.05	-0.0074T + 4.4087	0.0523
2	4.05 - 4.34	-0.0064T + 4.5804	0.0202
3	4.34 - 4.63	0.0042T + 4.147	0.0119
4	4.63 - 4.92	-0.0099T + 4.8963	0.048
5	4.92 - 5.20	-0.0082T + 4.9854	0.0356

เมื่อ T คือ ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)

ตารางที่ 4. 2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างพลังงานในระบบการตกตะกอนและความขุ่นน้ำดิบ สำหรับถังตกตะกอนชนิดชั้นหมุนเวียนตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	สมการเส้นตรง	R ²
1	3.76 - 4.05	-0.0033T + 5.7008	0.0063
2	4.05 - 4.34	0.0066T + 5.731	0.0127
3	4.34 - 4.63	-0.0067T + 6.4489	0.0531
4	4.63 - 4.92	-0.0188T + 6.7546	0.1271
5	4.92 - 5.20	0.0044T + 6.2658	0.0101

เมื่อ T คือ ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)

ตารางที่ 4. 3 ผลการทดสอบความชุ่มน้ำดิบและอัตราการผลิตต่อการใช้พลังงานโดยการใช้ ANOVA
กรณีถึงตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

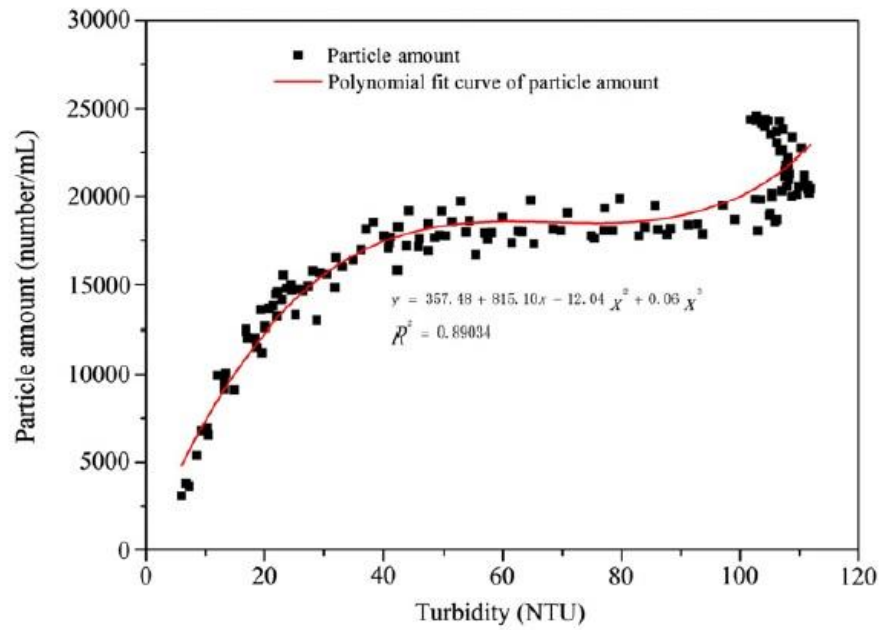
Source of Variation	P-value
ความชุ่มน้ำดิบ	0.993
อัตราการผลิต	0.000
Interaction	1.000

ตารางที่ 4. 4 ผลการทดสอบความชุ่มน้ำดิบและอัตราการผลิตต่อการใช้พลังงานโดยการใช้ ANOVA
กรณีถึงตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

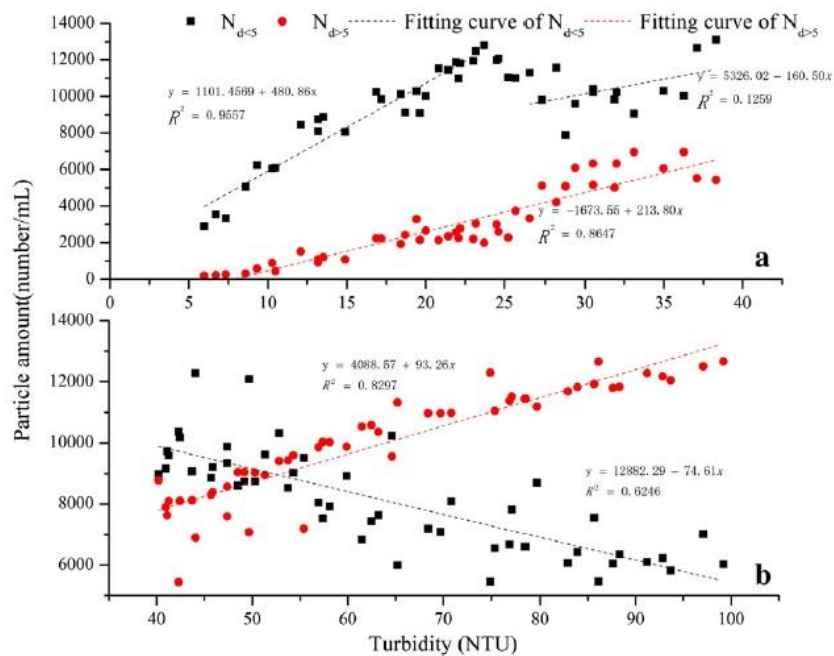
Source of Variation	P-value
ความชุ่มน้ำดิบ	0.731
อัตราการผลิต	0.000
Interaction	0.931

ทำการทดสอบสมมติฐานผลของความชุ่มน้ำดิบและอัตราการผลิตต่อการใช้พลังงาน โดยการใช้ Two-way ANOVA แบ่งเป็น 2 กรณีคือ ถึงตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและถึงตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์จากค่า P-value ที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน ถ้า $P\text{-value} > 0.05$ แสดงว่าตัวแปรต้นไม่ส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้า $P\text{-value} \leq 0.05$ แสดงว่าตัวแปรต้นส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ

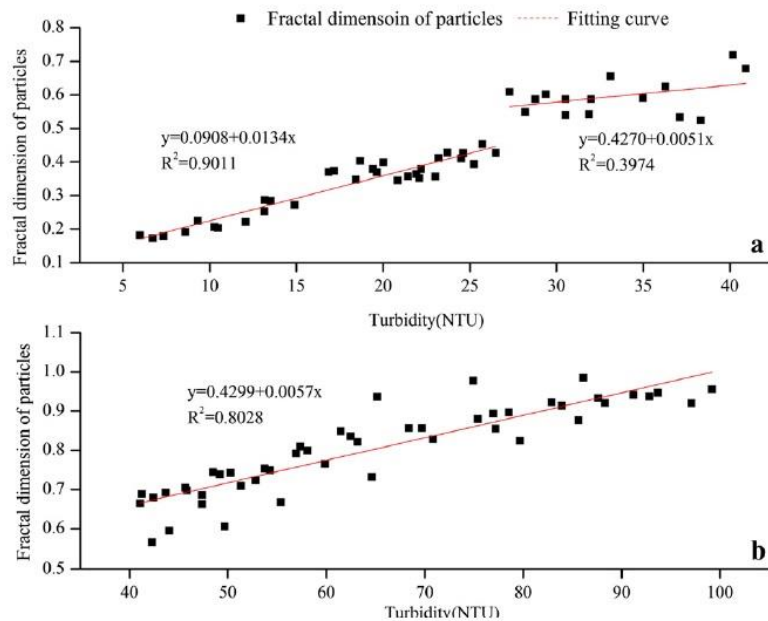
จะพบว่า ความชุ่มน้ำดิบไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงานทั้งในถึงตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} > 0.05$ และอัตราการผลิตส่งผลต่อการใช้พลังงานทั้งในถึงตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและหมุนเวียนตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} \leq 0.05$ และความชุ่มน้ำดิบและอัตราการผลิตไม่มีผลต่อกันและกันอย่างมีนัยสำคัญ สังเกตได้จากค่า P-value ของ Interaction มีค่ามากกว่า 0.05



รูปที่ 4. 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนอนุภาคของตะกอนในน้ำดิบ (number/ml) กับความขุ่นน้ำดิบ (NTU)[17]



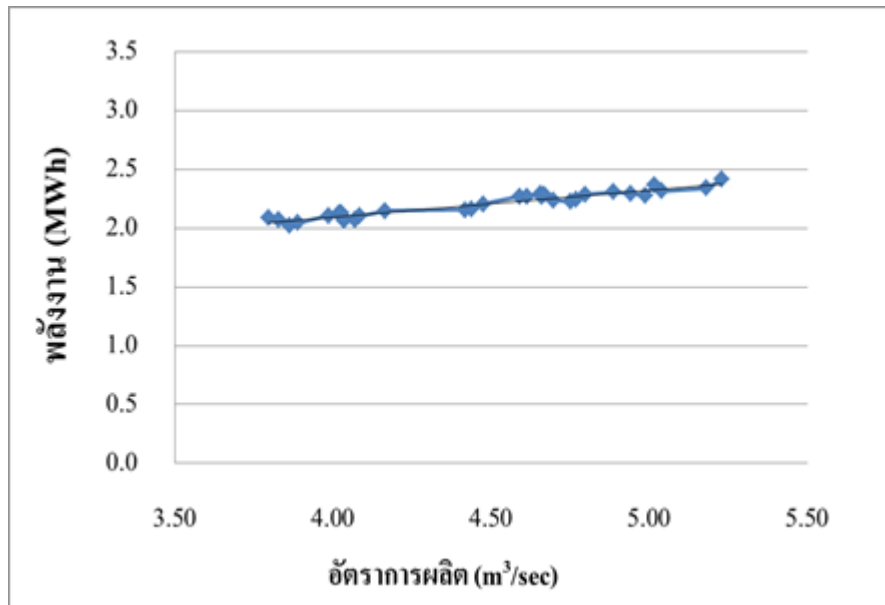
รูปที่ 4. 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนอนุภาคของตะกอนขนาดใหญ่กว่า 5 μm และเล็กกว่า 5 μm ในน้ำดิบ (number/ml) กับความขุ่นน้ำดิบ (NTU) [17]



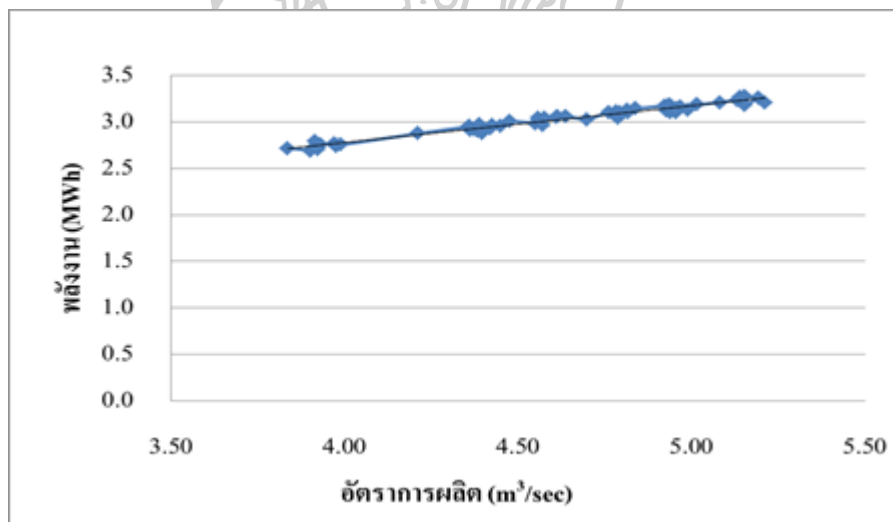
รูปที่ 4. 13 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคตะกอนในน้ำดิบเฉลี่ยกับความขุ่นน้ำดิบ(NTU)[17]

จะเห็นได้ว่า ความขุ่นของน้ำดิบในช่วง 26-40 NTU ไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอน โดยความขุ่นของน้ำดิบนั้นจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและขนาดอนุภาคตะกอนที่ปะปนมากับน้ำดิบ ดังแสดงในรูป 4.11 พบว่าความขุ่นน้ำดิบในช่วง 0-40 NTU จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนอนุภาคของตะกอน และตะกอนในน้ำดิบจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ ขนาดตะกอนที่เล็กกว่า 5 ไมครอน และขนาดตะกอนที่ใหญ่กว่า 5 ไมครอนดังแสดงในรูปที่ 4.12 จะพบว่าในช่วงความขุ่น 0-25 NTU ความขุ่นน้ำดิบจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากจำนวนอนุภาคของตะกอนขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอนที่เพิ่มขึ้น และที่ความขุ่นน้ำดิบ 41-100 NTU ความขุ่นน้ำดิบจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนอนุภาคของตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอนที่เพิ่มขึ้น แต่ในช่วง 26-40 NTU ซึ่งเป็นช่วงที่ทำการศึกษาเปรียบได้กับช่วง Transition ที่ตะกอนขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และตะกอนขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน มีจำนวนปะปนกันไปโดยมีจำนวนใกล้เคียงกัน[17] จึงทำให้น้ำดิบในช่วงความขุ่น 26-40 NTU มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของถังตกตะกอนทั้ง 2 ชนิด

จากตารางที่ 4.4 ทำให้ทราบแล้วว่าอัตราการผลิตส่งผลต่อการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญทั้งในถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน จึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตและการใช้พลังงานว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การใช้พลังงานเป็นแกนตั้ง และ อัตราการผลิตเป็นแกนนอน ในช่วงอัตราการผลิต 3.76-5.20 m³/sec และความขุ่นน้ำดิบ 26-40 NTU



รูปที่ 4. 14 พลังงานในถังตกตะกอนชนิดขั้นตะกอน



รูปที่ 4. 15 พลังงานในถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 แสดงการใช้พลังงานในช่วงอัตราการผลิต 3.76 – 5.20 m³/sec ของถังตกตะกอนชนิดขั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน ตามลำดับ (ข้อมูลบันทึกผลการทดลอง แสดงในภาคผนวก ค) โดยอัตราการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานสูงขึ้นในทิศทางแบบเชิงเส้น ทั้งในถังตกตะกอนชนิดขั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน

เนื่องจากถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนมีปริมาตรส่วนที่ทำให้เกิดการคลุกเคล้าระหว่างน้ำดิบกับสารส้ม นั่นคือ Vacuum chamber (สำหรับถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน) น้อยกว่า ของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน คือ ถังผสม ซึ่งสอดคล้องกับสมการ (2.6) $P = \mu V G^2$ กำลังในการกวน จะขึ้นอยู่กับ ปริมาตรของถังตกตะกอน และปริมาตรของถังตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับผลของอัตราการผลิตและระยะเวลาการตกตะกอน ดังความสัมพันธ์ $V = Qt$

จากการใช้วิธีการทางสถิติทำให้ทราบว่า พลังงานที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน มีความสัมพันธ์กับอัตราการผลิตแบบเชิงเส้น ทั้งในถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน โดยการรวบรวมข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์โดยใช้ Regression ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เมื่อนำข้อมูลตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของถังตกตะกอน มาผ่านกระบวนการทางสถิติ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

กรณีถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

$$E_a = 1.157151 + 0.233364v_a \quad (4.1)$$

$$\text{โดยที่ค่า } R^2 = 0.92$$

กรณีถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

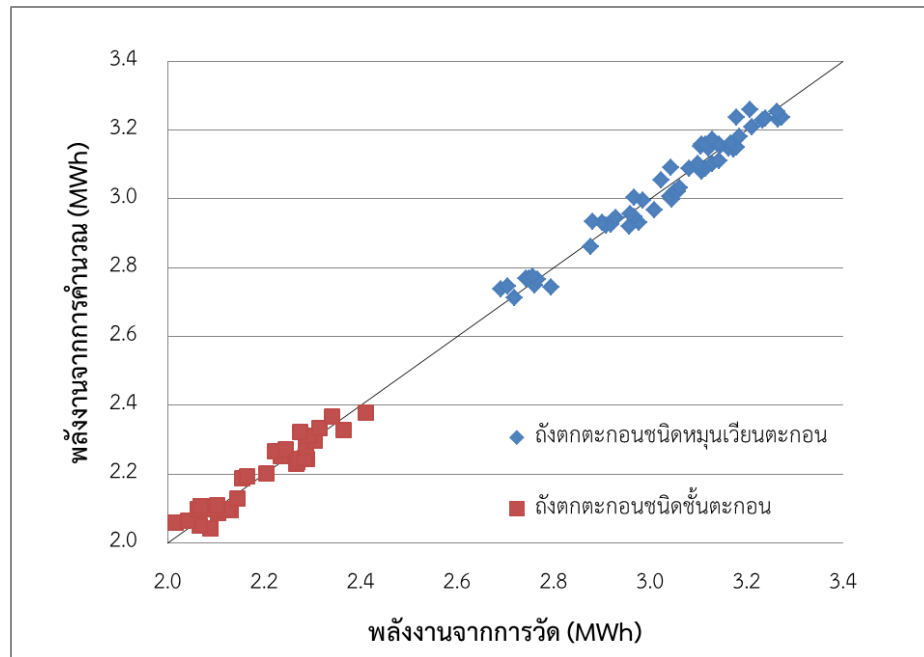
$$E_b = 1.185506 + 0.397939v_b \quad (4.2)$$

$$\text{โดยที่ค่า } R^2 = 0.96$$

เมื่อ E_a, E_b คือ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน และหมุนเวียนตะกอน ตามลำดับ (MWh)

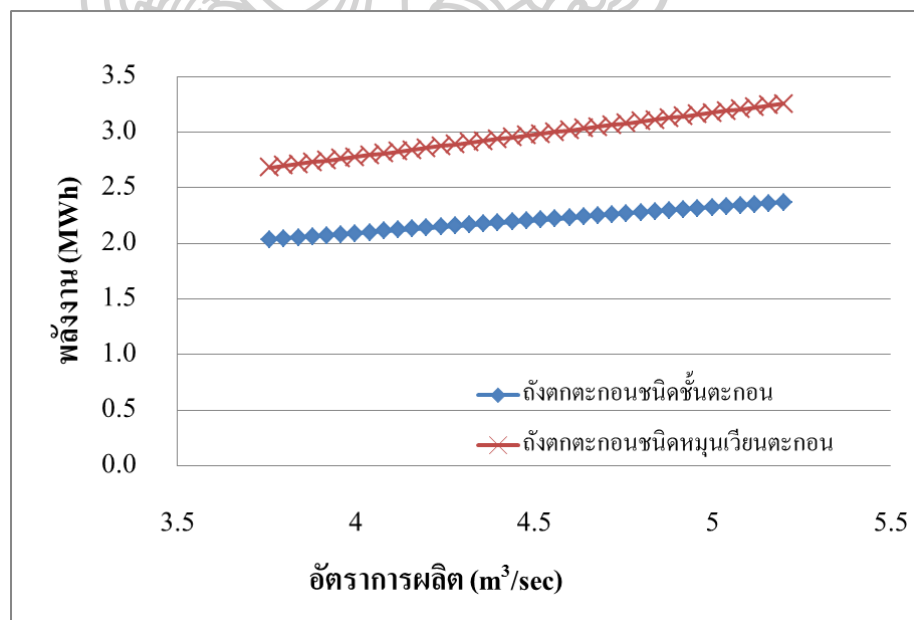
v_a, v_b คือ อัตราการผลิตในถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและหมุนเวียนตะกอน ตามลำดับ (m^3/sec)

จากสมการ (4.1) และ (4.2) จะเห็นว่ามีค่า R^2 มากกว่า 0.9 บ่งชี้ได้ว่าสมการที่นั้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ มาก สามารถกล่าวได้ว่า อัตราการผลิตส่งผลต่อการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ และนำค่าพลังงานที่ได้จากสมการ (4.1) และ (4.2) มาเปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่ได้จากการตรวจวัดจริง ดังรูปที่ 4.16 จะพบว่าสมการ (4.1) และ (4.2) ที่ได้จากการทำ Simple Linear Regression นั้นมีค่าผิดพลาดไม่เกิน 2% ทั้งในถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน



รูปที่ 4. 16 เปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากการคำนวณกับพลังงานที่ได้จากการตรวจวัดจริง

4.2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของถังตกตะกอนชนิดขั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน



รูปที่ 4. 17 เปรียบเทียบพลังงานในถังตกตะกอนชนิดขั้นตะกอนและหมุนเวียนตะกอน

ตารางที่ 4. 5 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและหมุนเวียนตะกอน

อัตราการผลิต (m ³ /sec.)	พลังงาน (MWh)		% ต่างต่าง
	ถังตกตะกอนชนิดชั้น ตะกอน	ถังตกตะกอนชนิด หมุนเวียนตะกอน	
3.76	2.03	2.68	31.81
3.84	2.05	2.71	32.16
3.92	2.07	2.75	32.51
4.00	2.09	2.78	32.84
4.08	2.11	2.81	33.18
4.16	2.13	2.84	33.51
4.24	2.15	2.87	33.83
4.32	2.17	2.90	34.14
4.40	2.18	2.94	34.46
4.48	2.20	2.97	34.76
4.56	2.22	3.00	35.06
4.64	2.24	3.03	35.36
4.72	2.26	3.06	35.65
4.80	2.28	3.10	35.93
4.88	2.30	3.13	36.21
4.96	2.31	3.16	36.49
5.04	2.33	3.19	36.76
5.12	2.35	3.22	37.03
5.20	2.37	3.25	37.30

จากสมการที่ (4.1) และ (4.2) สามารถนำมาใช้ประมาณค่าปริมาณพลังงานที่ใช้กระบวนการตกตะกอนของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.17 จะพบว่าถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนจะใช้พลังงานน้อยกว่าถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนในทุก ๆ อัตราการผลิตประมาณ 31-37% เนื่องจากถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนมีขนาดปริมาตรของส่วนผสม เล็กกว่าของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน จึงทำให้มีการใช้พลังงานที่น้อยกว่าสอดคล้องกับสมการที่ (2.6)

4.3 พัฒนาสมการสำหรับประมาณค่าปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน

จะเห็นได้ว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในกระบวนการตกตะกอน คือ อัตราการผลิต และ ชนิดของถังตกตะกอน จากสมการ (4.1) และ (4.2) ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและอัตราการผลิตของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน ตามลำดับ

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ แบ่งกำลังการผลิตออกเป็น 4 เฟส โดยเฟส 1 และ 2 จะใช้ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ส่วนเฟส 3 และ 4 จะใช้ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน ดังรูปที่ 4.1 พลังงานรวมในกระบวนการตกตะกอนจะเป็น ฟังก์ชันของอัตราการผลิตของแต่ละเฟส โดยที่แต่ละเฟสนั้นจะมีการใช้พลังงานขึ้นอยู่กับ อัตราการผลิตและชนิดของถังตกตะกอนในแต่ละเฟส สามารถเขียนเป็นสมการได้คือ พลังงานรวมในกระบวนการตกตะกอนจะเท่ากับผลรวมของพลังงานในกระบวนการตกตะกอนในเฟส 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

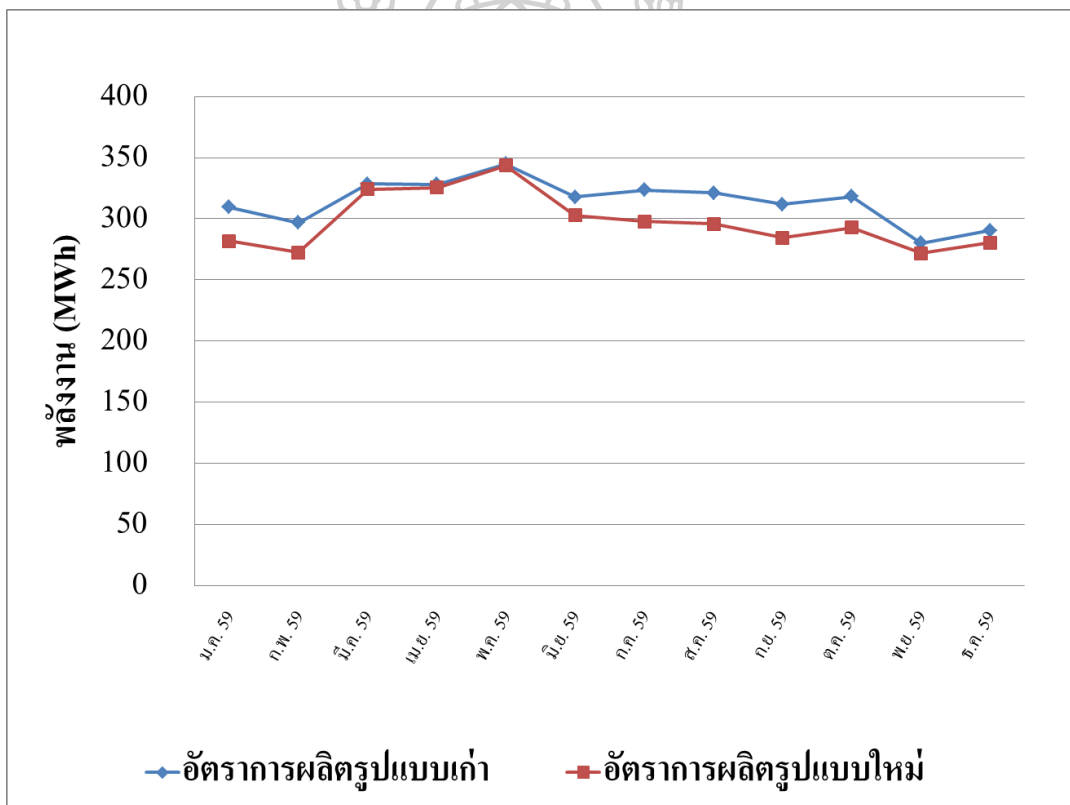
$$\begin{aligned}
 E &= \text{พลังงานในกระบวนการตกตะกอนของเฟส 1} \\
 &+ \text{พลังงานในกระบวนการตกตะกอนของเฟส 2} \\
 &+ \text{พลังงานในกระบวนการตกตะกอนของเฟส 3} \\
 &+ \text{พลังงานในกระบวนการตกตะกอนของเฟส 4} \\
 E &= (1.157151 + 0.233364v_1)U_1 + (1.157151 + 0.233364v_2)U_2 \\
 &+ (1.185506 + 0.397939v_3)U_3 + (1.185506 + 0.397939v_4)U_4 \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

$$e = \frac{Ex1000}{(V_1 + V_2 + V_3 + V_4)} \quad (4.4)$$

$$\text{โดยที่ } v_1+v_2+v_3+v_4 = \text{ปริมาณความต้องการน้ำใน 1 วัน (m}^3\text{/sec)} \quad (4.5)$$

เมื่อ	E	คือ	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน (MWh)
	e	คือ	พลังงานจำเพาะ (kWh/m ³)
	V ₁ ,V ₂ ,V ₃ ,V ₄	คือ	อัตราการผลิตของเฟส 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ (m ³ /sec)
	V ₁ ,V ₂ ,V ₃ ,V ₄	คือ	ปริมาณน้ำดิบของเฟส 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ (m ³)
	U ₁ ,U ₂ ,U ₃ ,U ₄	คือ	ตัวบ่งชี้การใช้งานของการผลิตเฟส 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ
			U = 1 ; กรณีมีการผลิต
			U = 0 ; กรณีหยุดผลิต

4.4 มาตรการประหยัดพลังงาน



รูปที่ 4. 18 เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้เมื่อปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตระหว่างเดือนมกราคม 2559 ถึง ธันวาคม 2559

มาตรการจัดการพลังงานของถึงตกตะกอนให้สอดคล้องกับความต้องการการผลิต

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ แบ่งการผลิตออกเป็น 4 เฟส โดยเฟส 1 และ 2 ใช้ถึงตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและ เฟส 3 และ 4 ใช้ถึงตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน ในการผลิตน้ำประปา โดยการใช้กระบวนการตกตะกอนสามารถนำสมการ (4.3) และ (4.5) ไปปรับเปลี่ยนอัตราการผลิตในแต่ละเฟส ให้ใช้พลังงานรวมในกระบวนการตกตะกอนได้ต่ำที่สุด (คู่มือการปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตดังแสดงในภาคผนวก ก) โดยให้เฟส 1 และ 2 ซึ่งใช้ถึงตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าถึงตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน โดยจะเดินเครื่องในอัตราการผลิตที่สูงเป็น Base load ที่อัตราการผลิต 5.0-5.2 m³/sec ส่วนเฟส 3-4 จะรับความต้องการน้ำที่มีความผันแปร โดยกรณีอัตราการผลิตรวมทั้ง 4 เฟสไม่เกิน 18.4 m³/sec จะหยุดเดินเครื่องของถึงตกตะกอนเฟส 4 ลง 1 เครื่องเพื่อลดการใช้พลังงาน จะพบว่าการปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตดังรูปที่ 4.18 จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้

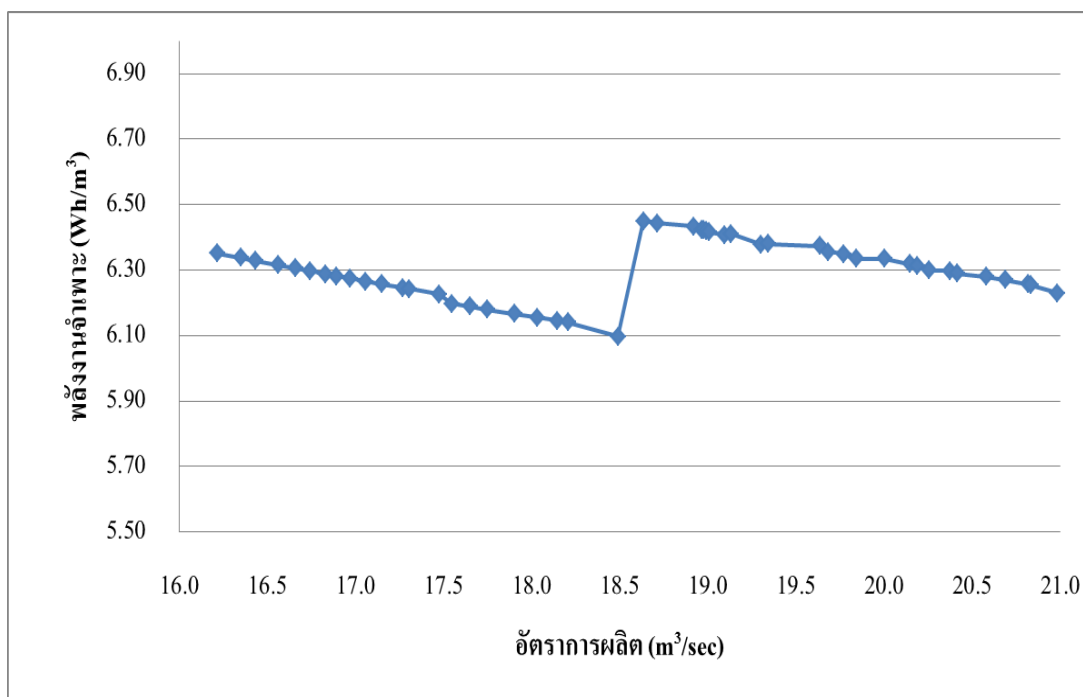
ในเดือนมกราคม 2559 ถึง ธันวาคม 2559 โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์มีความต้องการปริมาณน้ำดิบ 43-55 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน นำสมการ (4.3) และ (4.5) มาใช้ในการปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตจะสามารถลดการใช้พลังงานรวมในกระบวนการตกตะกอนลงจาก 3,770.59 MWh คงเหลือ 3,573.14 MWh คิดเป็นพลังงานที่ลดลง 197.45 MWh คิดเป็นสัดส่วนพลังงานที่ประหยัดได้ 5.24% ดังแสดงในตารางที่ 4.6 (รายละเอียดการปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิต แสดงในภาคผนวก ง)

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์มีการคิดค่าพลังงานไฟฟ้า แบบ Time of Uses (TOU) ในปี 2559 มีโดยคิดค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3.47 บาทต่อหน่วย ผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากผลคูณของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้กับค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย

$$\begin{aligned} \text{ผลประหยัดค่าใช้จ่าย} &= 197,454 \times 3.47 \\ &= 685,165 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

ตารางที่ 4. 6 ผลประหยัดจากการปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตระหว่างเดือน
มกราคม 2559 ถึง ธันวาคม 2559

เดือน	ปริมาณน้ำดิบ (ล้าน ลบ.ม.)	พลังงานที่ใช้ (MWh)			% พลังงาน ที่ลดลง
		อัตราการผลิต รูปแบบเก่า	อัตราการผลิต รูปแบบใหม่	ผลประหยัด	
ม.ค. 59	44.58	309.53	281.55	27.97	9.04
ก.พ. 59	43.82	296.76	272.39	24.37	8.21
มี.ค. 59	50.31	328.42	324.14	4.29	1.30
เม.ย. 59	51.30	328.24	325.60	2.64	0.81
พ.ค. 59	54.54	344.94	343.33	1.61	0.47
มิ.ย. 59	48.06	317.78	302.89	14.89	4.69
ก.ค. 59	48.65	323.36	297.85	25.51	7.89
ส.ค. 59	48.02	321.06	295.79	25.26	7.87
ก.ย. 59	46.69	311.79	284.54	27.26	8.74
ต.ค. 59	47.56	318.25	292.86	25.39	7.98
พ.ย. 59	43.06	280.08	271.72	8.35	2.98
ธ.ค. 59	44.38	290.38	280.47	9.90	3.41
รวม	570.97	3770.59	3573.14	197.45	5.24

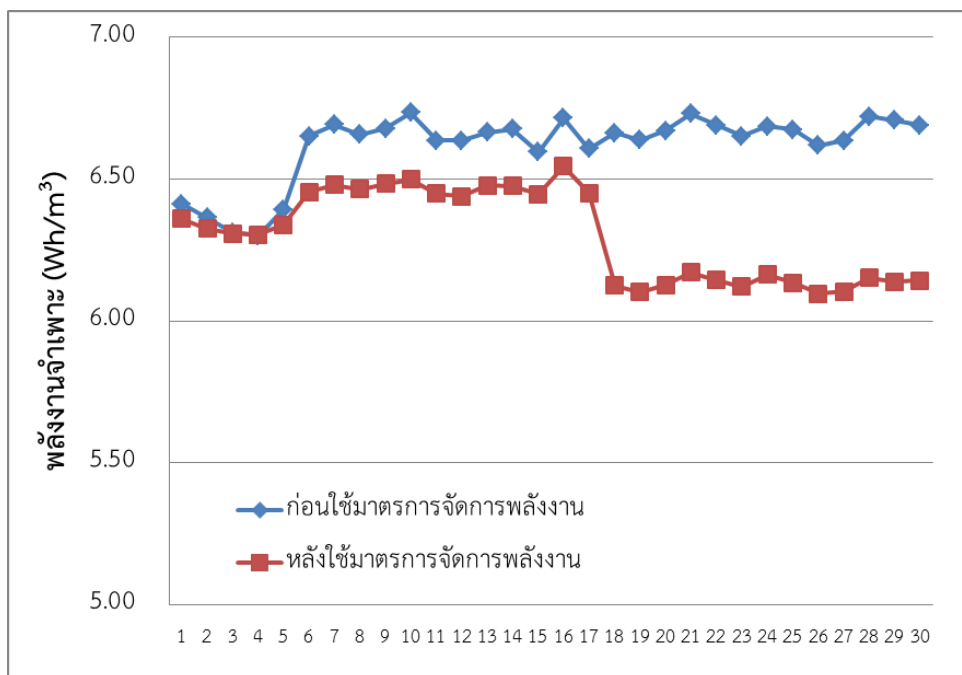


รูปที่ 4. 19 พลังงานและพลังงานจำเพาะของกระบวนการตกตะกอน

จากรูปที่ 4.19 ทำการเปรียบเทียบพลังงานและพลังงานจำเพาะที่อัตราการผลิต 16.2-20.8 m³/sec. (ข้อมูลพลังงานและพลังงานจำเพาะ แสดงในภาคผนวก จ) โดยวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจำเพาะและอัตราการผลิตจะพบว่าเมื่ออัตราการผลิตเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้มีการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่ที่อัตราการผลิต 18.4 m³/sec พลังงานจะเพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดดเนื่องจากในช่วงอัตราการผลิตน้อยกว่า 18.4 m³/sec จะสามารถหยุดถึงตกตะกอนลง 1 เครื่องเพื่อประหยัดพลังงาน แต่ถ้าอัตราการผลิตสูงกว่า 18.4 m³/sec จะต้องเดินถึงตกตะกอนครบทุกเครื่อง ทำให้มีการใช้พลังงานที่สูงขึ้น จะพบว่า อัตราการผลิตที่ประหยัดพลังงานมากที่สุดคือ 17.2 - 18.4 m³/sec โดยมีค่าพลังงานจำเพาะ 6.096-6.226 Wh/m³

จากรูปที่ 4.20 ได้เปรียบเทียบพลังงานจำเพาะก่อนและหลังจากใช้มาตรการจัดการพลังงานของถังตกตะกอนให้สอดคล้องกับความต้องการการผลิต ในเดือนมิถุนายน 2559 จะพบว่า ในช่วงวันที่ 1-5 มิถุนายน เป็นช่วงอัตราการผลิตสูง ที่มีอัตราการผลิตมากกว่า 20 m³/sec ซึ่งเป็นอัตราการผลิตที่เป็นอัตราการผลิตสูงสุด ทำให้ในช่วงนี้ไม่สามารถที่ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตให้เกิดผลประหยัดพลังงานได้ ส่วนในช่วงวันที่ 6-17 มิถุนายน เป็นช่วงอัตราการผลิตสูงเช่นกัน แต่มีอัตราการผลิตที่น้อยกว่า ช่วงวันที่ 1-5 มิถุนายน ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตให้เกิดผลประหยัดได้ และในช่วงวันที่ 18-30 มิถุนายน เป็นช่วงอัตราการผลิตกลาง ซึ่งสามารถหยุดถึง

ตกตะกอนลงได้ 1 เครื่องทำให้สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตและลดการใช้พลังงานลงได้ สรุปรวมแล้วในเดือนมิถุนายน 2559 หลังจากใช้มาตรการจัดการพลังงานแล้ว สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 4.69% พลังงานจำเพาะลดลงจาก 6.61 Wh/m^3 เหลือ 6.30 Wh/m^3



รูปที่ 4. 20 พลังงานจำเพาะก่อน-หลังใช้มาตรการจัดการพลังงานเดือนมิถุนายน 2559

ดังนั้นในการผลิตน้ำประปาจึงควรมีการวางแผนการผลิตให้มีอัตราการผลิตอยู่ในช่วงที่ประหยัดพลังงานมากที่สุด คือการผลิตน้ำประปาในช่วงอัตราการผลิตไม่เกิน $18.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ หากความต้องการน้ำมีความผันผวนในทิศทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่มากนัก สามารถที่จะใช้ถังเก็บใสเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือในการสำรองน้ำเพื่อรักษาอัตราการผลิตที่ใช้พลังงานต่ำที่สุดได้ [7] เพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของกระบวนการตกตะกอนได้

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

กระบวนการตกตะกอนเป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ในกระบวนการผลิตน้ำประปา ซึ่งกระบวนการนี้จะต้องปรับตั้งให้สามารถรองรับต่อค่าความขุ่นในทุก ๆ ช่วงค่า และควบคุมความขุ่นที่ออกจากกระบวนการให้ได้ตามมาตรฐาน โดยถังตกตะกอนจะเป็นเครื่องจักรหลักสำหรับกระบวนการนี้ จากการทดลองจะสามารถสรุปได้ว่า

5.1.1 ความขุ่นของน้ำดิบที่เข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ในช่วงความขุ่น 26-40 NTU ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของกระบวนการตกตะกอนทั้งในถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน เนื่องจากในช่วงความขุ่น 26-40 NTU พบว่ามีปริมาณการกระจายของตะกอนของตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอนและตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอนมีสัดส่วนที่ไม่แตกต่างกัน[17] จึงทำให้น้ำดิบในช่วงความขุ่น 26-40 NTU มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของถังตกตะกอนทั้ง 2 ชนิด

5.1.2 อัตราการผลิตส่งผลกระทบต่อพลังงานจำเพาะ อย่างมีนัยสำคัญ โดยอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับสมการ $P = \mu VG^2$ และมีความสัมพันธ์ดังสมการกรณีถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

$$E_a = 1.157151 + 0.233364v_a \quad \text{โดยที่ค่า } R^2 = 0.92$$

กรณีถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

$$E_b = 1.185506 + 0.397939v_b \quad \text{โดยที่ค่า } R^2 = 0.96$$

5.1.3 ถังตะกอนชนิดชั้นตะกอนจะใช้พลังงานในการเดินเครื่องน้อยกว่าถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนเนื่องจากปริมาตรในส่วนของถังผสมของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนมีขนาดถังตกตะกอนที่เล็กกว่าจึงใช้พลังงานน้อยกว่าจึงทำให้ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนประหยัดพลังงานกว่าถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนประมาณ 31-37% เนื่องถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนมีปริมาตรของถังผสมเล็กกว่าถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน สอดคล้องกับความสัมพันธ์ดังสมการ $P = \mu VG^2$

5.1.4 สามารถนำข้อมูลที่ได้อไปสร้างสมการประมาณค่าปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนดังสมการ

$$E = (1.157151 + 0.233364v_1)U_1 + (1.157151 + 0.233364v_2)U_2 \\ + (1.185506 + 0.397939v_3)U_3 + (1.185506 + 0.397939v_4)U_4$$

5.1.4.1 นำสมการไปกำหนดเป็น “มาตรการจัดการพลังงานในถังตกตะกอนให้สอดคล้องกับความต้องการการผลิต”

5.1.4.2 สามารถนำไปปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตและลดการใช้พลังงานได้ 5.24 % คิดเป็นมูลค่าพลังงานไฟฟ้า 197.45 MWh คิดเป็นเงิน 685,165 บาทต่อปี

5.1.5 อัตราการผลิตที่ประหยัดพลังงานมากที่สุด คือ อัตราการผลิตในช่วง 17.2-18.4 m³/sec ดังนั้นในการผลิตน้ำประปาจึงควรมีการวางแผนการผลิตให้มีอัตราการผลิตอยู่ในช่วงที่ประหยัดพลังงานมากที่สุด เพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตในแต่ละเฟส ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วน ของกระบวนการก่อนและหลังกระบวนการตกตะกอนด้วย เนื่องจากปรับเปลี่ยนอัตราการผลิตในแต่ละ เฟส อาจทำให้กระบวนการก่อนหรือหลังมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น เพื่อให้มาตรการประหยัดพลังงานที่ ออกมาสามารถลดการใช้พลังงานได้ตลอดทั้งกระบวนการผลิตน้ำประปา จึงควรทำการศึกษาให้ตลอด ทั้งกระบวนการ

5.2.2 ควรมีการจัดทำโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับมาตรการการปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตในแต่ละเฟสเพื่อการประหยัดพลังงาน เพื่อให้มีความสะดวกในการใช้มาตรการประหยัดมากขึ้น

5.2.3 ในการการศึกษาเปรียบเทียบถึงตกตะกอน ควรศึกษาผลกระทบค่าใช้จ่ายรวมทั้งด้าน พลังงานไฟฟ้า ด้านการใช้สารเคมี และด้านเศรษฐศาสตร์ของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิด หมุนเวียนด้วย โดยในกรณีของโรงงานมหาสวัสดิ์ จะพบว่าถังตกตะกอนทั้ง 2 ชนิดจะมีค่าใช้จ่ายรวมที่ ใกล้เคียงกัน (รายละเอียดแสดงใน ภาคผนวก ฉ)

5.2.4 ในการสร้างสมการการใช้พลังงาน ควรมีการเพิ่มเติมค่าพลังงานในส่วน ของสาธารณูปโภคเข้าไปในสมการด้วยเช่น ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้ พลังงานไฟฟ้าด้วยเช่นกัน โดยจัดให้เป็นค่าคงที่ในสมการ เนื่องจากเป็นพลังงานที่เป็นค่าพลังงานคงที่ โดยไม่ขึ้นกับอัตราการผลิต เพื่อให้สมการการใช้พลังงานมีความถูกต้องและครอบคลุมการใช้พลังงาน รวมทั้งหมด

รายการอ้างอิง

1. American Water Works Association(AWWA) and American Society of Civil Engineers(ASCE), *Water treatment plant design*, ed. t. edition. 2005, New York: McGRAW-Hill.
2. กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. รายงานสถิติประชากรและบ้าน ประจำปี พ.ศ. 2558. 2559 [cited 2559 1 สิงหาคม]; Available from: http://stat.dopa.go.th/stat/statnew/upstat_age_disp.php.
3. การประปานครหลวง, รายงานประจำปี 2558. 2559.
4. โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ การประปานครหลวง, รายงานประจำเดือน มกราคม - ธันวาคม 2558. 2559.
5. ชนกนันท์ สุขกำเนิด, et al., การอนุรักษ์พลังงานของปั๊มน้ำดิบ โรงไฟฟ้าน้ำพองโดยการใช้ระบบปรับความเร็วรอบ, in การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงาน 2551.
6. ทิวาภรณ์ มีระระ, การศึกษาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตน้ำประปา กรณีศึกษา การประปาส่วนภูมิภาคสาขาชลบุรี, in สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี. 2556, มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
7. ศราภรณ์ อัยภูษ, การจัดการพลังงานในโรงงานผลิตน้ำบางเขน, in สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ. 2545, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
8. ศุทธิวัตต์ ปฎิภาณวัฒน์, การจัดทำแผนที่สัญญาณเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตน้ำประปา โรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง, in สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2554, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
9. ศุภลักษณ์ รักขางค์, การวิเคราะห์การใช้พลังงานในสถานีสูบน้ำประปา, in สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ. 2546, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
10. DeBenedicts, A., et al., *Operational energy-efficiency improvement of municipal water pumping in California*. Energy, 2013. **53**: p. 237-243.
11. Bertone, E., et al., *Hybrid water treatment cost prediction model for raw water intake optimization*. Environmental Modelling & Software 2016. **75**: p. 230-242.
12. Bohorquez, J., J. Saldarriaga, and D. Vallejo. *Pumping pattern optimization in order to reduce WDS operation*. in *Procedia Engineering* 2015.
13. Plappally, A.K. and J.H. Lienhard, *Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal*. Renewable and Sustainable

- Energy Reviews 2012. **16**: p. 4818-4848.
14. Scarpa, F., A. Lobba, and G. Becciu, *Expedient pump rescheduling in multisource water distribution network*, in *Procedia engineering* 2015. p. 1078-1087.
 15. Vadasarukkai, Y.S. and G.A. Gagnon, *Application of low-mixing energy input for the coagulation process*. *Water Research* 2015. **84**: p. 333-341.
 16. Mo, W., H. Wang, and J.M. Jacobs, *Understanding the influence of climate change on the embodied energy of water supply*. *Water Research*, 2016. **95**: p. 220-229.
 17. Yao, M., J. Nan, and T. Chen, *Effect of particle size distribution on turbidity under various water quality levels during flocculation process*. *Desalination*, 2014. **354**: p. 116-124.
 18. Dorea, C.C., *Coagulant-based emergency water treatment*. *Desalination*, 2009. **248**: p. 83-90.
 19. World Health Organization, *Guidelines for drinking-water quality*, ed. t. edition. 2011, Geneva: WHO publication.
 20. ทวีศักดิ์ วังไพศาล, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ed. 2. 2557, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
 21. วัชร มิ่งวิฑิตกุล, กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม. 2554, กรุงเทพฯ: เรียวล ยูทาวเวอร์.
 22. Daffer, R.A.J., *Conserving energy in water system*. *AWWA*, 1984. **76**(12): p. 34-37.
 23. Khezri, S.M., E. Dadvar, and H.H. Shekarabi, *A study of the suction height effect on removal efficiency of water in pulsator*. *Global Journal of Researches in Engineering* 12, 2012. **12**(2): p. 6-12.
 24. Degremont, G., *Water Treatment Handbook*, ed. t. edition. Vol. 2. 1991, Paris: Lavoisier Publishing.
 25. Droste, R.L., *Theory and practice of water and wastewater treatment*. 1997, Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
 26. Al-Dawery, S.M., R.M. Hussian, and K.M. Shibebe, *Performance of Pulsator Clarifier(Low Turbidity)*. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 2007. **8**(1): p. 9-17.

27. ชัยวัฒน์ ชมสุวรรณ, การปรับปรุงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา, in สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2552, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
28. สุรัตน์ อินทร์โต, ผลของอัตราพัลเซชัน อัตราน้ำล้นผิว และระยะยกของน้ำในห้องสุญญากาศต่อประสิทธิภาพการลดความขุ่นของถังตกตะกอนแบบพัลเซชันแคโรไฟเออร์, in สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์. 2548, มหาวิทยาลัยมหิดล.
29. ลัดดา ธรรมการณีย์, ผลของใบพัดต่อการกำจัดความขุ่นด้วยถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน, in สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2536, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
30. วิจารณ์ สันติธรรม, การกำจัดความขุ่นโดยถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน, in สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2537, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.





ภาคผนวก

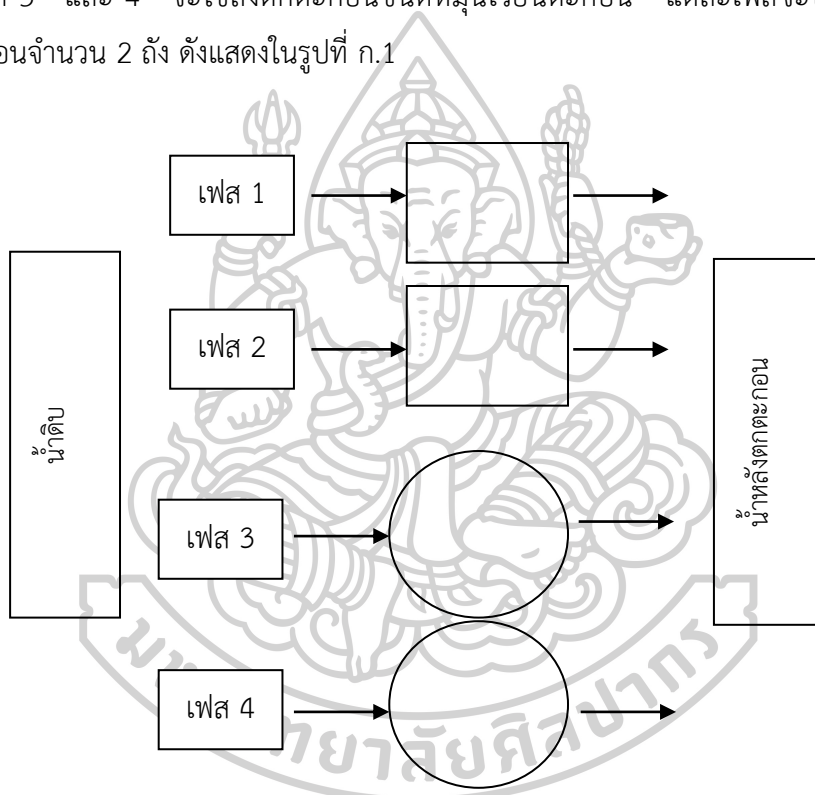


ภาคผนวก ก

มาตรการจัดการพลังงานของถังตกตะกอนให้สอดคล้องกับความต้องการการผลิต

มาตรการการจัดการพลังงานของถังตกตะกอนให้สอดคล้องกับความต้องการการผลิต

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ มีอัตราการผลิต 40-54 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน ซึ่งความต้องการน้ำดิบมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศ ดังแสดงในรูป 3.3 และแบ่งเป็นการผลิตวันละ 1.4-1.8 ล้านลูกบาศก์เมตรหรืออัตราการผลิตสูงสุด 20.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความต้องการน้ำประปาของประชาชนในพื้นที่ ดังแสดงในรูป 3.4 และในส่วนของกำลังการผลิตยังแบ่งออกเป็น 4 เฟส การใช้พลังงานของกระบวนการตกตะกอนจะเกิดจากปริมาณพลังงานที่ใช้ของการผลิตทั้ง 4 เฟสรวมกัน โดยในเฟส 1 และ 2 จะใช้ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ส่วนเฟส 3 และ 4 จะใช้ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน แต่ละเฟสจะประกอบได้ด้วยถังตกตะกอนจำนวน 2 ถัง ดังแสดงในรูปที่ ก.1



รูปที่ ก. 1 แผนผังเฟสการผลิตของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

- ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ○ ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

พนักงานควบคุมการผลิตจะทำการปรับรูปแบบอัตราการผลิตแต่ละเฟส แตกต่างกันไป ซึ่งทางพนักงานควบคุมการผลิตจะปรับอัตราการผลิต โดยเน้นที่ความสะดวกและรวดเร็วในการทำงาน ซึ่งมีได้คำนึงถึงเรื่องมาตรการด้านพลังงาน จึงทำให้รูปแบบอัตราการผลิตมีความหลากหลาย แตกต่างกันไป

สมการประมาณค่าพลังงานในกระบวนการตกตะกอน

$$E = (1.157151 + 0.233364v_1)U_1 + (1.157151 + 0.233364v_2)U_2 \\ + (1.185506 + 0.397939v_3)U_3 + (1.185506 + 0.397939v_4)U_4$$

โดยที่	$v_1+v_2+v_3+v_4$	=	ปริมาณความต้องการน้ำใน 1 วัน
เมื่อ	E	คือ	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน (MWh)
	e	คือ	พลังงานจำเพาะ (kWh/m^3)
	v_1, v_2, v_3, v_4	คือ	อัตราการผลิตของเฟส 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ (m^3/sec)
	U_1, U_2, U_3, U_4	คือ	ตัวบ่งชี้การใช้งานของการผลิตเฟส 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ
			U = 1 ; กรณีมีการผลิต
			U = 0 ; กรณีหยุดผลิต

วิธีการปรับอัตราการผลิต

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์แบ่งเป็น 4 เฟสการผลิตมีอัตราการผลิตสูงสุดในแต่ละเฟส 5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที กระบวนการตกตะกอนโดยใช้ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนจะประหยัดพลังงานกว่าการใช้ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน 31-37% ดังนั้นหากทำใช้เดินเครื่องถึงตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนซึ่งคือเฟส 1 และ 2 เป็น ความต้องการหลัก (Base load) ที่อัตราการผลิตสูง 5.0-5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และใช้ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนคือเฟส 3 และ 4 เดินเครื่องรองรับอัตราการผลิตที่เป็น ความต้องการแบบผันแปร (Variable load) มีขั้นตอนดังนี้

1. รับประมาณการปริมาณความต้องการน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)
2. เปลี่ยนปริมาณความต้องการน้ำเป็นอัตราการผลิต (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
3. พิจารณาอัตราการผลิตแบ่งออกเป็น 3 กรณี
 - 3.1 อัตราการผลิตต่ำ : อัตราการผลิตน้อยกว่า 15.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

เฟส 1 และ 2	เดินเครื่องให้อัตราการผลิต 5.0-5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
เฟส 3	เดินเครื่องให้อัตราการผลิต 3.6-5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
เฟส 4	หยุดผลิต
 - 3.2 อัตราการผลิตกลาง : อัตราการผลิตมากกว่า 15.6 แต่ไม่เกิน 18.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

เฟส 1 และ 2	เดินเครื่องให้อัตราการผลิต 5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
-------------	------------------------------------------------------

เฟส 3 เดินเครื่องให้อัตราการผลิต 3.6-5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

เฟส 4 เดินเครื่องให้อัตราการผลิต 2.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
(หยุดถึงตกตะกอน 1 เครื่อง)

3.3 อัตราการผลิตสูง : อัตราการผลิตมากกว่า 18.4 แต่ไม่เกิน

20.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

เฟส 1 และ 2 เดินเครื่องให้อัตราการผลิต 5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

เฟส 3 เดินเครื่องให้อัตราการผลิต 3.6-5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

เฟส 4 เดินเครื่องให้อัตราการผลิต 3.6-5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

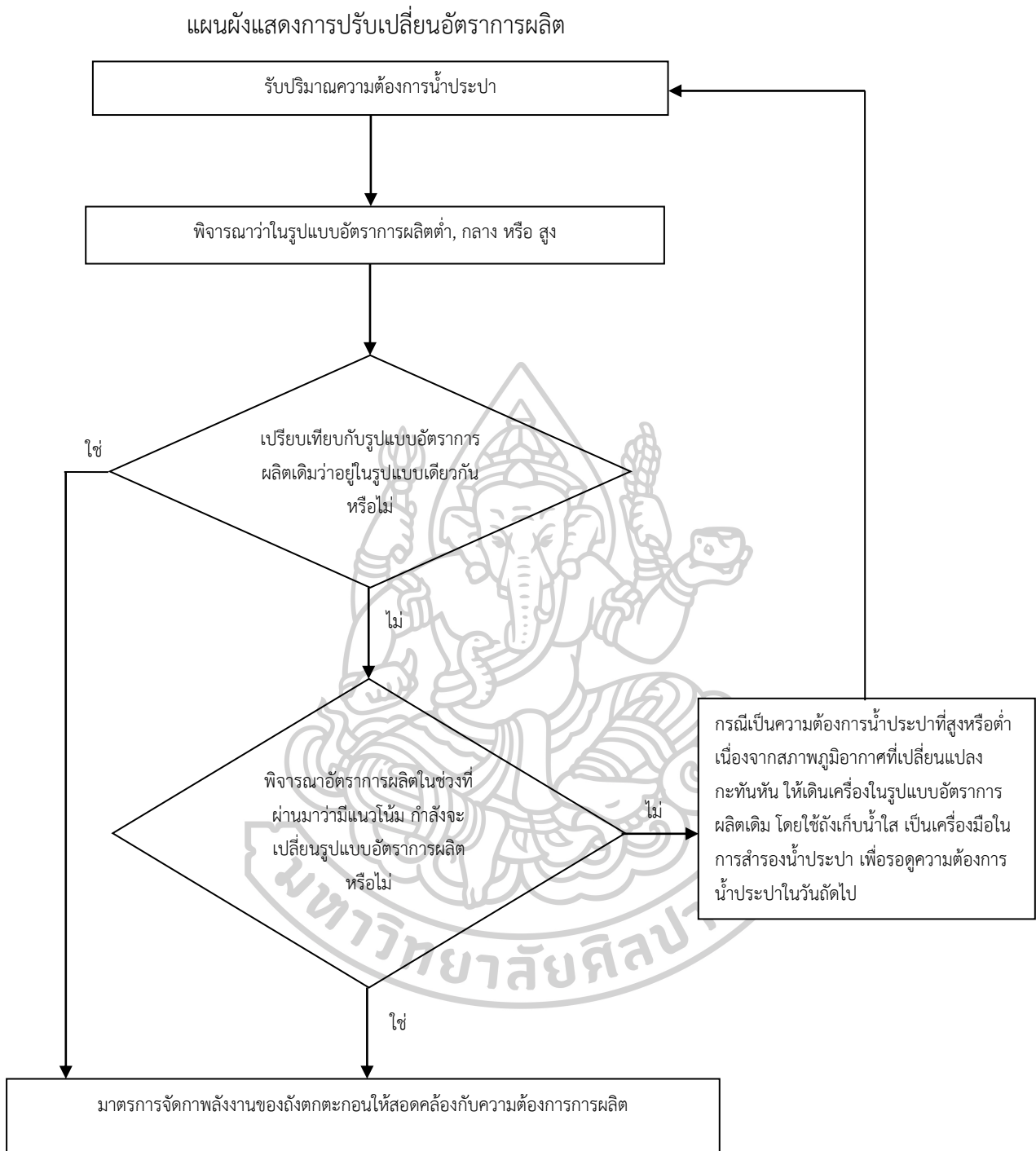
4. รูปแบบการปรับอัตราการผลิต ดังแสดงในตารางที่ ก1

ตารางที่ ก. 1 รูปแบบอัตราการผลิต

	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
อัตราการผลิตต่ำ	5.0-5.2	5.0-5.2	3.6-5.2	หยุดผลิต
อัตราการผลิตกลาง	5.2	5.2	3.6-5.2	2.8 (หยุดถึงตกตะกอน 1 เครื่อง)
อัตราการผลิตสูง	5.2	5.2	3.6-5.2	3.6-5.2

หมายเหตุ : ในการเดินเครื่องควรเลือกพิจารณาเดินเครื่องในกรณีใดกรณีหนึ่งให้มีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง (การเริ่มเดินถึงตกตะกอนใหม่ จะใช้เวลาเริ่มเดินเครื่องประมาณ 2-3 วัน ถึงสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี)

: กรณีปริมาณความต้องการน้ำมีการเพิ่มหรือลดในช่วงเวลาสั้นๆ อาจส่งผลให้อาจต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตจากกรณีหนึ่งไปอีกกรณีซึ่งจะส่งผลให้ต้องมีการเดินถึงตกตะกอนเพิ่มหรือหยุดถึงตกตะกอนได้ ให้พิจารณาปรับอัตราการผลิตโดยใช้ถังเก็บน้ำใสเป็นเครื่องมือในการสำรองน้ำประปาเพื่อให้อัตราการผลิตน้ำประปาในอัตราการผลิตเดิมได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเดินเครื่องหรือหยุดถึงตกตะกอนบ่อยครั้ง



ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิต

ในเดือนมิถุนายน 2559 มีปริมาณความต้องการน้ำ 17.6 – 20.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งตรงกับกรณีที่ 2 และ 3 โดยวันที่ 1-17 มิถุนายน 2559 จะเป็นอัตราการผลิตสูง ส่วนวันที่ 18-30 มิถุนายน 2559 จะเป็นอัตราการผลิตกลาง

ตารางที่ ก. 2 การปรับเปลี่ยนอัตราการผลิตในเดือน มิถุนายน 2559

วันที่	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	19.66	4.88	4.95	4.61	5.23	5.18	5.18	4.80	4.50
2	20.01	4.99	5.00	4.79	5.24	5.21	5.21	4.80	4.80
3	20.11	5.23	5.24	4.42	5.22	5.25	5.25	4.80	4.80
4	20.23	5.24	5.23	4.50	5.26	5.21	5.21	4.80	5.00
5	19.88	4.88	4.93	4.92	5.16	5.19	5.19	4.80	4.70
6	18.61	4.21	4.27	5.18	4.95	5.20	5.20	4.20	4.00
7	18.38	4.17	4.17	5.18	4.86	5.19	5.19	4.00	4.00
8	18.56	4.24	4.25	5.23	4.86	5.18	5.18	4.20	4.00
9	18.42	4.21	4.22	5.18	4.81	5.16	5.16	4.10	4.00
10	18.19	4.06	4.07	5.20	4.86	5.20	5.20	3.80	4.00
11	18.69	4.28	4.28	5.19	4.94	5.19	5.19	4.30	4.00
12	18.73	4.25	4.25	5.26	4.97	5.22	5.22	4.30	4.00
13	18.49	4.23	4.25	5.14	4.87	5.15	5.15	4.30	3.90
14	18.40	4.24	4.23	5.04	4.89	5.20	5.20	4.30	3.70
15	18.70	4.51	4.44	4.83	4.92	5.20	5.20	4.30	4.00
16	17.83	4.40	4.33	4.66	4.44	5.15	5.15	3.76	3.76
17	18.63	4.43	4.46	4.80	4.94	5.21	5.21	4.20	4.00
18	18.14	4.43	4.44	4.35	4.92	5.20	5.20	4.94	2.80
19	18.41	4.40	4.42	4.63	4.97	5.20	5.20	5.21	2.80
20	18.11	4.41	4.42	4.43	4.85	5.20	5.20	4.91	2.80
21	17.60	4.40	4.43	4.44	4.33	5.20	5.20	4.40	2.80
22	17.91	4.43	4.44	4.68	4.36	5.20	5.20	4.71	2.80
23	18.18	4.47	4.48	4.66	4.68	5.20	5.20	4.98	2.80
24	17.70	4.56	4.57	4.14	4.43	5.20	5.20	4.50	2.80
25	18.03	4.45	4.44	4.44	4.70	5.20	5.20	4.83	2.80
26	18.49	4.47	4.46	4.81	4.75	5.20	5.20	5.29	2.80
27	18.40	4.43	4.42	4.80	4.76	5.20	5.20	5.20	2.80
28	17.82	4.34	4.34	4.50	4.64	5.20	5.20	4.62	2.80
29	17.97	4.31	4.33	4.77	4.57	5.20	5.20	4.77	2.80
30	17.93	4.43	4.42	4.65	4.43	5.20	5.20	4.73	2.80
พลังงานที่ใช้ (MWh)		65.98	66.02	92.64	93.14	71.10	71.10	90.03	70.66
พลังงานรวม (MWh)		317.78				302.89			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		14.89							
ลดการใช้พลังงาน (%)		4.69							

ในช่วงวันที่ 1 - 17 มิถุนายน 2559 จะทำการผลิตในอัตราการผลิตสูง โดยจะให้เฟส 1 และ 2 เดินเครื่องที่อัตราการผลิต 5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีเป็น Base load และให้เฟส 3 และ 4 เดินเครื่องเพื่อรองรับ Variable load ในช่วง 3.76 – 5.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ในช่วงวันที่ 18 – 30 มิถุนายน 2559 จะทำการผลิตในอัตราการผลิตกลาง โดยจะให้เฟส 1 และ 2 เดินเครื่องที่อัตราการผลิต 5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีเป็น Base load ส่วนเฟส 3 เดินเครื่องเพื่อรองรับ Variable load ในช่วง 4.4 – 5.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่วนเฟส 4 จะหยุดถึงตกตะกอนลง 1 เครื่องและเดินเครื่องที่อัตราการผลิต 2.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังแสดงในตารางที่ ก.2 จะพบว่าจะสามารถประหยัดพลังงานลงได้ 14.89 MW h คิดเป็นสัดส่วนพลังงานที่ลดลง 4.69 %





ตารางที่ ข. 1 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 3.76-4.05 m³/sec
กรณีถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	4.03	29	4.25	6.11
2	4.04	29	4.01	5.75
3	4.02	30	4.24	6.10
4	4.02	30	4.26	6.13
5	4.04	30	4.43	6.34
6	3.93	31	4.02	5.93
7	3.87	32	4.24	6.34
8	3.86	32	4.03	6.04
9	4.02	34	4.02	5.78
10	3.83	35	4.13	6.25
11	3.99	36	4.21	6.11
12	3.80	37	4.18	6.37
13	4.04	38	4.18	5.99
14	3.89	39	4.08	6.08
15	4.04	40	4.13	5.92

ตารางที่ ข. 2 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.05-4.24 m³/sec
กรณีถึงตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	4.07	28	4.14	5.88
2	4.16	28	4.21	5.86
3	4.34	29	4.71	6.28
4	4.17	30	4.29	5.96
5	4.11	30	4.43	6.24
6	4.25	33	4.41	6.00
7	4.24	34	4.68	6.39
8	4.19	34	4.46	6.15
9	4.17	34	4.36	6.05
10	4.16	35	4.16	5.78
11	4.25	36	4.51	6.15
12	4.06	36	4.41	6.30
13	4.09	39	4.20	5.96
14	4.07	39	4.10	5.83
15	4.08	40	4.39	6.24

ตารางที่ ข. 3 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.24-4.63 m³/sec
กรณีถึงตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	4.51	26	4.17	5.36
2	4.44	29	4.27	5.56
3	4.49	29	4.25	5.49
4	4.51	30	4.29	5.50
5	4.48	30	4.41	5.70
6	4.59	31	4.54	5.71
7	4.44	32	4.13	5.38
8	4.44	32	4.15	5.41
9	4.46	32	4.18	5.42
10	4.57	33	4.59	5.82
11	4.41	36	4.17	5.47
12	4.36	37	3.98	5.28
13	4.44	40	4.33	5.64
14	4.62	40	4.54	5.69
15	4.42	40	4.31	5.64

ตารางที่ ข. 4 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.63-4.92 m³/sec
กรณีถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (kWh/m ³)
1	4.77	26	4.49	0.00544
2	4.92	28	5.10	0.00600
3	4.80	30	4.34	0.00523
4	4.88	30	4.45	0.00528
5	4.84	30	4.77	0.00571
6	4.66	31	4.58	0.00569
7	4.86	32	4.43	0.00528
8	4.75	34	4.45	0.00541
9	4.66	34	4.54	0.00564
10	4.80	35	4.57	0.00552
11	4.67	37	4.57	0.00567
12	4.88	37	4.80	0.00569
13	4.77	39	4.31	0.00523
14	4.70	40	4.47	0.00551
15	4.89	40	4.61	0.00546

ตารางที่ ข. 5 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.92-5.20 m³/sec
กรณีถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	5.02	26	4.73	5.46
2	5.04	27	4.63	5.32
3	5.20	27	4.82	5.33
4	4.94	30	4.59	5.37
5	5.04	30	4.91	5.65
6	5.03	32	4.85	5.58
7	5.04	32	4.43	5.09
8	5.04	32	5.00	5.74
9	5.10	34	4.55	5.16
10	4.93	34	4.71	5.54
11	5.18	36	4.68	5.23
12	5.07	36	4.89	5.58
13	4.93	38	4.98	5.86
14	5.01	39	4.40	5.08
15	4.99	40	4.55	5.28

ตารางที่ ข. 6 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 3.76-4.05 m³/sec
กรณีถึงตักตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	3.93	26	5.52	8.13
2	3.93	26	5.69	8.38
3	3.91	27	5.59	8.26
4	4.00	28	5.85	8.47
5	3.97	30	5.54	8.07
6	3.83	31	5.23	7.90
7	4.02	32	6.00	8.64
8	3.95	32	5.74	8.41
9	3.84	33	5.26	7.92
10	3.77	33	5.58	8.58
11	3.92	36	5.41	7.98
12	3.94	39	5.65	8.30
13	4.04	39	5.65	8.09
14	3.84	40	5.44	8.21
15	3.91	40	5.75	8.52

ตารางที่ ข. 7 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.05-4.24 m³/sec
กรณีถึงตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	4.09	28	6.00	8.48
2	4.22	28	5.22	7.16
3	4.33	29	6.19	8.28
4	4.16	30	6.01	8.36
5	4.33	30	6.17	8.24
6	4.24	32	6.12	8.35
7	4.34	32	6.23	8.31
8	4.18	33	5.55	7.67
9	4.28	33	6.20	8.38
10	4.21	34	5.76	7.91
11	4.33	39	5.98	8.00
12	4.29	39	6.03	8.13
13	4.07	40	5.86	8.33
14	4.34	40	6.03	8.05
15	4.26	40	5.95	8.07

ตารางที่ ข. 8 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.24-4.63 m³/sec
กรณีถึงตักตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	4.50	26	6.38	8.19
2	4.43	27	6.20	8.09
3	4.49	27	6.20	7.99
4	4.54	29	6.14	7.83
5	4.40	30	6.21	8.16
6	4.59	31	6.40	8.07
7	4.45	32	6.22	8.09
8	4.63	34	6.42	8.04
9	4.54	34	6.31	8.05
10	4.46	35	6.17	8.01
11	4.40	36	6.04	7.94
12	4.52	36	6.28	8.03
13	4.40	36	6.22	8.18
14	4.37	36	6.17	8.18
15	4.37	36	6.10	8.09

ตารางที่ ข. 9 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.63-4.92 m³/sec
กรณีถึงตักตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	4.76	27	6.21	7.55
2	4.65	27	6.16	7.67
3	4.82	30	6.20	7.45
4	4.84	30	6.29	7.52
5	4.78	30	6.23	7.54
6	4.79	31	6.21	7.49
7	4.68	32	6.20	7.65
8	4.82	32	6.44	7.73
9	4.64	33	6.12	7.64
10	4.78	34	6.04	7.31
11	4.66	36	5.86	7.28
12	4.69	36	5.74	7.08
13	4.70	37	5.80	7.15
14	4.79	39	6.39	7.71
15	4.78	39	6.16	7.45

ตารางที่ ข. 10 ผลของความขุ่นน้ำดิบต่อพลังงานที่ใช้ ที่อัตราการผลิต 4.92-5.20 m³/sec
กรณีถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	4.94	26	6.36	7.45
2	4.93	29	6.33	7.43
3	5.02	29	6.50	7.49
4	5.16	30	6.55	7.35
5	4.96	30	6.29	7.34
6	5.02	32	6.37	7.35
7	4.93	32	6.36	7.46
8	4.97	33	6.34	7.38
9	5.08	35	6.42	7.31
10	5.13	35	6.67	7.52
11	4.95	36	6.29	7.36
12	5.08	36	6.73	7.66
13	4.79	37	6.09	7.36
14	4.92	37	6.35	7.46
15	5.14	39	6.53	7.35



ตารางที่ ค. 1 พลังงานและพลังงานจำเพาะ ในช่วงอัตราการผลิต 3.76-5.20 m³/sec
กรณีถึงตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	3.80	2.09	6.37
2	3.83	2.07	6.25
3	3.86	2.02	6.04
4	3.89	2.04	6.08
5	3.99	2.10	6.11
6	4.02	2.12	6.10
7	4.02	2.13	6.13
8	4.03	2.12	6.11
9	4.04	2.06	5.92
10	4.04	2.09	5.99
11	4.07	2.07	5.88
12	4.07	2.07	5.88
13	4.09	2.10	5.96
14	4.17	2.15	5.96
15	4.42	2.15	5.64
16	4.44	2.16	5.64
17	4.48	2.21	5.70
18	4.59	2.27	5.71
19	4.62	2.27	5.69
20	4.66	2.29	5.69

ตารางที่ ค. 2 พลังงานและพลังงานจำเพาะ ในช่วงอัตราการผลิต 3.76-5.20 m³/sec
กรณีถึงตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน(ต่อ)

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
21	4.66	2.27	5.64
22	4.67	2.29	5.67
23	4.70	2.24	5.51
24	4.75	2.22	5.41
25	4.77	2.24	5.44
26	4.80	2.29	5.52
27	4.89	2.31	5.46
28	4.94	2.29	5.37
29	4.99	2.27	5.28
30	5.02	2.37	5.46
31	5.04	2.32	5.32
32	5.18	2.34	5.23
33	5.23	2.41	5.33

ตารางที่ ค. 2 พลังงานและพลังงานจำเพาะ ในช่วงอัตราการผลิต 3.76-5.20 m³/sec
กรณีถึงตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	3.84	2.72	8.21
2	3.90	2.69	7.98
3	3.91	2.80	8.26
4	3.92	2.71	7.98
5	3.93	2.76	8.13
6	3.97	2.77	8.07
7	3.98	2.74	7.98
8	3.98	2.75	8.00
9	3.99	2.76	8.00
10	4.21	2.88	7.91
11	4.36	2.96	7.85
12	4.36	2.91	7.72
13	4.37	2.92	7.73
14	4.38	2.90	7.66
15	4.39	2.98	7.85
16	4.40	2.88	7.58
17	4.40	2.92	7.69
18	4.42	2.93	7.67
19	4.43	2.97	7.76
20	4.45	2.96	7.70

ตาราง ค. 2 พลังงานและพลังงานจำเพาะ ในช่วงอัตราการผลิต 3.76-5.20 m³/sec
กรณีถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน(ต่อ)

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
21	4.48	3.01	7.78
22	4.55	2.99	7.60
23	4.56	3.05	7.73
24	4.57	2.97	7.51
25	4.58	3.04	7.69
26	4.61	3.05	7.66
27	4.61	3.06	7.67
28	4.64	3.06	7.64
29	4.70	3.02	7.45
30	4.76	3.11	7.55
31	4.78	3.12	7.54
32	4.78	3.08	7.45
33	4.79	3.04	7.36
34	4.79	3.10	7.49
35	4.82	3.13	7.52
36	4.82	3.10	7.45
37	4.84	3.14	7.52
38	4.92	3.17	7.46
39	4.93	3.12	7.33
40	4.93	3.16	7.43

ตาราง ค. 2 พลังงานและพลังงานจำเพาะ ในช่วงอัตราการผลิต 3.76-5.20 m³/sec
กรณีถึงกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน(ต่อ)

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
41	4.93	3.18	7.46
42	4.94	3.18	7.45
43	4.94	3.11	7.28
44	4.95	3.15	7.36
45	4.96	3.11	7.26
46	4.96	3.14	7.34
47	4.96	3.12	7.28
48	4.97	3.17	7.38
49	4.99	3.13	7.26
50	5.02	3.19	7.35
51	5.08	3.21	7.31
52	5.13	3.23	7.29
53	5.14	3.27	7.35
54	5.15	3.24	7.29
55	5.16	3.27	7.35
56	5.16	3.18	7.14
57	5.19	3.26	7.27
58	5.21	3.21	7.12



ตารางที่ ง. 1 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนมกราคม 2559

ลำดับ	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	14.77	3.75	3.70	2.54	4.78	4.40	4.40	3.17	2.80
2	15.15	3.99	3.97	2.49	4.69	4.40	4.40	3.55	2.80
3	16.41	4.24	4.22	3.15	4.81	5.00	5.00	3.61	2.80
4	16.64	4.18	4.15	3.52	4.79	5.00	5.00	3.84	2.80
5	17.15	4.03	4.02	4.27	4.83	5.00	5.00	4.35	2.80
6	16.56	3.89	3.90	4.03	4.74	5.00	5.00	3.76	2.80
7	15.91	3.84	3.89	3.38	4.81	5.00	5.00	3.11	2.80
8	17.00	3.86	3.88	4.45	4.81	5.00	5.00	4.20	2.80
9	16.68	4.00	3.99	3.99	4.71	5.00	5.00	3.88	2.80
10	17.74	4.10	4.04	4.84	4.76	5.00	5.00	4.94	2.80
11	17.17	3.88	3.78	4.74	4.77	5.00	5.00	4.37	2.80
12	17.33	3.90	3.85	4.78	4.80	5.00	5.00	4.53	2.80
13	16.33	3.79	3.84	4.04	4.67	5.00	5.00	3.53	2.80
14	16.74	3.87	3.90	4.39	4.58	5.00	5.00	3.94	2.80
15	16.62	3.81	3.79	4.30	4.72	5.00	5.00	3.82	2.80
16	16.88	3.88	3.85	4.38	4.77	5.00	5.00	4.08	2.80
17	16.43	3.71	3.69	4.26	4.77	5.00	5.00	3.63	2.80
18	17.48	4.26	4.22	4.28	4.73	5.00	5.00	4.68	2.80
19	16.51	4.22	4.28	3.75	4.26	5.00	5.00	3.71	2.80
20	16.56	4.15	4.22	3.44	4.75	5.00	5.00	3.76	2.80
21	17.43	4.11	4.17	4.53	4.62	5.00	5.00	4.63	2.80
22	16.64	4.61	4.58	3.13	4.32	5.00	5.00	3.84	2.80
23	16.83	4.17	4.21	3.69	4.75	5.00	5.00	4.03	2.80
24	17.03	4.23	4.27	3.64	4.89	5.00	5.00	4.23	2.80
25	16.39	3.89	3.91	4.02	4.57	5.00	5.00	3.59	2.80
26	15.44	4.06	4.05	2.76	4.56	5.00	5.00	2.64	2.80
27	15.76	3.63	3.60	3.76	4.77	5.00	5.00	2.96	2.80
28	17.48	4.50	4.51	4.17	4.31	5.00	5.00	4.68	2.80
29	17.06	3.93	3.94	4.36	4.83	5.00	5.00	4.26	2.80
30	17.15	4.11	4.12	4.13	4.80	5.00	5.00	4.35	2.80
31	16.65	4.07	4.10	3.69	4.79	5.00	5.00	3.85	2.80
พลังงานที่ใช้ (MWh)		64.96	64.96	84.86	94.75	71.76	71.76	85.11	52.92
พลังงานรวม (MWh)		309.53				281.55			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		27.97							
ลดการใช้พลังงาน (%)		9.04							

ตารางที่ ง. 2 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2559

ลำดับ	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	17.29	3.89	3.92	4.78	4.70	5.00	5.00	4.49	2.80
2	17.52	4.17	4.19	4.58	4.58	5.00	5.00	4.72	2.80
3	16.28	3.98	3.98	3.56	4.75	5.00	5.00	3.48	2.80
4	17.45	4.03	4.02	4.59	4.80	5.00	5.00	4.65	2.80
5	16.39	3.56	3.60	4.47	4.77	5.00	5.00	3.59	2.80
6	18.50	4.49	4.53	4.69	4.79	5.20	5.20	5.20	2.90
7	18.54	4.70	4.71	4.36	4.77	5.20	5.20	5.24	2.90
8	18.44	4.59	4.58	4.44	4.83	5.20	5.20	5.24	2.80
9	17.65	4.36	4.37	4.35	4.57	5.20	5.20	5.28	2.80
10	16.61	3.63	3.67	4.82	4.48	5.20	5.20	5.28	2.80
11	18.37	4.36	4.36	5.00	4.65	5.20	5.20	5.28	2.80
12	18.55	4.47	4.51	4.96	4.61	5.20	5.20	5.28	2.80
13	19.48	4.84	4.84	5.07	4.72	5.20	5.20	5.28	2.80
14	19.35	4.83	4.84	4.95	4.73	5.20	5.20	5.28	2.80
15	19.39	4.81	4.84	4.99	4.74	5.20	5.20	5.28	2.80
16	17.99	4.53	4.55	4.57	4.33	5.00	5.00	5.19	2.80
17	16.91	4.44	4.44	4.14	3.89	5.20	5.20	4.94	2.80
18	19.38	4.94	4.94	4.64	4.86	5.20	5.20	4.94	2.80
19	16.51	4.22	4.28	3.75	4.26	5.00	5.00	3.71	2.80
20	16.56	4.15	4.22	3.44	4.75	5.00	5.00	3.76	2.80
21	17.43	4.11	4.17	4.53	4.62	5.00	5.00	4.63	2.80
22	16.64	4.61	4.58	3.13	4.32	5.00	5.00	3.84	2.80
23	16.83	4.17	4.21	3.69	4.75	5.00	5.00	4.03	2.80
24	17.03	4.23	4.27	3.64	4.89	5.00	5.00	4.23	2.80
25	16.39	3.89	3.91	4.02	4.57	5.00	5.00	3.59	2.80
26	15.44	4.06	4.05	2.76	4.56	4.40	4.40	3.84	2.80
27	15.76	3.63	3.60	3.76	4.77	4.40	4.40	4.16	2.80
28	17.48	4.50	4.51	4.17	4.31	5.00	5.00	4.68	2.80
29	17.06	3.93	3.94	4.36	4.83	5.00	5.00	4.26	2.80
พลังงานที่ใช้(MWh)		62.53	62.64	83.81	87.79	67.68	67.68	87.46	49.58
พลังงานรวม (MWh)		296.76				272.39			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		24.37							
ลดการใช้พลังงาน (%)		8.21							

ตารางที่ ง. 3 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนมีนาคม 2559

ลำดับ	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	17.89	4.33	4.35	4.41	4.79	5.00	5.00	5.09	2.80
2	18.64	4.86	4.87	4.16	4.74	5.22	5.22	4.20	4.00
3	18.99	4.86	4.83	4.47	4.84	5.20	5.20	4.30	4.30
4	18.71	4.77	4.77	4.41	4.76	5.21	5.21	4.30	4.00
5	19.50	4.81	4.87	4.99	4.83	5.20	5.20	4.60	4.50
6	18.42	4.59	4.62	4.61	4.60	5.11	5.11	4.20	4.00
7	18.97	4.82	4.92	4.31	4.92	5.18	5.18	4.20	4.40
8	19.01	4.78	4.86	4.54	4.83	5.20	5.20	4.20	4.40
9	19.51	4.82	4.85	4.97	4.87	5.66	5.66	4.20	4.00
10	18.98	4.88	4.91	4.34	4.85	5.19	5.19	4.20	4.40
11	19.30	4.83	4.87	4.80	4.80	5.25	5.25	4.20	4.60
12	19.10	4.89	4.91	4.50	4.80	5.20	5.20	4.20	4.50
13	19.13	4.90	4.93	4.49	4.80	5.17	5.17	4.20	4.60
14	18.92	4.75	4.79	4.52	4.85	5.16	5.16	4.20	4.40
15	18.54	4.59	4.56	4.76	4.63	5.17	5.17	4.20	4.00
16	18.01	4.39	4.40	4.84	4.38	5.16	5.16	3.80	3.90
17	18.90	4.64	4.68	4.78	4.80	5.20	5.20	4.20	4.30
18	17.62	4.52	4.50	4.29	4.31	5.01	5.01	3.80	3.80
19	18.75	4.56	4.58	4.81	4.79	5.27	5.27	4.20	4.00
20	18.79	4.82	4.84	4.63	4.51	5.20	5.20	4.20	4.20
21	19.31	4.88	4.79	4.81	4.83	5.21	5.21	4.50	4.40
22	17.86	4.67	4.65	4.08	4.46	5.17	5.17	3.76	3.76
23	13.19	4.16	4.18	2.17	2.67	2.83	2.83	3.76	3.76
24	19.74	4.86	4.85	5.00	5.03	5.17	5.17	4.80	4.60
25	19.81	4.86	4.86	5.17	4.92	5.21	5.21	4.80	4.60
26	19.28	4.85	4.84	4.77	4.82	5.19	5.19	4.80	4.10
27	18.47	4.76	4.78	4.22	4.71	5.18	5.18	4.10	4.00
28	19.44	4.91	4.85	5.06	4.61	5.17	5.17	4.50	4.60
29	19.64	4.94	4.90	4.99	4.82	5.22	5.22	4.60	4.60
30	20.44	5.12	5.14	5.11	5.07	5.22	5.22	5.00	5.00
31	19.44	4.85	4.87	4.91	4.81	5.17	5.17	4.50	4.60
พลังงานที่ใช้(MWh)		70.24	70.32	93.22	94.63	72.90	72.90	90.00	88.34
พลังงานรวม (MWh)		328.42				324.14			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		4.29							
ลดการใช้พลังงาน (%)		1.30							

ตารางที่ ง. 4 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนเมษายน 2559

ลำดับ	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	19.77	4.94	4.94	5.03	4.86	5.19	5.19	4.80	4.60
2	19.68	4.96	4.92	4.92	4.89	5.19	5.19	4.80	4.50
3	19.34	4.84	4.85	4.75	4.90	5.22	5.22	4.80	4.10
4	19.62	4.79	4.81	5.00	5.02	5.21	5.21	4.80	4.40
5	19.71	4.85	4.84	5.00	5.02	5.21	5.21	4.80	4.50
6	19.44	4.89	4.83	4.99	4.72	5.17	5.17	4.80	4.30
7	19.86	4.87	4.86	5.01	5.13	5.23	5.23	4.80	4.60
8	19.88	4.83	4.85	5.11	5.09	5.24	5.24	4.80	4.60
9	19.77	4.78	4.80	5.21	4.98	5.18	5.18	4.80	4.60
10	19.75	4.90	4.90	4.93	5.01	5.17	5.17	4.80	4.60
11	19.85	4.98	4.97	4.92	4.97	5.22	5.22	4.80	4.60
12	19.64	4.85	4.91	4.91	4.96	5.12	5.12	4.80	4.60
13	18.21	4.65	4.68	4.01	4.87	5.15	5.15	4.00	3.90
14	18.03	4.45	4.49	4.48	4.61	5.17	5.17	4.00	3.70
15	18.07	4.67	4.67	3.97	4.77	5.19	5.19	4.00	3.70
16	19.50	4.84	4.83	4.90	4.93	5.15	5.15	4.60	4.60
17	19.50	4.85	4.82	4.91	4.91	5.15	5.15	4.60	4.60
18	19.89	5.03	4.94	4.97	4.95	5.19	5.19	4.90	4.60
19	20.15	5.02	5.00	5.06	5.06	5.18	5.18	5.20	4.60
20	20.24	5.04	5.09	4.95	5.16	5.22	5.22	5.20	4.60
21	20.12	5.04	5.09	4.82	5.16	5.16	5.16	5.20	4.60
22	20.27	5.00	5.03	5.08	5.16	5.24	5.24	5.20	4.60
23	20.15	4.97	4.88	5.15	5.14	5.17	5.17	5.20	4.60
24	20.50	5.26	4.80	5.23	5.21	5.20	5.20	5.20	4.90
25	20.69	5.29	4.99	5.20	5.20	5.19	5.19	5.20	5.10
26	20.69	5.25	5.19	5.08	5.17	5.19	5.19	5.20	5.10
27	20.82	5.27	5.16	5.21	5.18	5.21	5.21	5.20	5.20
28	20.32	5.20	4.84	5.14	5.14	5.16	5.16	5.20	4.80
29	20.80	5.18	5.12	5.25	5.26	5.25	5.25	5.20	5.10
30	19.51	4.94	4.75	4.91	4.91	5.16	5.16	4.60	4.60
พลังงานที่ใช้ (MWh)		69.35	68.99	94.50	95.40	71.04	71.04	93.47	90.04
พลังงานรวม (MWh)		328.24				325.60			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		2.64							
ลดการใช้พลังงาน (%)		0.81							

ตารางที่ ง. 5 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนพฤษภาคม 2559

ลำดับ	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	20.10	5.20	4.82	4.88	5.19	5.20	5.20	4.90	4.80
2	20.03	5.25	4.86	4.70	5.22	5.17	5.17	4.90	4.80
3	20.49	5.23	4.85	5.17	5.23	5.25	5.25	5.20	4.80
4	20.50	5.23	4.84	5.20	5.23	5.25	5.25	5.20	4.80
5	20.70	5.27	4.88	5.25	5.30	5.25	5.25	5.20	5.00
6	20.37	5.29	4.90	5.01	5.17	5.19	5.19	5.20	4.80
7	19.93	5.23	4.88	4.63	5.20	5.17	5.17	4.80	4.80
8	20.47	5.25	4.88	5.16	5.19	5.24	5.24	5.20	4.80
9	20.48	5.23	4.86	5.20	5.20	5.24	5.24	5.20	4.80
10	20.22	5.09	4.76	5.19	5.18	5.16	5.16	5.10	4.80
11	20.48	5.22	4.86	5.23	5.17	5.24	5.24	5.20	4.80
12	20.42	5.23	4.87	5.18	5.14	5.21	5.21	5.20	4.80
13	20.37	5.21	4.85	5.19	5.11	5.18	5.18	5.20	4.80
14	20.60	5.19	4.83	5.20	5.38	5.20	5.20	5.20	5.00
15	20.19	4.97	4.66	5.19	5.38	5.19	5.19	5.00	4.80
16	20.83	5.28	5.27	5.17	5.11	5.22	5.22	5.20	5.20
17	20.30	5.21	5.10	4.81	5.17	5.20	5.20	5.10	4.80
18	20.09	5.24	4.83	4.80	5.21	5.19	5.19	4.90	4.80
19	20.00	5.20	4.81	4.79	5.19	5.15	5.15	4.90	4.80
20	20.67	5.27	4.94	5.20	5.25	5.23	5.23	5.20	5.00
21	20.44	5.06	5.03	5.19	5.16	5.22	5.22	5.20	4.80
22	20.01	4.83	4.83	5.17	5.18	5.15	5.15	4.90	4.80
23	20.13	4.88	4.84	5.20	5.21	5.21	5.21	4.90	4.80
24	19.73	4.82	4.83	4.99	5.09	5.22	5.22	4.50	4.80
25	20.42	5.02	5.00	5.19	5.21	5.21	5.21	5.20	4.80
26	20.36	5.20	5.00	4.96	5.20	5.18	5.18	5.20	4.80
27	20.26	5.12	4.99	4.92	5.22	5.23	5.23	5.00	4.80
28	20.58	5.16	5.18	5.05	5.18	5.19	5.19	5.20	5.00
29	20.77	5.23	5.25	5.03	5.24	5.18	5.18	5.20	5.20
30	20.98	5.25	5.27	5.21	5.26	5.29	5.29	5.20	5.20
31	20.36	5.19	5.18	4.79	5.20	5.18	5.18	5.00	5.00
พลังงานที่ใช้ (MWh)		73.22	71.56	99.19	100.97	73.53	73.53	99.43	96.84
พลังงานรวม (MWh)		344.94				343.33			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		1.61							
ลดการใช้พลังงาน (%)		0.47							

ตารางที่ ง. 6 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนมิถุนายน 2559

วันที่	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	19.66	4.88	4.95	4.61	5.23	5.18	5.18	4.80	4.50
2	20.01	4.99	5.00	4.79	5.24	5.21	5.21	4.80	4.80
3	20.11	5.23	5.24	4.42	5.22	5.25	5.25	4.80	4.80
4	20.23	5.24	5.23	4.50	5.26	5.21	5.21	4.80	5.00
5	19.88	4.88	4.93	4.92	5.16	5.19	5.19	4.80	4.70
6	18.61	4.21	4.27	5.18	4.95	5.20	5.20	4.20	4.00
7	18.38	4.17	4.17	5.18	4.86	5.19	5.19	4.00	4.00
8	18.56	4.24	4.25	5.23	4.84	5.18	5.18	4.20	4.00
9	18.42	4.21	4.22	5.18	4.81	5.16	5.16	4.10	4.00
10	18.19	4.06	4.07	5.20	4.86	5.20	5.20	3.80	4.00
11	18.69	4.28	4.28	5.19	4.94	5.19	5.19	4.30	4.00
12	18.73	4.25	4.25	5.26	4.97	5.22	5.22	4.30	4.00
13	18.49	4.23	4.25	5.14	4.87	5.15	5.15	4.30	3.90
14	18.40	4.24	4.23	5.04	4.89	5.20	5.20	4.30	3.70
15	18.70	4.51	4.44	4.83	4.92	5.20	5.20	4.30	4.00
16	17.83	4.40	4.33	4.66	4.44	5.15	5.15	3.76	3.76
17	18.63	4.43	4.46	4.80	4.94	5.21	5.21	4.20	4.00
18	18.14	4.43	4.44	4.35	4.92	5.20	5.20	4.94	2.80
19	18.41	4.40	4.42	4.63	4.97	5.20	5.20	5.21	2.80
20	18.11	4.41	4.42	4.43	4.85	5.20	5.20	4.91	2.80
21	17.60	4.40	4.43	4.44	4.33	5.20	5.20	4.40	2.80
22	17.91	4.43	4.44	4.68	4.36	5.20	5.20	4.71	2.80
23	18.18	4.47	4.48	4.66	4.58	5.20	5.20	4.98	2.80
24	17.70	4.56	4.57	4.14	4.43	5.20	5.20	4.50	2.80
25	18.03	4.45	4.44	4.44	4.70	5.20	5.20	4.83	2.80
26	18.49	4.47	4.46	4.81	4.75	5.20	5.20	5.29	2.80
27	18.40	4.43	4.42	4.80	4.76	5.20	5.20	5.20	2.80
28	17.82	4.34	4.34	4.50	4.64	5.20	5.20	4.62	2.80
29	17.97	4.31	4.33	4.77	4.57	5.20	5.20	4.77	2.80
30	17.93	4.43	4.42	4.65	4.43	5.20	5.20	4.73	2.80
พลังงานที่ใช้ (MWh)		65.98	66.02	92.64	93.14	71.10	71.10	90.03	70.66
พลังงานรวม (MWh)		317.78				302.89			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		14.89							
ลดการใช้พลังงาน (%)		4.69							

ตารางที่ ง. 7 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนกรกฎาคม 2559

ลำดับ	ปริมาณน้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	17.79	4.49	4.48	4.66	4.15	5.00	5.00	4.99	2.80
2	18.30	4.47	4.48	4.59	4.77	5.20	5.20	5.10	2.80
3	18.16	4.47	4.49	4.61	4.60	5.20	5.20	4.96	2.80
4	18.20	4.44	4.48	4.49	4.80	5.20	5.20	5.00	2.80
5	18.37	4.47	4.45	4.60	4.85	5.20	5.20	5.17	2.80
6	17.05	4.45	4.43	4.07	4.09	5.20	5.20	3.85	2.80
7	18.30	4.46	4.43	4.72	4.69	5.20	5.20	5.10	2.80
8	18.17	4.48	4.47	4.62	4.60	5.20	5.20	4.97	2.80
9	18.70	4.57	4.61	4.76	4.75	5.20	5.20	5.50	2.80
10	17.65	4.57	4.65	4.33	4.11	5.20	5.20	4.45	2.80
11	17.87	4.55	4.51	4.50	4.31	5.20	5.20	4.67	2.80
12	18.00	4.55	4.52	4.48	4.45	5.20	5.20	4.80	2.80
13	18.58	4.65	4.63	4.59	4.71	5.25	5.25	5.28	2.80
14	17.99	4.63	4.67	4.00	4.70	5.20	5.20	4.79	2.80
15	18.32	4.64	4.62	4.37	4.69	5.20	5.20	5.12	2.80
16	18.01	4.67	4.64	4.34	4.36	5.20	5.20	4.81	2.80
17	17.98	4.55	4.59	4.59	4.25	5.20	5.20	4.78	2.80
18	17.98	4.42	4.48	4.97	4.12	5.20	5.20	4.78	2.80
19	17.89	4.31	4.36	4.97	4.24	5.20	5.20	4.69	2.80
20	18.26	4.44	4.45	5.00	4.38	5.20	5.20	5.06	2.80
21	18.22	4.43	4.44	4.99	4.37	5.20	5.20	5.02	2.80
22	18.27	4.43	4.44	5.00	4.40	5.20	5.20	5.07	2.80
23	18.40	4.59	4.57	4.84	4.40	5.20	5.20	5.20	2.80
24	18.69	4.59	4.57	5.05	4.49	5.30	5.30	5.29	2.80
25	18.35	4.46	4.49	4.98	4.43	5.20	5.20	5.15	2.80
26	18.08	4.46	4.48	4.74	4.40	5.20	5.20	4.88	2.80
27	17.74	4.49	4.48	4.44	4.33	5.20	5.20	4.54	2.80
28	18.26	4.43	4.44	4.96	4.42	5.20	5.20	5.06	2.80
29	18.35	4.45	4.45	5.00	4.46	5.20	5.20	5.15	2.80
30	18.51	4.48	4.47	5.02	4.54	5.25	5.25	5.21	2.80
31	18.61	4.40	4.45	4.91	4.84	5.30	5.30	5.21	2.80
พลังงานที่ใช้ (MWh)		68.43	68.48	94.53	91.93	73.51	73.51	97.90	52.92
พลังงานรวม (MWh)		323.36				297.85			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		25.51							
ลดการใช้พลังงาน (%)		7.89							

ตารางที่ ง. 8 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนสิงหาคม 2559

ลำดับ	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	18.21	4.45	4.48	4.45	4.83	5.20	5.20	5.01	2.80
2	18.52	4.45	4.45	4.79	4.82	5.20	5.20	5.32	2.80
3	18.49	4.46	4.47	4.73	4.84	5.20	5.20	5.29	2.80
4	18.09	4.47	4.42	4.41	4.78	5.10	5.10	5.09	2.80
5	18.09	4.49	4.45	4.35	4.80	5.10	5.10	5.09	2.80
6	18.15	4.50	4.46	4.41	4.78	5.10	5.10	5.15	2.80
7	18.54	4.41	4.38	4.93	4.81	5.20	5.20	5.34	2.80
8	18.09	4.49	4.46	4.42	4.73	5.10	5.10	5.09	2.80
9	17.82	4.25	4.27	4.68	4.62	5.10	5.10	4.82	2.80
10	17.90	4.46	4.44	4.65	4.36	5.10	5.10	4.90	2.80
11	17.95	4.43	4.42	4.74	4.36	5.10	5.10	4.95	2.80
12	17.78	4.46	4.43	4.54	4.36	5.10	5.10	4.78	2.80
13	17.15	4.48	4.45	4.02	4.21	5.10	5.10	4.15	2.80
14	17.48	4.35	4.39	4.47	4.26	5.10	5.10	4.48	2.80
15	18.08	4.38	4.40	4.67	4.63	5.10	5.10	5.08	2.80
16	17.98	4.49	4.45	4.67	4.37	5.10	5.10	4.98	2.80
17	18.21	4.46	4.45	4.85	4.45	5.10	5.10	5.21	2.80
18	17.97	4.46	4.45	4.62	4.45	5.10	5.10	4.97	2.80
19	18.03	4.44	4.45	4.69	4.45	5.10	5.10	5.03	2.80
20	18.56	4.41	4.40	4.90	4.85	5.20	5.20	5.36	2.80
21	18.62	4.41	4.40	5.02	4.79	5.20	5.20	5.42	2.80
22	17.41	4.49	4.47	4.32	4.12	5.10	5.10	4.41	2.80
23	17.42	4.48	4.47	4.28	4.19	5.10	5.10	4.42	2.80
24	17.75	4.45	4.43	4.44	4.43	5.10	5.10	4.75	2.80
25	17.55	4.47	4.46	4.40	4.22	5.10	5.10	4.55	2.80
26	17.70	4.52	4.50	4.45	4.23	5.10	5.10	4.70	2.80
27	17.65	4.42	4.42	4.47	4.34	5.10	5.10	4.65	2.80
28	17.78	4.49	4.47	4.45	4.37	5.10	5.10	4.78	2.80
29	18.02	4.48	4.46	4.83	4.25	5.10	5.10	5.02	2.80
30	17.11	4.51	4.52	4.25	3.83	5.10	5.10	4.11	2.80
31	17.69	4.42	4.46	4.49	4.32	5.10	5.10	4.69	2.80
พลังงานที่ใช้ (MWh)		68.06	67.99	93.01	92.00	72.91	72.91	97.07	52.92
พลังงานรวม (MWh)		321.06				295.79			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		25.26							
ลดการใช้พลังงาน (%)		7.87							

ตารางที่ ง. 9 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนกันยายน 2559

ลำดับ	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	18.18	4.49	4.51	4.73	4.44	5.20	5.20	4.98	2.80
2	17.06	4.42	4.44	4.22	3.99	5.00	5.00	4.26	2.80
3	17.88	4.42	4.41	5.00	4.05	5.00	5.00	5.08	2.80
4	17.93	4.44	4.42	5.02	4.06	5.00	5.00	5.13	2.80
5	17.98	4.53	4.50	4.59	4.36	5.00	5.00	5.18	2.80
6	18.39	4.41	4.40	4.83	4.75	5.19	5.19	5.20	2.80
7	18.69	4.57	4.52	4.99	4.61	5.32	5.32	5.25	2.80
8	18.43	4.63	4.57	4.44	4.80	5.19	5.19	5.25	2.80
9	19.04	4.72	4.64	4.87	4.81	5.20	5.20	5.16	2.80
10	19.19	4.68	4.64	4.99	4.88	5.20	5.20	5.16	2.80
11	18.45	4.66	4.66	4.27	4.85	5.20	5.20	5.16	2.80
12	18.01	4.83	4.85	3.65	4.68	5.20	5.20	5.16	2.80
13	17.12	4.44	4.43	4.05	4.20	5.20	5.20	5.16	2.80
14	18.28	4.65	4.67	4.25	4.72	5.69	5.69	4.10	2.80
15	17.95	4.54	4.58	4.15	4.68	5.69	5.69	3.76	2.80
16	17.50	4.31	4.39	4.28	4.52	5.47	5.47	3.76	2.80
17	18.37	4.48	4.54	4.59	4.77	5.69	5.69	4.20	2.80
18	18.13	4.47	4.53	4.39	4.74	5.66	5.66	4.00	2.80
19	18.38	4.42	4.49	4.64	4.84	5.69	5.69	4.20	2.80
20	17.33	4.23	4.26	4.04	4.79	5.38	5.38	3.76	2.80
21	17.52	4.04	4.07	4.62	4.79	5.48	5.48	3.76	2.80
22	17.44	4.04	4.06	4.56	4.78	5.44	5.44	3.76	2.80
23	17.08	4.05	4.07	4.20	4.76	5.26	5.26	3.76	2.80
24	17.69	4.04	4.08	4.81	4.76	5.56	5.56	3.76	2.80
25	18.57	4.52	4.51	4.78	4.76	5.79	5.79	4.20	2.80
26	17.36	4.51	4.49	3.83	4.53	5.40	5.40	3.76	2.80
27	18.40	4.49	4.45	4.67	4.79	5.92	5.92	3.76	2.80
28	17.50	4.03	4.08	4.70	4.69	5.47	5.47	3.76	2.80
29	18.32	4.47	4.48	4.70	4.66	5.71	5.71	4.10	2.80
30	18.25	4.47	4.48	4.70	4.61	5.68	5.68	4.10	2.80
พลังงานที่ใช้ (MWh)		65.75	65.80	89.50	90.74	72.49	72.49	88.34	51.21
พลังงานรวม (MWh)		311.79				284.54			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		27.26							
ลดการใช้พลังงาน (%)		8.74							

ตารางที่ ง. 10 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนตุลาคม 2559

ลำดับ	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	18.34	4.42	4.44	4.88	4.61	5.20	5.20	5.14	2.80
2	18.43	4.44	4.08	5.00	4.91	5.20	5.20	5.23	2.80
3	18.94	4.45	4.49	5.00	5.00	5.20	5.20	5.14	2.80
4	17.77	4.47	4.47	4.42	4.41	5.20	5.20	5.17	2.80
5	18.34	4.41	4.43	4.80	4.71	5.20	5.20	5.14	2.80
6	17.98	4.41	4.45	4.79	4.34	5.20	5.20	5.28	2.80
7	18.91	4.67	4.52	4.90	4.82	5.20	5.20	5.21	2.80
8	18.82	4.79	4.55	4.73	4.75	5.20	5.20	5.62	2.80
9	18.01	4.36	4.44	4.69	4.52	5.20	5.20	4.81	2.80
10	18.82	4.64	4.62	4.79	4.78	5.20	5.20	5.62	2.80
11	18.34	4.42	4.43	4.72	4.76	5.20	5.20	5.14	2.80
12	17.40	4.52	4.50	4.19	4.19	5.20	5.20	4.20	2.80
13	17.58	4.42	4.43	4.26	4.47	5.20	5.20	4.38	2.80
14	17.90	4.41	4.42	4.28	4.79	5.20	5.20	4.70	2.80
15	18.53	4.45	4.46	4.79	4.83	5.20	5.20	5.33	2.80
16	17.71	4.48	4.47	4.03	4.72	5.20	5.20	4.51	2.80
17	17.90	4.45	4.49	4.38	4.59	5.20	5.20	4.70	2.80
18	18.40	4.63	4.68	4.64	4.44	5.20	5.20	5.20	2.80
19	17.18	4.48	4.66	4.83	3.22	5.20	5.20	3.98	2.80
20	18.33	4.58	4.72	4.47	4.56	5.20	5.20	5.13	2.80
21	18.09	4.28	4.35	4.79	4.66	5.20	5.20	4.89	2.80
22	17.20	4.40	4.43	4.79	3.57	5.20	5.20	4.00	2.80
23	16.53	4.46	4.47	4.79	2.81	5.20	5.20	3.33	2.80
24	16.59	4.49	4.48	4.80	2.82	5.20	5.20	3.39	2.80
25	17.03	4.69	4.50	5.00	2.84	5.20	5.20	3.83	2.80
26	16.78	4.73	4.43	4.82	2.81	5.20	5.20	3.58	2.80
27	16.86	4.77	4.46	4.82	2.81	5.20	5.20	3.66	2.80
28	17.12	4.82	4.48	4.99	2.83	5.20	5.20	3.92	2.80
29	16.83	4.80	4.46	4.76	2.81	5.20	5.20	3.63	2.80
30	16.80	4.82	4.48	4.69	2.80	5.20	5.20	3.60	2.80
31	16.99	4.85	4.48	4.86	2.80	5.20	5.20	3.79	2.80
พลังงานที่ใช้ (MWh)		68.78	68.26	94.73	86.48	73.49	73.49	92.96	52.92
พลังงานรวม (MWh)		318.25				292.86			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		25.39							
ลดการใช้พลังงาน (%)		7.98							

ตารางที่ ง. 11 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนพฤศจิกายน 2559

ลำดับ	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	16.78	4.84	4.50	4.66	2.78	5.00	5.00	4.00	2.78
2	17.32	4.91	4.61	5.00	2.80	5.00	5.00	4.52	2.80
3	17.16	4.78	4.62	4.98	2.77	5.00	5.00	4.39	2.77
4	16.81	4.62	4.44	4.99	2.76	5.00	5.00	4.05	2.76
5	16.96	4.72	4.50	4.99	2.75	5.00	5.00	4.21	2.75
6	16.73	4.47	4.47	5.01	2.77	5.00	5.00	3.95	2.77
7	16.96	4.65	4.57	4.98	2.77	5.00	5.00	4.20	2.77
8	16.59	4.56	4.44	4.99	2.60	5.00	5.00	3.99	2.60
9	16.58	4.54	4.29	4.91	2.83	5.00	5.00	3.75	2.83
10	17.20	4.87	4.59	4.97	2.78	5.00	5.00	4.42	2.78
11	17.02	4.94	4.27	5.01	2.79	5.00	5.00	4.23	2.79
12	16.81	4.86	4.40	4.86	2.70	5.00	5.00	4.12	2.70
13	16.86	4.64	4.45	5.00	2.77	5.00	5.00	4.09	2.77
14	16.63	4.90	4.60	4.52	2.61	5.00	5.00	4.02	2.61
15	16.87	4.59	4.21	4.55	3.53	5.00	5.00	4.10	2.77
16	16.52	4.28	4.33	4.35	3.56	5.00	5.00	3.75	2.77
17	16.65	4.31	4.38	4.40	3.55	5.00	5.00	3.88	2.77
18	16.64	4.36	4.36	4.00	3.91	5.00	5.00	3.87	2.77
19	16.43	4.25	4.21	3.81	4.16	5.00	5.00	3.66	2.77
20	16.83	4.22	4.18	4.30	4.13	5.00	5.00	4.06	2.77
21	15.95	4.49	4.28	4.07	3.10	5.00	5.00	3.18	2.77
22	16.14	4.69	4.34	4.15	2.96	5.00	5.00	3.18	2.96
23	16.55	4.74	4.47	4.38	2.97	5.00	5.00	3.58	2.97
24	16.08	4.62	4.40	4.22	2.83	5.00	5.00	3.24	2.83
25	16.27	4.72	4.52	4.31	2.72	5.00	5.00	3.55	2.72
26	16.57	4.64	4.60	4.57	2.76	5.00	5.00	3.81	2.76
27	16.62	4.62	4.59	4.62	2.80	5.00	5.00	3.82	2.80
28	16.06	4.57	4.39	4.37	2.73	5.00	5.00	3.33	2.73
29	15.20	4.70	3.66	4.13	2.71	5.00	5.00	2.49	2.71
30	16.58	5.04	4.04	4.75	2.75	5.00	5.00	3.83	2.75
พลังงานที่ใช้ (MWh)		67.19	65.45	90.43	57.01	69.72	69.72	81.44	50.84
พลังงานรวม (MWh)		280.08				271.72			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		8.35							
ลดการใช้พลังงาน (%)		2.98							

ตารางที่ ง. 12 ปรับเปลี่ยนรูปแบบอัตราการผลิตประจำเดือนธันวาคม 2559

ลำดับ	ปริมาณความต้องการ น้ำดิบ (m ³ /sec)	รูปแบบอัตราการผลิตแบบเก่า (m ³ /sec)				รูปแบบอัตราการผลิตแบบใหม่ (m ³ /sec)			
		เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	16.10	5.07	4.04	4.30	2.69	5.00	5.00	3.41	2.69
2	16.35	5.01	4.15	4.55	2.64	5.00	5.00	3.71	2.64
3	16.23	4.47	4.21	4.80	2.76	5.00	5.00	3.48	2.76
4	16.04	4.66	4.21	4.48	2.69	5.00	5.00	3.35	2.69
5	16.30	4.63	4.18	4.79	2.69	5.00	5.00	3.61	2.69
6	16.58	4.77	4.37	4.79	2.66	5.00	5.00	3.92	2.66
7	16.31	4.69	4.36	4.61	2.64	5.00	5.00	3.66	2.64
8	15.89	4.76	4.23	4.36	2.54	5.00	5.00	3.35	2.54
9	16.29	4.86	4.26	4.53	2.65	5.00	5.00	3.64	2.65
10	16.66	4.81	4.24	4.87	2.74	5.00	5.00	3.92	2.74
11	16.52	4.88	4.30	4.59	2.74	5.00	5.00	3.77	2.74
12	16.22	4.89	4.31	4.36	2.66	5.00	5.00	3.56	2.66
13	16.73	4.89	4.31	4.76	2.77	5.00	5.00	3.96	2.77
14	16.70	5.02	4.51	4.97	2.21	5.00	5.00	4.49	2.21
15	16.70	4.84	4.42	4.77	2.67	5.00	5.00	4.03	2.67
16	16.67	4.69	4.29	5.01	2.69	5.00	5.00	3.99	2.69
17	16.65	4.46	4.28	4.66	3.25	5.00	5.00	3.94	2.71
18	17.11	4.33	4.31	4.78	3.68	5.00	5.00	4.39	2.73
19	17.24	4.66	4.62	4.43	3.53	5.00	5.00	4.49	2.74
20	14.99	4.60	4.55	2.53	3.32	5.00	5.00	2.22	2.76
21	17.49	4.58	4.57	3.95	4.38	5.00	5.00	5.64	1.85
22	17.33	4.19	4.24	4.53	4.36	5.00	5.00	5.33	2.00
23	17.14	4.23	4.20	4.27	4.44	5.00	5.00	4.98	2.15
24	17.47	4.18	4.17	4.99	4.13	5.00	5.00	5.17	2.30
25	17.10	4.13	4.16	4.77	4.04	5.00	5.00	4.65	2.45
26	16.69	4.40	4.32	4.75	3.22	5.00	5.00	4.09	2.60
27	17.40	4.83	4.81	5.01	2.75	5.00	5.00	4.65	2.75
28	17.19	4.64	4.64	5.01	2.90	5.00	5.00	4.29	2.90
29	16.30	4.42	4.42	4.58	2.88	5.00	5.00	3.42	2.88
30	16.11	4.42	4.41	4.45	2.83	5.00	5.00	3.28	2.83
31	15.18	4.20	4.09	4.22	2.68	4.37	4.37	3.76	2.68
พลังงานที่ใช้ (MWh)		69.29	67.19	93.05	60.85	71.90	71.90	86.16	50.52
พลังงานรวม (MWh)		290.38				280.47			
ลดการใช้พลังงาน (MWh)		9.90							
ลดการใช้พลังงาน (%)		3.41							



ตารางที่ จ. 1 พลังงานรวมและพลังงานจำเพาะในกระบวนการตกตะกอน

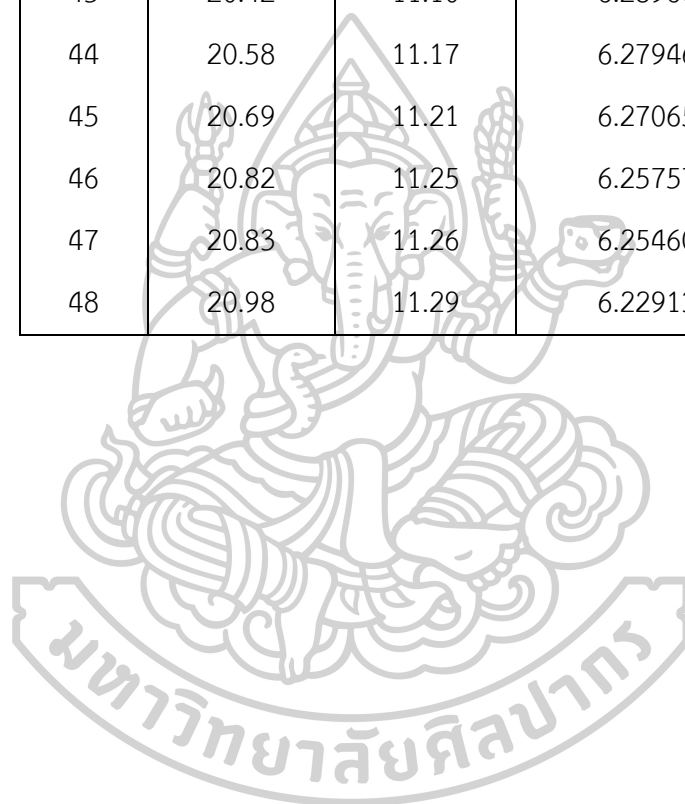
ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
1	16.22	8.90	6.35188
2	16.35	8.95	6.33779
3	16.43	8.99	6.32900
4	16.56	9.04	6.31540
5	16.66	9.08	6.30542
6	16.74	9.11	6.29743
7	16.83	9.14	6.28859
8	16.89	9.17	6.28202
9	16.97	9.20	6.27481
10	17.06	9.24	6.26587
11	17.15	9.27	6.25702
12	17.27	9.32	6.24551
13	17.31	9.33	6.24222
14	17.48	9.40	6.22629
15	17.55	9.40	6.19806
16	17.65	9.44	6.18855
17	17.75	9.48	6.17988
18	17.90	9.54	6.16645
19	18.03	9.59	6.15513
20	18.15	9.64	6.14535

ตาราง จ.1 พลังงานรวมและพลังงานจำเพาะในกระบวนการตกตะกอน(ต่อ)

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
21	18.21	9.66	6.14016
22	18.49	9.74	6.09622
23	18.64	10.38	6.44908
24	18.71	10.42	6.44396
25	18.92	10.52	6.43340
26	18.97	10.53	6.42361
27	18.98	10.53	6.42157
28	18.99	10.53	6.41839
29	19.01	10.54	6.41568
30	19.10	10.57	6.40832
31	19.13	10.60	6.41177
32	19.30	10.64	6.37928
33	19.34	10.66	6.38098
34	19.64	10.82	6.37417
35	19.68	10.81	6.35586
36	19.77	10.85	6.34944
37	19.85	10.86	6.33561
38	20.01	10.95	6.33516
39	20.15	11.00	6.31893
40	20.19	11.01	6.31168

ตาราง จ.1 พลังงานรวมและพลังงานจำเพาะในกระบวนการตกตะกอน(ต่อ)

ลำดับ	อัตราการผลิต (m ³ /sec)	พลังงาน (MWh)	พลังงานจำเพาะ (Wh/m ³)
41	20.26	11.03	6.29930
42	20.37	11.09	6.29755
43	20.42	11.10	6.28960
44	20.58	11.17	6.27946
45	20.69	11.21	6.27065
46	20.82	11.25	6.25757
47	20.83	11.26	6.25460
48	20.98	11.29	6.22913





ภาคผนวก ฉ
ค่าใช้จ่ายรวมในกระบวนการตกตะกอน

ค่าใช้จ่ายรวมในกระบวนการตกตะกอน

ถังตกตะกอนเป็นเครื่องจักรในกระบวนการสำหรับกำจัดตะกอนที่ปะปนมากับน้ำดิบ โดยการเติมสารตกตะกอนลงไป (โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ใช้สารตกตะกอนเป็น สารส้ม) และใช้ถังตกตะกอนในการผสมคลุกเคล้าโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายรวมจะเกิดจากค่าใช้จ่ายในการสารเคมีและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

ข้อมูลด้านสารเคมี

ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนใช้ปริมาณสารส้มเฉลี่ย	18 mg/l
ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนใช้ปริมาณสารส้มเฉลี่ย	16 mg/l

ข้อมูลด้านพลังงานไฟฟ้า

ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนจะมีการใช้พลังงานดังสมการ (4.1)
ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนจะมีการใช้พลังงานดังสมการ (4.2)

ตารางที่ ฉ. 1 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมทั้งด้านพลังงานไฟฟ้าและสารเคมีของถังตกตะกอน

รายการ	ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน	ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน
ปริมาณสารส้ม (mg/l)	18	16
อัตราการผลิต (m ³ /sec)	5.2	5.2
ปริมาณสารส้มที่ใช้ (ตัน/วัน)	8.087	7.188
ค่าใช้จ่ายสารส้ม (บาท/วัน)	37,556.21	33,383.30
พลังงานที่ใช้ (MWh)	2.37	3.25
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า (บาท/วัน)	8,226.13	11,294.12
ค่าใช้จ่ายรวม (บาท/วัน)	45,782.35	44,677.42

จากตาราง ฉ.1 ได้เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนและชนิดหมุนเวียนตะกอน โดยพิจารณาที่อัตราการผลิตสูงสุดจะพบว่า ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนจะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน แต่ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนจะใช้ปริมาณสารส้มที่น้อยกว่าถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีสูงกว่า และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมทั้งด้านพลังงานไฟฟ้าและด้านสารเคมี จะพบว่าถังตกตะกอนทั้ง 2 ชนิดมีค่าใช้จ่ายที่ใกล้เคียงกัน โดยถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนจะมีค่าใช้จ่ายรวมสูงกว่าถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนเล็กน้อย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วิวัฒน์ อ่อนนาคกล้า
วัน เดือน ปี เกิด	8 ตุลาคม 2529
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลศิริราช
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2558 ศึกษาต่อระดับปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสนามจันทร์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม
ที่อยู่ปัจจุบัน	14 หมู่ 1 ต.อ้อมใหญ่ อ.สามพราน จ.นครปฐม 73160