การเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยประยุกต์ใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

วัฒนา หงษี

GRAD VRU

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
พ.ศ. 2564

SEDIMENTATION EFFICIENCY INCREASING IN BEVERAGE INDUSTRIAL WASTEWATER USING APPLIED TUBE SETTLER TECHNIQUE

WATTHANA HONGSRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCES
IN INNOVATION OF ENVIRONMENTAL
GRADUATE SCHOOL
VALAYA ALONGKORN RAJABHAT UNIVERSITY
UNDER THE ROYAL PATRONAGE PATHUM THANI
2021

GRAD VRU

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยประยุกต์ใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์
ชื่อนักศึกษา	วัฒนา หงษี
รหัสประจำตัว	61G54800102
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	นวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนัสพรรัศม์ สวัสดี)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศศิธร หาสิน)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสา พักตร์วิไล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศศิธร หาสิน)

..... กรรมการและเลขานุการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนัสพรรัศม์ สวัสดี)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิ
(ศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาล)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กันต์ฤทัย คลังพหล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ 18 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

วัฒนา หงษี. (2564). การเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยประยุกต์ใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วนัสพรรัศม์ สวัสดี อ.ดร.ศศิธร หาสิน

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแบบเดิมในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง 2) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ และ 3) เสนอแนะความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์สำหรับการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้ วิธีดำเนินการวิจัยโดยใช้วิธีเทคนิคทางกายภาพ คือ ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ร่วมกับการใช้สารเคมี คือ พอลิเมอร์ เพื่อกำจัดความขุ่นของน้ำเสีย วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง คือ ค่าความขุ่น ค่าของแข็งทั้งหมด ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าพีเอช และค่าซีโอดี จากนั้นเสนอแนะความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิอัตราผลตอบแทนจากโครงการระยะเวลาคืนทุน

ผลการวิจัยพบว่า 1) ประสิทธิภาพการตกตะกอนแบบเดิมที่ใช้เพียงเคมีในบ่อรองรับน้ำเสียขั้นต้น (EQ) และในบ่อตกตะกอนขั้นที่สองที่ยังไม่ได้ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้น ค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้ายยังมีค่ามากถึง 90 ± 2.89 NTU และค่าของแข็งทั้งหมดมีค่า 2,100 ± 180.28 mg L^{-1} ค่าของแข็งแขวนลอย 220 ± 13.23 mg L^{-1} และค่าซีโอดี 850 ± 20 mg L^{-1} ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า น้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมยังมีค่าเกินมาตรฐานกำหนด 2) ประสิทธิภาพการตกตะกอนของระบบหลังจากติดตั้งใช้งานแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สองแล้วใช้ร่วมกับเคมีในบ่อรองรับน้ำเสียขั้นต้น พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้นสามารถช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานได้ เมื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีจึงนำไปสู่การต้นทุนสำหรับค่าใช้จ่ายของสารเคมีในแต่ละเดือนอีกด้วย จากผลการวิจัยพบว่า สามารถลดค่าความขุ่นได้ถึง 96% ค่าของแข็งทั้งหมดเหลือเพียง 1,000 ± 180.28 mg L^{-1} ค่าของแข็งแขวนลอยเหลือเพียง 40.00 ± 5.00 mg L^{-1} และค่าซีโอดีเหลือเพียง 27 ± 2.65 mg L^{-1} การติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง ยังสามารถเพิ่มปริมาณการรองรับน้ำเสียจากการกระบวนการผลิตได้ และลดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพิ่มได้ มูลค่าการก่อสร้างบ่อรองรับน้ำเสียขั้นต้น และบ่อตกตะกอนขั้นที่สองนั้นมีค่า 4.375 ล้านบาท เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ มีค่า 955,000 บาท พบว่า สามารถลดต้นทุนไปได้ถึง 78.17% และ 3) การพิจารณาความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ ของค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่ามากกว่า 1 โดยสำหรับโครงการได้ค่าสูงถึง 17.07 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่า 21,514,491.51 อัตราผลตอบแทนจากโครงการร้อยละ 77.89 และระยะเวลาคืนทุน คือ 9 เดือน 4 วัน

องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยในครั้ง เมื่อพิจารณาข้อมูลทั้งหมดจากงานวิจัยพบว่าโครงการนี้เป็นโครงการที่มีความคุ้มค่ากับการลงทุน และเหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรือระบบบำบัดน้ำเสียอื่น ที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย การเลือกวิธีในการบำบัดน้ำเสียนั้นต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสียในแต่ละแหล่งกำเนิด เพื่อการนำน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ หรือการปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดออกสู่สิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนการใช้สารเคมีได้ในเวลาเดียวกัน

คำสำคัญ : แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ การตกตะกอนทางกายภาพ การตกตะกอนทางเคมี

Watthana Hongsri. (2021). Sedimentation Efficiency Increasing in Beverage Industrials Wastewater using Applied Tube Settler Technique. Master of Science (Innovation of Environmental Management). Advisors: Asst. Prof. Dr.Vanatpornratt Sawasdee, Dr.Sasitorn Hasin

ABSTRACT

This research is an experimental research. The objective of this research 1) to study the traditional sedimentation efficiency in beverage industrials Wastewater, 2) to study the sedimentation efficiency increasing in beverage industrials wastewater using applied tube settler technique, and 3) to suggestion the economic feasibility for tube settler technique in beverage industrials wastewater. Methodology of this research was used physical technique with tube settler and chemical technique with polymer to turbidity reduction and analytical the efficiency of physical technique with tube settler. The related parameters were turbidity, Total Solid (TS), Total Suspended Solid (TSS), pH, and Chemical Oxygen Demand (COD). Then, suggestion the economic feasibility for tube settler technique in beverage industrials wastewater with benefit/cost ratio, net present value, internal rate return, and payback period.

The results were found: 1) The efficiency of sedimentation with chemical technique in EQ tank and without tube settler in sediment tank that was turbidity from sediment tank 90 ± 2.89 NTU, TS 2,100 ± 180.28 mg L^{-1}, TSS 220 ± 13.23 mg L^{-1}, and COD 850± 20 mg L^{-1}. Wastewater results from this industry were higher than standard of industry wastewater. 2) The efficiency of sedimentation with chemical technique in EQ tank and tube settler in sediment tank that was increased sedimentation efficiency. Moreover, tube settler was technique that can be decreased chemical in wastewater system. Therefore, chemical cost for sedimentation per month was also decreased. The results were showed turbidity removal 96%, TS was 1,000± 180.28 mg L^{-1}, TSS 40.00 ± 5.00 mg L^{-1}, and COD was 27 ± 2.65 mg L^{-1}. Installation of tube settler in sediment tank can be supported the volume of wastewater from processing unit and reduced cost of building an addition wastewater treatment. The value of EQ tank and sediment tank were 4.375 MB, when compared with tube settler installation was 955,000 Bath that can be reduce cost 78.17%. And 3) the consideration of economic efficiency in term of benefit/cost ratio was higher than 1, this research was presented 17.07, net present value was 21,514,491.51, internal rate return was 77.89%, and payback period was 9 months 4 days.

The body knowledge gain from the research was found that this research was suitable for investment and suitable for other industry or wastewater system that need to increased wastewater treatment efficiency. There are several wastewater treatments that should be selected the suitable for type of wastewater from source. The suitable of wastewater treatment system can be able to wastewater utilization or water release to environment and chemical cost decreasing.

Keywords: Tube Settler, Physical Sedimentation, Chemical Sedimentation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์การเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง โดยประยุกต์ใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือแนะนำของท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนัสพรรัศม์ สวัสดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.ศศิธร หาสิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้กรุณาที่ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตรวจสอบ และแก้ไขร่างวิทยานิพนธ์ และศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาล ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้แนะนำหลักคิดแนวทางที่สามารถต่อยอดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์ ที่ให้เกียรติเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสา พักตร์วิไล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ท้ายนี้ผู้เขียนขอน้อมรำลึกถึงอำนาจบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้เขียนมีสติปัญญาในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอให้เป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่คุณบิดามารดา ครอบครัวของผู้เขียน ครู อุปัชฌาจารย์ ตลอดจนผู้เขียนตำรา หนังสือเรียน และบทความและอุปสรรคปัญหาในงานจริงด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้เขียนจนดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

วัฒนา หงษี

GRAD VRU

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 กรอบแนวคิด 3

1.4 ขอบเขตการศึกษา 4

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment System) 6

2.2 จุลินทรีย์ (Microorganisms) ที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสีย 13

2.3 การตกตะกอน (Sedimentation) 14

2.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) 18

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 24

3.1 การดำเนินการวิจัย 24

GRAD VRU

3.2 วัสดุสำหรับการดำเนินการวิจัย 24
3.3 การออกแบบวิธีการทดลอง 27
3.4 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 34
4.1 การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี 34
4.2 การตกตะกอนโดยใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ร่วมกับการใช้สารเคมี 37
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตกตะกอนระหว่างการใช้สารเคมีและการใช้สารเคมีร่วมกับแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ 42
4.4 การเสนอแนะความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนสำหรับการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง 46
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 49
5.1 สรุปผลการวิจัย 49
5.2 อภิปรายผลการวิจัย 49
5.3 ข้อเสนอแนะ 51
บรรณานุกรม 52
ภาคผนวก 55
ภาคผนวก ก ภาพประกอบการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ 56
ภาคผนวก ข ข้อมูลการคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์ 59
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 73
ประวัติผู้วิจัย 75

GRAD VRU

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม 7

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NPV BCR และ IRR 20

ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

ตารางที่ 4 ข้อมูลด้านเทคนิคแผ่นเร่งตกตะกอนทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler Technical Information) Model: Bio H-80 (0.5 x 1.0 x 0.8) 25

ตารางที่ 5 การออกแบบวิธีการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย 27

ตารางที่ 6 แสดงระยะเวลาการดำเนินงานตลอดระยะเวลาการวิจัย 33

ตารางที่ 7 งานวิจัยเปรียบเทียบการกำจัดความขุ่น 38

ตารางที่ 8 สรุปค่าพารามิเตอร์วิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละบ่อบำบัดที่เกี่ยวข้องในระบบบำบัด 40

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลการรองรับน้ำเสีย และอัตราการไหลจากกระบวนการผลิต 41

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของน้ำจากบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ก่อนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ 45

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพของน้ำจากบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) หลังติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ 46

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลต้นทุนการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างการใช้สารเคมีร่วมกับการปล่อยให้ตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง และการใช้สารเคมีร่วมกับแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ 47

ตารางที่ 13 แสดงค่าการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการ 48

GRAD VRU

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย 3

ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างตะแกรงหยาบ ตะแกรงละเอียด 9

ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างถังตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย 10

ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างระบบ Coagulation Flocculation..... 11

ภาพที่ 5 แสดงตัวอย่างกลไกการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แบบยูเอเอสบี (UASB)..... 12

ภาพที่ 6 แสดงตัวอย่างระบบบำบัดแบบใช้อากาศ แบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge: AS) 12

ภาพที่ 7 แสดงประเภทของการตกตะกอน 15

ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ 17

ภาพที่ 9 ตัวอย่างถังตกตะกอนแบบสัมผัส 18

ภาพที่ 10 ลักษณะแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (A) แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ลักษณะเป็นลอน ๆ (B) ภาพตัดด้านบนหลังแผ่นประกอบเป็นก้อนลูกบาศก์..... 25

ภาพที่ 11 (A) ลักษณะของแผ่นเมื่อประกอบเป็นก้อน (B) ลักษณะก้อนที่ประกอบแล้วมีช่องหรือรูหลอดคล้ายรังผึ้ง 26

ภาพที่ 12 ลักษณะทิศทางการไหลของน้ำและการวางมองด้านข้างจะมีมุมเอียงที่ 60 องศา (55-60 องศา) 26

ภาพที่ 13 สรุปการดำเนินการวิจัย 32

ภาพที่ 14 ไดอะแกรมระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์..... 35

ภาพที่ 15 ไดอะแกรมระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน..... 37

ภาพที่ 16 แสดงบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ที่ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์..... 42

ภาพที่ 17 แสดงค่าความขุ่นเข้าระบบ น้ำในบ่อเติมอากาศ ถังตะตะกอนที่ไม่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์และถังตกตะกอนที่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์..... 42

GRAD VRU

ภาพที่ 18 แสดงค่าของแข็งทั้งหมดในน้ำเข้า น้ำในบ่อเติมอากาศ ถังตะตะกอนที่ไม่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ และถังตกตะกอนที่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ 43

ภาพที่ 19 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเข้า น้ำในบ่อเติมอากาศ ถังตะตะกอนที่ไม่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ และถังตกตะกอนที่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ 44

ภาพที่ 20 แสดงค่าซีโอดีของน้ำขาเข้า น้ำในบ่อเติมอากาศ ถังตะตะกอนที่ไม่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ และถังตกตะกอนที่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ 45

ภาพที่ 21 ลักษณะน้ำเสียที่เก็บมาจากบ่อในระบบบำบัดน้ำเสีย ดังนี้ (A) ตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อพักก่อนเข้าระบบ; (B) ตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อเติมอากาศ; (C) ตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ที่ไม่ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์; (D) ตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ที่ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ 46

GRAD VRU

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีการนำของเสียมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นการนำของเสียจากภาคการเกษตรมาใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตพลังงาน การนำน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลังงาน รวมถึงการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ภายในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเหล่านี้ถือได้ว่าเป็นการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ และการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า โดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมมีความต้องการใช้น้ำในหลายส่วน เช่น การใช้น้ำในกระบวนการผลิต การใช้น้ำในกระบวนการหล่อเย็น การใช้น้ำในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และการใช้น้ำในกระบวนการบำบัดอากาศเสีย เป็นต้น (รติมา คชนันทน์, 2562) ซึ่งถือเป็นการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณมาก ส่งผลให้ต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อการนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดกลับมาใช้ใหม่ (Wastewater Recycling/ Reuse) ซึ่งการนำน้ำเสียผ่านกระบวนการบำบัดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่นั้นถือเป็นการจัดการน้ำเสียที่รองรับระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ซึ่งเป็นแนวคิดของการหมุนเวียนนำทรัพยากรมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจนครบเกิดเป็นวงจรตั้งแต่ภาคการผลิต การบริโภค ไปจนถึงการจัดการของเสียด้วยกระบวนการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ และการผลิตใหม่ นำไปสู่ความยั่งยืนทั้งระบบ Durdevic, Blecich, & Juric (2019)

โดยส่วนใหญ่ระบบบำบัดน้ำเสียนั้นจะเน้นการบำบัดเพื่อให้ได้ผลการบำบัดที่สามารถปล่อยน้ำทิ้งออกจากระบบได้ แต่ประเด็นใหญ่คือระบบบำบัดน้ำเสียในภาคอุตสาหกรรมการผลิตที่มีการใช้น้ำเป็นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์หรือใช้ชะล้างจะมีน้ำเสียออกมาเป็นจำนวนมากต่อวันและต้องการพื้นที่สร้างหรือวางระบบบำบัดมากพอสมควร หากมีการเพิ่มกระบวนการผลิตก็อาจจะต้องปรับโครงสร้างระบบบำบัดน้ำเสียหรือสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพิ่มอีกหนึ่งระบบในการรองรับการใช้น้ำ ซึ่งต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างมากพอสมควรตามอัตราของการใช้น้ำ เป็นปัญหาของทางโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องประสบปัญหาอยู่ ซึ่งปัจจุบันมีการแนวความคิดรณรงค์พัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียภายในโรงงานอุตสาหกรรมให้มีลดใช้พื้นที่และลดการใช้ทรัพยากรในการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment) เพื่อการประหยัดหรือลดการใช้น้ำสะอาดให้กิจกรรมที่ไม่จำเป็น (Reduce) การวนน้ำกลับมาใช้ซ้ำ (Water Recycle) การพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียภายในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายเทคนิค เช่น การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ รวมไปถึงการปรับปรุงเทคนิคบางส่วนของระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหนึ่งในเทคนิคที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพสำหรับการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย คือ การใช้แผ่นเร่งตกตะกอน หรือ “ทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler)”เป็นการกำจัดความขุ่นในน้ำเสียก่อนการวนน้ำเสียกลับเข้าไปใช้ซ้ำในโรงงานอุตสาหกรรม ทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์จะใช้วัสดุที่เป็นแผ่นพีวีซี โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) ประกอบกันให้เป็นก้อนในรูปทรงที่เป็นลูกบาศก์แล้วมีลักษณะเป็นรู 6 เหลี่ยมหลาย ๆ รู ลักษณะคล้ายรังผึ้ง ทะลุจากด้านล่างสู่ด้านบนของทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ โดยมีมุมเอียงที่ 60 องศา ซึ่งออกแบบเอาไว้บังคับทิศทางการไหลของน้ำ วางขวางทางน้ำ

GRAD VRU

ล้นในบ่อตกตะกอนน้ำเสีย (Sediment) ในระดับความสูงที่ 75 ถึง 80 % ของความสูงของบ่อหรือถังตกตะกอน ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลน้ำ ตะกอนที่มีน้ำหนักเมื่อไหลมากับมวลน้ำถูกบังคับให้ไหลขึ้นในทิศทางที่มีความเอียงที่ 60 องศา จะทำให้ตะกอนเดินทางช้าลงจะมีเฉพาะน้ำที่ใสเท่านั้นที่จะไหลและเพิ่มระดับสูงขึ้นตามแรงดันของปั๊มและล้นผ่านออกไปสู่แผ่นกั้น เวียร์ (Wier) ไหลสู่รางน้ำล้นและออกสู่ถังหรือบ่อรับน้ำใส ส่วนมวลตะกอนที่มีน้ำหนักเมื่อไหลไปกับน้ำเข้าสู่รู 6 เหลี่ยมของแผ่นเร่งตะกอนก็จะชนกับแผ่นเร่งตะกอนที่เป็นขอบด้านบนของรูทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler) แล้วม้วนตัวลงสู่ขอบด้านล่างของรูและไหลย้อนทิศทางการไหลของน้ำด้วยอาศัยน้ำหนักของตะกอนเองจมลงสู่ก้นถังหรือบ่อตกตะกอน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554) และจะช่วยให้ได้ปริมาณน้ำใสออกจากระบบได้มากขึ้นกว่าเท่าตัวและผลพลอยได้คือประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนค่าน้ำยาเคมีเร่งการตกตะกอน (Liquid Flocculants) หากมีการเพิ่มการผลิตในอนาคตจึงไม่จำเป็นต้องขยายหรือสร้างบ่อตกตะกอนเพิ่ม นำไปสู่การพัฒนาศักยภาพและเสถียรภาพในระบบบำบัดน้ำเสีย และสามารถนำน้ำใสที่ล้นจากบ่อหรือถังตกตะกอนวนกลับมาใช้ซ้ำในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำแผ่นเร่งตกตะกอน เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ นำไปสู่การรองรับระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) อย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแบบเดิมในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง

1.2.2 เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

1.2.3 เพื่อเสนอแนะความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์สำหรับการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง

GRAD VRU

1.3 กรอบแนวคิด

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ดังภาพที่ 1 เพื่อสนับสนุนการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม อีกทั้งยังใช้ทรัพยากรให้เป็นประโยชน์และคุ้มค่ามากที่สุด

ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

1.4 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยเป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ เพื่อให้น้ำที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียมีความใสและสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยในงานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการ ศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง ซึ่งเป็นวิธีการใช้สารเคมีในการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว จากนั้นทดลองนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ช่วยในการตกตะกอนทดแทนการใช้สารเคมี ซึ่งการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface Area) วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพก่อนและหลังการใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ดังนี้ ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่าซีโอดี (Chemical Oxygen demand: COD) เปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี และการตกตะกอนโดยใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler) ขั้นสุดท้ายนำข้อมูลที่ได้ไปใช้สำหรับการเสนอแนะความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เพื่อการประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) เป็นถังที่สร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม เป็นที่พักน้ำเสียให้เกิดการตกตะกอนโดยมีการปล่อยระยะเวลาไว้ให้ของแข็งจมลงสู่ก้นถัง

การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Sedimentation) เป็นการตกตะกอนน้ำเสียที่ใช้สารเคมีเป็นตัวช่วยในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้น้ำเสียมีความสกปรกลดลง และใสขึ้น

การตกตะกอนทางกายภาพ (Physical Sedimentation) เป็นการตกตะกอนน้ำเสียที่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน

ทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler) เป็นแผ่นที่ทำจากวัสดุพีวีซี โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) พื้นผิวมีลักษณะเป็นผิวเรียบด้านที่รับน้ำหนักตะกอนอยู่ด้านล่างของช่องรังผึ้งหรือหลอด ผิวขรุขระสำหรับด้านที่เร่งการจับตัวของตะกอนอยู่ด้านบนเพื่อให้ตะกอนได้มีพื้นที่ผิวได้เกาะติดรวมตัวกัน โดยตัวแผ่นเอียงทำมุม 60 องศา ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง เป็นน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ ซึ่งยังมีตะกอน ความขุ่น และยังมีค่าความสกปรกในรูปซีโอดีที่ยังไม่ได้ตามกฎหมายกำหนด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถนำวิธีการประยุกต์ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เร่งตะกอนกำจัดความขุ่นในน้ำเสียนำไปสู่การใช้ประโยชน์ได้จริงและช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรแหล่งน้ำเพิ่มมูลค่าของน้ำเสีย น้ำทิ้ง ให้ยังคงสามารถหมุนเวียนใช้ในระบบได้อย่างคุ้มค่าต่อการลงทุนในสถานประกอบการของภาคอุตสาหกรรม

1.6.2 เพิ่มศักยภาพของระบบบำบัดน้ำเสียให้มีเสถียรภาพมั่นใจในการควบคุมบำบัดที่จะนำกลับมาใช้ซ้ำและยังช่วยสร้างมูลค่าของบุคลากรที่เฝ้าติดตาม ตรวจสอบ ดูแลบำรุงรักษาได้อย่างเต็มภาคภูมิ

1.6.3 ยกระดับขีดความสามารถของสถานประกอบการในการที่จะสามารถรองรับการขยายการผลิตในอนาคตได้ โดยไม่ต้องลงทุนเพิ่มในการสร้างหรือขยายระบบบำบัดเพิ่มขึ้นอีก

1.6.4 นำองค์ความรู้ที่ได้เผยแพร่ต่อสาธารณะประโยชน์ให้สอดคล้องกับนโยบายกิจกรรมเพื่อสังคมเป็นจุดศึกษาดูงานและจิตอาสาเชิงวิชาการไปประยุกต์ใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมในสถานประกอบการอื่น ๆ ตอบสนองการรณรงค์อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้

GRAD VRU

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษา “การเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์” ผู้วิจัยได้ศึกษาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจริงตรวจเอกสารงานวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัย ดังนี้

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment System)

2.2 จุลินทรีย์ (Microorganisms) ที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสีย

2.3 การตกตะกอน (Sedimentation)

2.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment System)

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์จากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ทั้งในชีวิตประจำวันอุปโภค บริโภคและการประกอบอาชีพ แหล่งกำเนิดน้ำเสียสามารถจำแนกออกได้ 3 ประเภท คือ น้ำเสียจากชุมชนรวมไปถึงโรงแรมที่พักอาศัยของการธุรกิจท่องเที่ยว ร้านค้า การอุปโภคบริโภค การชำระล้างร่างกาย การขับถ่าย และการซักล้าง เป็นต้น น้ำเสียจากการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง ความสกปรกขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม โดยส่วนใหญ่น้ำเสียจากอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการล้างวัตถุดิบ การล้างเครื่องจักรอุปกรณ์ต่าง ๆ การระบายความร้อน รวมถึงกิจกรรมอื่น ๆ ภายในโรงงาน และน้ำเสียที่เกิดจากภาคการเกษตรกรรมเป็นน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากพื้นที่เพาะปลูก เลี้ยงสัตว์ โดยส่วนใหญ่จะเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง รวมถึงสารเคมีที่มาจากปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยากำจัดศัตรูพืช เป็นต้น ทำให้น้ำมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ เจือปนมาในปริมาณสูงจนกระทั่งเป็นน้ำมีคุณลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการและน่ารังเกียจสำหรับคนทั่วไป เป็นมลพิษทางทัศนียภาพ ในบางแหล่งอาจจะส่งกลิ่นเหม็นให้เป็นที่เดือดร้อนรำคาญและก่อให้เกิดผลเสียหายต่อนิเวศสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบ ๆ ข้างได้ (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

GRAD VRU

2.1.1 น้ำทิ้ง (Effluent / Treated Wastewater)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2560 ให้ความหมายคำว่า “น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน น้ำจากการใช้น้ำของคนงาน หรือน้ำจากกิจกรรมอื่นในโรงงานที่จะระบายออกจากโรงงาน หรือเขตประกอบการอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานค่าควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในตามประกาศดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม

ลำดับที่	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน สูงสุด (ไม่เกิน)
1	ค่าความเป็นกรด-ด่าง pH	-	5.5 – 9.0
2	อุณหภูมิ (Temperature)	C	40
3	สี (Color)	ADMI	300
4	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids หรือ TDS) มีค่าดังนี้		
	(1) กรณีระบายลงแหล่งน้ำ ต้องไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	mg/l	3,000
	(2) กรณีระบายลงแหล่งน้ำที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเกินกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำทิ้งที่จะระบายได้ ต้องมีค่าเกินกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในแหล่งน้ำนั้นไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	mg/l	5,000
5	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids)	mg/l	50
6	บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)	mg/l	20
7	ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)	mg/l	120
8	ซัลไฟด์ (Sulfide)	mg/l	1.0
9	ไซยาไนด์ (Cyanides CN)	mg/l	0.2
10	น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)	mg/l	5.0
11	ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	mg/l	1.0
12	สารประกอบฟีนอล (Phenols)	mg/l	1.0
13	คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	mg/l	1.0
14	สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticide)	-	ต้องตรวจไม่พบ
15	ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen	mg/l	100

GRAD VRU

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับที่	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน สูงสุด (ไม่เกิน)
16	โลหะหนัก มีค่าดังนี้		
	1. สังกะสี (Zn)	mg/l	5.0
	2. โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ (Hexavalent Chromium) Cr6+	mg/l	0.25
	3. โครเมียมไตรวาเลนท์ (Trivalent Chromium) Cr3+	mg/l	0.75
	4. สารหนู (As)	mg/l	0.25
	5. ทองแดง (Cu)	mg/l	2.0
	6. ปรอท (Hg)	mg/l	0.005
	7. แคดเมียม (Cd)	mg/l	0.03
	8. แบเรียม (Ba)	mg/l	1.0
	9. ซีลีเนียม (Se)	mg/l	0.02
	10. ตะกั่ว (Pb)	mg/l	0.2
	11. นิกเกิล (Ni)	mg/l	1.0
	12. แมงกานีส (Mn)	mg/l	5.0

ที่มา: ราชกิจจานุเบกษา (2560)

ระบบบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การรวบรวมการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ ให้ทำงานต่อเนื่องและสอดคล้องกันเป็นระบบ เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม หรือเกิดจากการประกอบอาชีพต่าง ๆ และกิจวัตรประจำวันของประชาชนที่อยู่อาศัยในชุมชนให้หมดไป หรือมีปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำลดลงจนมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง และระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) ระบบบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ (Physical Treatment)

ระบบบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ เป็นขั้นตอนแรกของการเตรียมน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียให้เหมาะสมสำหรับขั้นตอนถัดไป โดยการแยกอนุภาคของสสารและสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำออกส่วนใหญ่เป็นการกำจัดของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ที่สามารถตกตะกอนได้ง่าย กำจัดก้อนไขมันและน้ำมัน (Oil and Grease Removal) ทั่วไปแล้วจะอยู่ในขั้นตอนแรกของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยระบบบำบัดน้ำเสียทางกายภาพมีดังนี้ ตะแกรงดักของแข็ง (Screening) การกวาดตะกอน (Skimming) การทำให้ลอยตัว (Flotation) การตกตะกอน (Sedimentation) การกรอง (Filtration) เป็นต้น (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

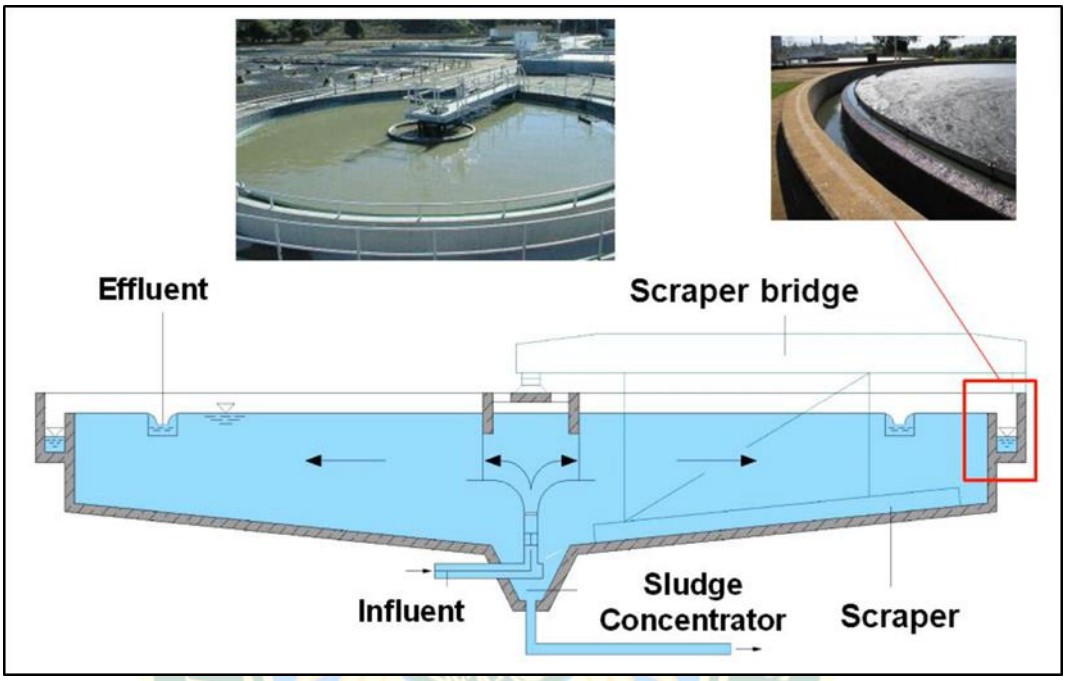
- ตะแกรงหยาบ และตะแกรงละเอียด (Screen) ใช้ในการดักสิ่งของที่มีขนาดใหญ่ก่อนเข้าระบบ (ภาพที่ 2) บำบัดน้ำเสีย เช่น ถุงพลาสติก ใบไม้ เศษผ้า เป็นต้น โดยตะแกรงจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันของระบบ

ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างตะแกรงหยาบ ตะแกรงละเอียด
ที่มา: Zaher (2019)

- ถังดักกรวดทราย (Grit Chamber) ถังดักกรวดทรายจะถูกออกแบบให้ดักจับกรวดทรายในน้ำเสียที่ไหลผ่าน และตกลงสู่ก้นถังที่ถูกออกแบบเฉพาะให้มีลักษณะเป็นกรวยหรือช่องสอบเข้าเพื่อดักกรวดทรายออกจากน้ำเสีย โดยใช้หลักการแรงโน้มถ่วงให้เศษกรวดทรายที่หนักตกลงสู่ก้นบ่อ

- ถังดักไขมันและน้ำมัน (Oil and Grease Trap) น้ำเสียหลายประเภทนั้นจะมีน้ำมันหรือไขมันปนอยู่ด้วย เนื่องจากไขมันหรือน้ำมันมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำจึงลอยตัวอยู่เหนือน้ำ เสียส่วนใหญ่จะมีอุณหภูมิ 50 – 80 องศาเซลเซียส ทำให้ไขมันและน้ำมันที่ปนมากับน้ำเสียผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้การแยกไขมันต้องทำให้น้ำลดอุณหภูมิลงสู่อุณหภูมิปกติ จึงจะแยกไขมันไปกำจัดได้

- ถังตกตะกอน ของแข็งหรือสารแขวนลอยที่ผ่านตะแกรงมาได้ จะถูกบำบัดออกด้วยถังตกตะกอนซึ่งมีลักษณะเป็นถังพักขนาดใหญ่ เมื่อมีน้ำเสียไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนขั้นต้น น้ำเสียจะถูกกักอยู่ในถัง 2-4 ชั่วโมง ทำให้ของแข็งที่แขวนลอยอยู่มีเวลาตกตะกอนลงสู่ก้นถัง น้ำเสียที่ไหลออกไปจึงมีสารแขวนลอยเหลือน้อยลง (ภาพที่ 3)

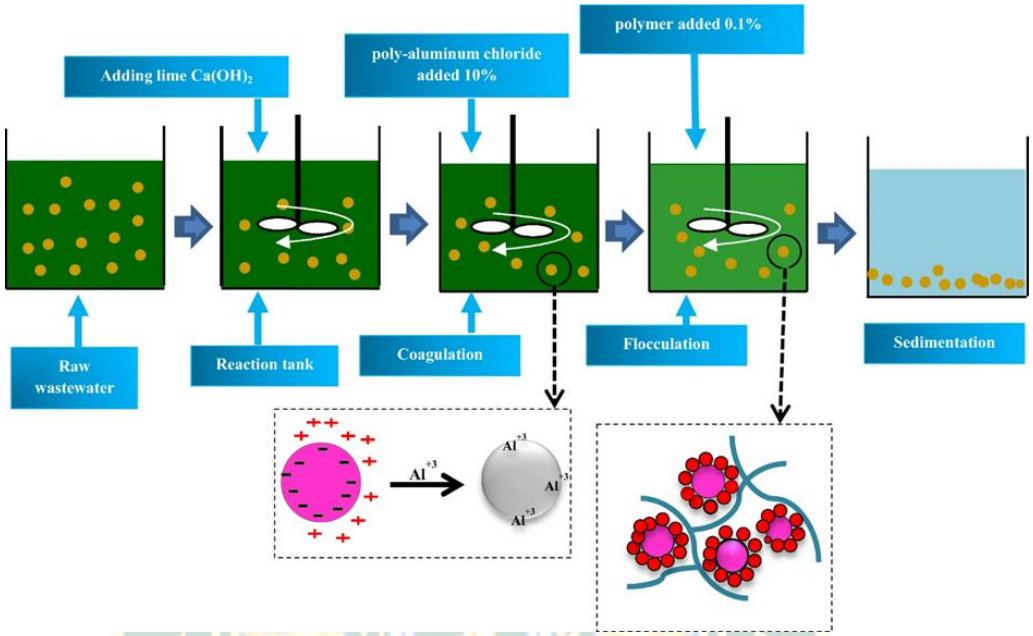


ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างถังตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย
ที่มา: Segthai (2020)

2) ระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Treatment)

ระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมี เป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนมากับน้ำเสียที่มักจะอยู่ในรูปของสารละลายน้ำหรือแขวนลอยที่ตกตะกอนด้วยตนเองได้ช้าและโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์สาร เคมีที่ใช้จะช่วยเร่งแยกสิ่งเจือปนมากับน้ำเสียออกมาให้เร็วขึ้น และยังเป็นการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้เหมาะสมก่อนการปล่อยออกสู่ธรรมชาติ ซึ่งถือเป็นการเตรียมน้ำเสียให้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะบำบัดในขั้นตอนต่อไป วิธีการบำบัดทางเคมีมีหลายลักษณะ เช่น การใช้เคมีทำให้เป็นกลาง (Neutralization) การทำให้ตกตะกอน (Precipitation) การสร้างรวมตะกอน (Coagulation-Flocculation) และปฏิกิริยาออกซิเดชั่น รีดักชั่น (Oxidation-Reduction) น้ำเสียจะถูกบำบัดด้วยเคมีให้มีสภาพที่เหมาะสม รวมถึงแยกสารพิษออกก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบบำบัดทางชีวภาพ (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

- การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี (Coagulation-Flocculation) เป็นการใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอน โดยเติมสารเคมี Coagulant เพื่อเปลี่ยนสถานะทางกายภาพของของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดเล็ก ให้รวมกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า Flocculation (ภาพที่ 4)



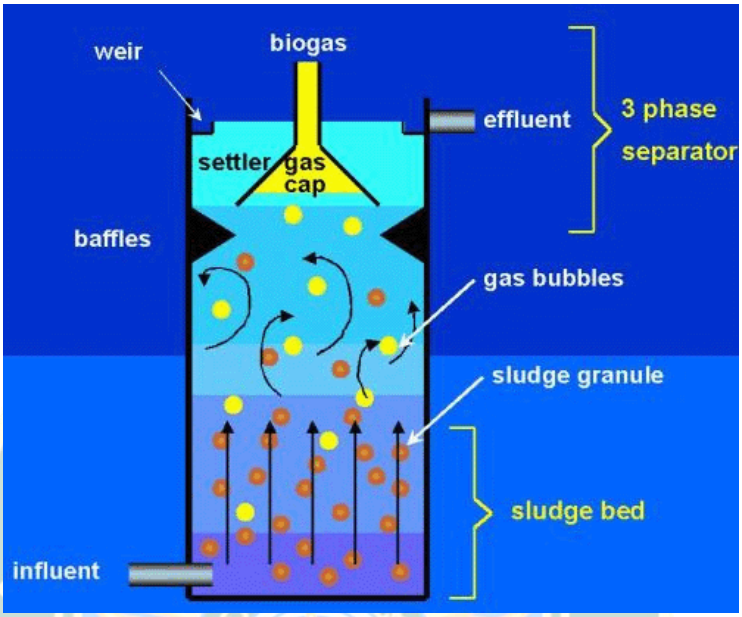
ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างระบบ Coagulation Flocculation
ที่มา: Mahmudabadi et al. (2018)

- การใช้เคมีทำให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นการปรับสภาพค่าพีเอชให้อยู่ในสภาพที่เป็นกลาง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมที่จะส่งต่อไปสู่การบำบัดน้ำเสียขั้นอื่นต่อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ต้องมีค่าพีเอชที่ 6.5-8.5 จึงมีความเหมาะสมและเกิดการบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological Treatment)

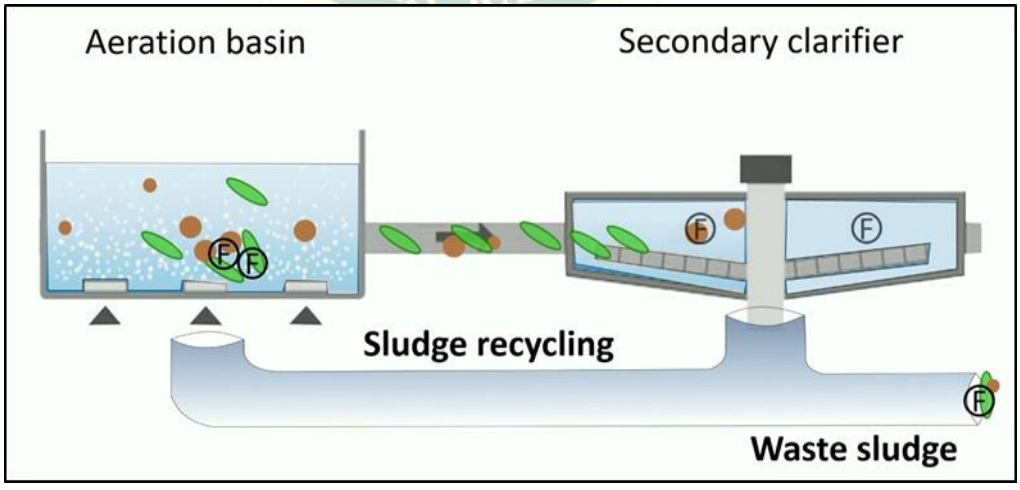
ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีววิทยาของสิ่งมีชีวิตซึ่งอาจจะเป็นจุลินทรีย์ (Microorganisms) หรือพืชช่วยลดมลพิษในน้ำเสีย กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการหลัก ๆ คือ การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไร้อากาศ (Anaerobic Treatment) และการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้อากาศ (Aerobic Treatment) (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557) ซึ่งโดยหลักการที่ต้องใช้สิ่งมีชีวิตซึ่งอาจจะเป็นจุลินทรีย์ (Microorganisms) หรือพืชช่วยลดมลพิษในน้ำเสีย จึงมีความจำเป็นต้องจัดระเบียบและเงื่อนไขให้กับสิ่งมีชีวิตดำรงชีวิตอยู่ เจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ โดยมีเงื่อนไขและองค์ประกอบสำหรับการดำรงชีพที่จะต้องจัดเตรียมดังนี้ ป้องกันการเติมหรือให้มีสารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ (Microorganisms) ชนิดนั้น ๆ ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม มีอาหารหรือป้อนน้ำเสียเข้าระบบบำบัดพร้อมควบคุมค่าพีเอชที่เหมาะสม

- การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไร้อากาศ (Anaerobic Treatment) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้แบคทีเรียไม่ใช้อากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ระบบที่นิยมได้แก่ ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter: AF) คัฟเวอร์ลากูน (Covered Lagoon) ยูเอเอสบี (UASB) (ภาพที่ 5) เป็นต้น



ภาพที่ 5 แสดงตัวอย่างกลไกการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แบบยูเอเอสบี (UASB)
ที่มา: บริษัท เนทเวอร์คกิ้ง เทคโนโลยี (ไทยแลนด์) จำกัด (2552)

- การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้อากาศ (Aerobic Treatment) จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียใช้อากาศ ดังนั้นจะมีการเติมอากาศตลอดเวลา เพื่อให้แบคทีเรียในระบบบำบัดทำงาน โดยระบบที่นิยมได้แก่ แอคติเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge: AS) บ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon)



ภาพที่ 6 แสดงตัวอย่างระบบบำบัดแบบใช้อากาศ แบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge: AS)
ที่มา: Schmitz (2019)

2.2 จุลินทรีย์ (Microorganisms) ที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสีย

ในระบบบำบัดน้ำเสียมีกลุ่มจุลินทรีย์ด้วยกันหลายกลุ่ม ซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์หลักนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาวะ และลักษณะน้ำเสีย กลุ่มจุลินทรีย์สามารถแบ่งได้ดังนี้ (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557; กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา, 2561)

2.2.1 แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นเซลล์เดียว ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าซึ่งโดยทั่วไปแบคทีเรียจะมีขนาดตั้งแต่ 0.0003-0.05 มิลลิเมตร มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน และบางชนิดอาจมีเส้นขนเล็ก ๆ ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ การแพร่พันธุ์ของแบคทีเรียเป็นการแพร่พันธุ์แบบเท่าทวีคูณ (Binary Fission) แต่เมื่อแบคทีเรียอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่นอุณหภูมิสูงเกินไป ค่าความเป็นกรดด่างสูงหรือต่ำไป จะส่งผลให้แบคทีเรียบางชนิดมีการสร้าง Endospore เพื่อให้เป็นการพักตัวหรือหยุดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย การแบ่งประเภทของแบคทีเรียนั้นมีหลายระบบสามารถแบ่งได้ตามความต้องการอาหาร ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึม ซึ่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มรายละเอียด ดังนี้

2.2.1.1 โฟโตลิโทออโตโทรฟ (Photolithoautotrophs) เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งอิเล็กตรอน และใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งกลุ่มนี้เป็นกลุ่มของไซยาโยแบคทีเรียและสาหร่าย รวมถึงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีเขียวที่สะสมซัลเฟอร์

2.2.1.2 โฟโตออแกโนเฮ็ตเทอโรโทรฟ (Photoorganoheterotrophs) เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์ และใช้สารอินทรีย์เป็นทั้งแหล่งอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอน แบคทีเรียกลุ่มนี้ คือ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีเขียวที่ไม่สะสมซัลเฟอร์ และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงไม่สะสมซัลเฟอร์

2.2.1.3 เคโมลิโทออโตโทรฟ (Chemolithoautotrophs) เป็นแบคทีเรียที่ได้พลังงานจากการออกซิเดชั่นของสารอนินทรีย์ เช่น H_2S, NH_4, H_2 ใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งอิเล็กตรอน และใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนในการสร้างโพรโตพลาสซึม โดยตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่มนี้ คือ Hydrogen Oxidizing Bacteria, Ammonium Oxidizing Bacteria, Methanogenic Bacteria, Sulphur Oxidizing Bacteria เป็นต้น

2.2.1.4 เคโมออแกโนเฮ็ตเทอโรโทรฟ (Chemoorganoheterotrophs) หรือ เฮ็ตเทอโรโทรฟ (Heterotrophs) เป็นแบคทีเรียที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน ถือได้ว่าเป็นกลุ่มที่พบมากที่สุดในสิ่งแวดล้อม และมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ทั้งในระบบธรรมชาติและระบบการบำบัดของเสีย

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งกลุ่มของแบคทีเรียตามความต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิตได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

1) แอนแอโรบิคแบคทีเรีย (Anaerobic Bacteria) คือ กลุ่มของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน สามารถเจริญได้ในสภาวะที่ไม่มีอากาศ หรือไม่มีออกซิเจนเท่านั้น ออกซิเจนถือได้ว่าเป็นพิษต่อเซลล์ของแบคทีเรียกลุ่มนี้ แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

- แอโรโทเลอร์แรนต์แอนแอโรบ (Aerotolerant Anaerobe) เจริญได้ดีในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนจะไม่ตาย แต่จะลดการเจริญเติบโตลง

GRAD VRU

- ออบลิเกตแอนแอโรบ หรือ สทริกแอนแอโรบ (Obligate Anaerobe หรือ Strict Anaerobe) เจริญได้เฉพาะในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และตายถ้าหากเกิดการสัมผัสกับออกซิเจน เช่น *Methanobacterium*

2) แอโรบิคแบคทีเรีย (Aerobic Bacteria) คือ แบคทีเรียที่ต้องการใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต เพื่อการหายใจ (Respiration) แบคทีเรียกลุ่มนี้ เจริญได้ในภาวะที่มีอากาศ หรือมีออกซิเจน เท่านั้น

3) แฟคัลเททีฟแบคทีเรีย (Facultative Bacteria) เป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน แต่เจริญได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจน เช่น *Enterococcus* และ *Saccharomyces cerevisiae*

2.2.2 สาหร่าย (Algae) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสีย สาหร่ายอาจเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์รวมอยู่ อย่างไรก็ตามหากพบสาหร่ายในน้ำเสียหรือแหล่งน้ำธรรมชาติมากเกินพอจะส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) ซึ่งเป็นผลเสียต่อแหล่งน้ำ บดบังไม่ให้ออกซิเจนละลายลงสู่แหล่งน้ำได้ ทำให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำ

2.2.4 รา (Fungi) เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิต Eukaryote ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีนิวเคลียส และมีโครโมโซมเป็นแท่ง กลุ่มราที่โดดเด่น คือ ยีสต์ (Yeast) ซึ่งมีประโยชน์สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียเช่นกัน

2.2.5 โปรโตซัว (Protozoa) พบได้ในแหล่งน้ำเสีย หรือน้ำที่มีความสกปรกไม่สูงมากนัก คือ น้ำเสียที่ยังมีออกซิเจนละลายน้ำ เนื่องจากโปรโตซัวยังต้องการออกซิเจนและอาศัยแบคทีเรียเป็นแหล่งอาหาร

2.2.6 ไวรัส (Virus) เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่อย่างอิสระ จำเป็นต้องอาศัยการเกาะอยู่กับสิ่งมีชีวิตอื่น เรียกว่า Host ซึ่งจะเป็นได้ทั้งเซลล์พืช สัตว์ หรือมนุษย์ ซึ่งชนิดของไวรัสที่พบปนเปื้อนในน้ำเสียสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ได้ถึงแหล่งที่มาของน้ำเสีย

2.3 การตกตะกอน (Sedimentation)

การตกตะกอนเป็นกระบวนการแยกอนุภาคของแข็งที่แขวนลอย (Suspended Solid) ที่มีขนาดใหญ่ออกจากของเหลว โดยการกักของเหลวไว้ระยะหนึ่งในถังหรือบ่อตกตะกอน (Sedimentation Tank) เพื่อลดความเร็วในการไหลของของไหลจนกระทั่งอนุภาคดังกล่าวสามารถถูกแยกออกด้วยแรงโน้มถ่วงโลก (Gravity Force) ในลักษณะของตะกอนที่บริเวณด้านล่างของถังหรือลักษณะลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของถัง ทั้งนี้ตะกอนที่เข้มข้นจะถูกรวบรวมและถูกแยกออกพร้อมกับของเหลวบางส่วน ในส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งไม่สามารถตกตะกอนได้ จะไหลไปกับของเหลวที่ไหลออกจากถังตกตะกอนไป (พิสุทธิ์ เพียรมนกุล, 2557)

กระบวนการตกตะกอนจะมีองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน ดังนี้

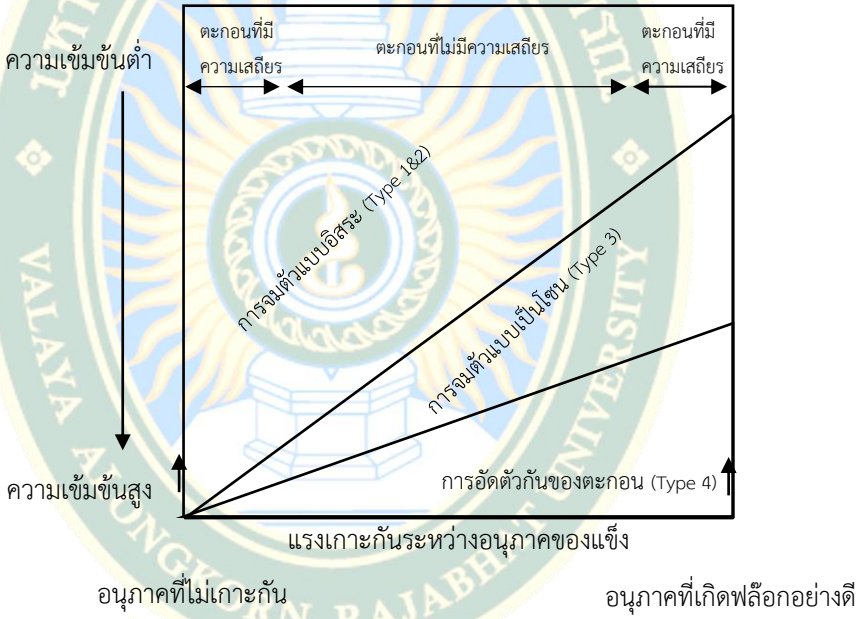
1) ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) สำหรับให้เป็นพื้นที่ในการตกตะกอน

2) ระบบป้อนสาร (Feed) และรูปแบบในการไหลของสารที่ต้องการแยก ซึ่งทำให้สามารถใช้ปริมาตรและพื้นที่ของถังอย่างมีประสิทธิภาพ

3) ระบบของไหลใสไหลล้น (Overflow) สำหรับรวบรวมของไหลใสหรือส่วนที่มีความเข้มข้นต่ำ เพื่อรวบรวมให้เกิดรูปแบบการไหลอย่างมีประสิทธิภาพ

4) ระบบถ่ายตะกอนหรือวิธีลำเลียงตะกอนที่ก้นถังหรือด้านบนของถังออกไปภายนอก เพื่อการกำจัด ซึ่งประสิทธิภาพของการตกตะกอนขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ขนาดของอนุภาค ความหนาแน่นของของไหล ความหนืดของของไหล อุณหภูมิ เป็นต้น

2.3.1 ประเภทของการตกตะกอน (Type of Sedimentation) การจมตัวของตะกอนหรือสิ่งสกปรกสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ตามระดับความเข้มข้นและลักษณะสมบัติของอนุภาคแขวนลอย ดังภาพที่ 7 (พิสุทธิ์ เพียรมนกุล, 2557)



ภาพที่ 7 แสดงประเภทของการตกตะกอน
ที่มา: ดัดแปลงจาก พิสุทธิ์ เพียรมนกุล (2557)

GRAD VRU

- การตกตะกอนประเภทที่ 1 (Free Setting) เป็นการตกตะกอนแบบโดด หรือแบบอิสระ จะไม่มีการรวมกับอนุภาคอื่น ๆ ในการตกตะกอน ได้แก่ตะกอนที่การจมตัวของอนุภาคไม่จับตัวกัน อนุภาคแต่ละอนุภาคจะจมตัวตามลำพัง เช่น การจมตัวของเม็ดกรวด เม็ดทราย

- การตกตะกอนประเภทที่ 2 (Flocculation Setting) เป็นการตกตะกอนแบบกลุ่ม มีการเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มอนุภาค หรือฟล๊อก (Floc) โดยจะสามารถพบได้ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงนัก เช่น การตกตะกอนโดยใช้สารส้มในกระบวนการผลิตน้ำประปา หรือการตกตะกอนของอนุภาคที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี ซึ่งจะจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ให้มีน้ำหนักมาก จึงสามารถจมตัวได้

- การตกตะกอนประเภทที่ 3 (Zone Setting) เป็นการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยที่มีความเข้มข้นของตะกอนในน้ำเสียสูง โดยการตกตะกอนลักษณะนี้จะเกิดการแบ่งชั้นระหว่างตะกอนข้นกับชั้นน้ำใส เนื่องจากอนุภาคของแต่ละอนุภาคอยู่ติดกัน และตกตะกอนด้วยความเร็วเท่ากัน

ส่งผลให้เมื่อเวลาผ่านไปชั้นของตะกอนจะยุบตัวลงทำให้เกิดการเกาะตัวกันแน่นขึ้นเรื่อย ๆ การตกตะกอนประเภทนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (Activated Sludge: AS) ได้

- การตกตะกอนประเภทที่ 4 (Compression Settling) เป็นการตกตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตะกอนสูงมากจนตะกอนเกาะกันแน่น ซึ่งมักเกิดขึ้นที่ก้นถังตกตะกอน โดยจะเกิดการอัดตัวของอนุภาคตะกอนที่ทับถมกันเนื่องจากน้ำหนัก นอกจากนี้การตกตะกอนประเภทนี้อาจถือได้ว่าเกิดขึ้นหลังจากการตกตะกอนแบบอื่น ซึ่งชั้นตะกอนจะอัดแน่นและมีปริมาตรลดลงเนื่องจากแรงอัดที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของตะกอน การประยุกต์ใช้งานการตกตะกอนประเภทนี้ ได้แก่ การทำข้นสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย และการเพิ่มความเข้มข้นหรือความบริสุทธิ์ของสารที่ต้องการแยกสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่

2.3.2 ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank or Clarify Tank)

ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank or Clarify Tank) คือ มีลักษณะเป็นถังหรือบ่อที่สร้างด้วยโลหะเหล็กหรือ สแตนเลสและสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก อาจจะมีรูปร่างเป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมก็ได้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบและผลิต ซึ่งจะมีคุณสมบัติเป็นที่พักน้ำเสียให้ได้สัมผัสกับเคมีสร้างตะกอนทั้งนี้อาจจะมีการติดตั้งมอเตอร์รอบต่ำเพื่อกวนให้น้ำเสียและเคมีได้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและเร่งสร้างตะกอนให้เร็วขึ้น เพื่อให้ตะกอนมีน้ำหนักและตกลงสู่ก้นถังหรือบ่อเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำใสมากที่สุดก่อนที่จะปล่อยไหลสู่ถังเติมอากาศหรือถังถังพักใสเป็นขั้นตอนต่อไป

โดยหลักการของถังตกตะกอนที่สำคัญ คือ การทำให้น้ำเคลื่อนที่ผ่านอย่างช้า ๆ อย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าตัดของถัง และมีการไหลลัดทางน้อยที่สุด เพื่อให้อนุภาคตกตะกอนออกมาได้ ซึ่งความลึกของถังตกตะกอนควรกำหนดไม่ต่ำกว่า 3 เมตร เพื่อให้สามารถเก็บตะกอนที่ก้นถัง และลดการฟุ้งกระจายของตะกอนจากก้นถัง (ทวีศักดิ์ หวังไพศาล, 2557)

2.3.2.1 รูปร่างของถังตกตะกอน

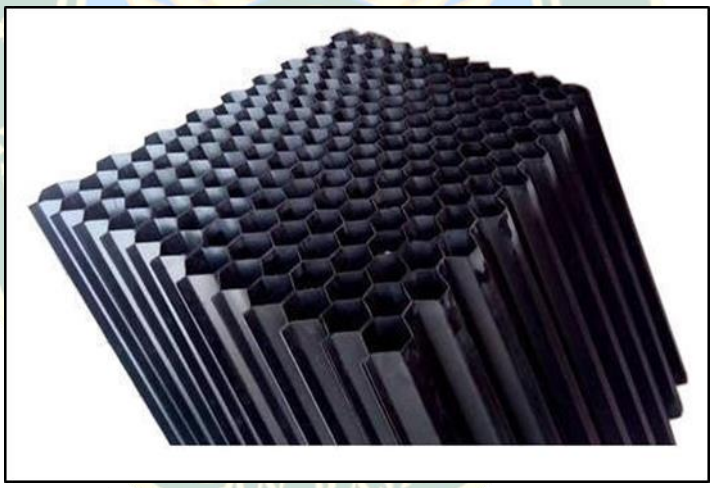
ถังตกตะกอนที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน ได้แก่ ถังวงกลม และถังสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยการเลือกลักษณะถังนั้นจะพิจารณาถึงขนาดของพื้นที่ก่อสร้าง การจัดวางโครงสร้างถัง และความประหยัดในการก่อสร้าง โดยลักษณะสำคัญของถังทั้ง 2 ประเภท (ทวีศักดิ์ หวังไพศาล, 2557) คือ

1) ถังกลม จะมีลักษณะการไหลของน้ำในแนวรัศมีของถัง โดยน้ำจะไหลเข้าบ่อกระจายน้ำซึ่งอยู่กึ่งกลางของถัง น้ำจะถูกบังคับทิศทางการไหลให้ไหลลงมาในแนวดิ่งแล้วกระจายออกไปตามแนวรัศมีไปยังขอบถัง น้ำจะไหลล้นไปยังรางรับน้ำออก ซึ่งจะรวบรวมน้ำเพื่อระบายออกจากถังตกตะกอน เมื่อน้ำไหลลอดจากบ่อกระจายน้ำออกมาสู่พื้นที่โดยรอบซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดมากขึ้น ความเร็วในการไหลจะลดลง ทำให้ตะกอนขนาดใหญ่เคลื่อนที่สวนทางกับทิศทางการไหลของน้ำ และลงสู่ก้นถังตามแรงโน้มถ่วงของโลกได้ โดยที่ก้นถังอาจมีกลไกในการกวาดตะกอน เพื่อระบายทิ้งต่อไป

2) ถังสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีลักษณะยาว และแคบ น้ำจะไหลเข้าที่ปลายด้านหนึ่งของถังและไหลตามความยาวของถัง ส่วนรับน้ำเข้าถังอาจมีผนังหรือกำแพงกระจายน้ำ เพื่อช่วยลดความเร็วในการไหลและกระจายน้ำให้ไหลเข้าถังอย่างทั่วถึงตลอดหน้าตัดของถัง ด้วยความเร็วในการไหลที่เหมาะสมจะทำให้ตะกอนสามารถเคลื่อนที่ไปตามทิศทางการไหลของน้ำ และตกลงสู่ก้นถังด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ที่ก้นถังอาจมีกลไกในการกวาดตะกอน เพื่อระบายทิ้งต่อไป

2.3.2.2 การตกตะกอนแบบท่อ (Tube Settling)

การตกตะกอนของอนุภาคโดยใช้ท่อหรือแผ่นตกตะกอนใส่เข้าในถังตกตะกอนนั้น จะช่วยให้อนุภาคที่มีความเร็วในการตกตะกอนต่ำกว่า V_0 หรืออัตราน้ำล้นผิว สามารถถูกกำจัดได้มากขึ้น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องตกตะกอนถึงพื้นถังที่แท้จริง แผ่นตกตะกอนหรือท่อตกตะกอนสามารถช่วยลดความลึกของการตกตะกอนของอนุภาค ช่วยให้การตกตะกอนมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยแผ่นตกตะกอนหรือท่อตกตะกอนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบท่อเอียงน้อย (5 องศา) และแบบท่อเอียงมาก (45-60 องศา) ซึ่งท่อเอียงน้อยจะมีข้อเสียคือมีตะกอนสะสมอยู่ภายในท่อมาก ทำให้ต้องล้างตะกอนออกบ่อย ซึ่งถังตกตะกอนแบบท่อเอียงน้อยนิยมใช้กับระบบการตกตะกอนของการผลิตน้ำประปาขนาดเล็กหรือระบบผลิตน้ำประปาสำเร็จรูป ในส่วนของท่อเอียงมากนั้น ตะกอนสามารถไหลลงมาตามท่อได้เอง ช่วยให้ตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และมีการสะสมของตะกอนน้อยกว่าแบบท่อเอียงน้อย (พิสุทธิ์ เพียรมนกุล, 2557)



ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์
ที่มา: Indiamart (2020)

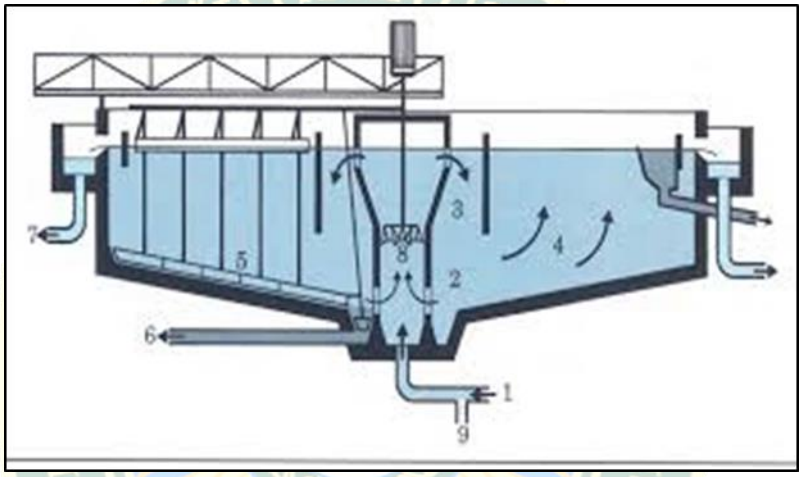
GRAD VRU

การใช้ถังตกตะกอนในประเทศไทยที่มีอากาศร้อนและแสงแดดจัดอาจมีปัญหาการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นหรือท่อตกตะกอน ทำให้เกิดปัญหาในการบำรุงรักษาและการทำความสะอาด ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถังท่อตกตะกอนจะออกแบบในลักษณะนำท่อจำนวนมากมารวมกัน จัดให้มีขนาดกระทัดรัดและทำให้เป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงโดยวางทิศทางของท่อให้เอียงสลับกันเป็นแถว (ทวีศักดิ์ วังไพศาล, 2557)

2.3.2.3 การตกตะกอนแบบสัมผัส (Solid Contact Clarifier)

ถังตกตะกอนแบบสัมผัส เป็นถังตกตะกอนที่รวมกระบวนการสร้างตะกอน การรวมตะกอน และการตกตะกอน เข้ามารวมอยู่ในถังเดียว น้ำที่ไหลออกจากถังตกตะกอนแบบสัมผัสนั้นจะถูกส่งต่อโดยตรงไปยังถังกรอง เพื่อกำจัดอนุภาคความขุ่นที่ยังเหลืออยู่ ถังตกตะกอนแบบสัมผัสสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในอัตราการไหลคงที่ และคุณภาพน้ำดิบไม่เปลี่ยนแปลงมาก

โดยถังตกตะกอนแบบสัมผัสสามารถแบ่งเป็น 2 แบบ คือแบบหมุนเวียนตะกอน (Sludge Recirculation) ซึ่งมีลักษณะสำคัญคือ มีการหมุนเวียนตะกอนในกันถังมายังส่วนที่เป็นถังกวนเร็ว เพื่อช่วยในเร่งการสร้างแกนตะกอน และแบบมีชั้นตะกอน (Sludge Blanket) จะไม่มีการหมุนเวียนตะกอน แต่ต้องรักษาให้มีชั้นตะกอนอยู่ภายในถังตลอดเวลา โดยไม่มีการฟุ้งกระจาย หรือไม่อัดตัวแน่นมากเกินไปที่ก้นถัง (พิสุทธิ์ เพียรมนกุล, 2557)



ภาพที่ 9 ตัวอย่างถังตกตะกอนแบบสัมผัส
ที่มา: กองแผนคุณภาพน้ำ ฝ่ายคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง (2563)

ถังตกตะกอนแบบสัมผัสหมุนเวียนตะกอนจะมีลักษณะสำคัญ คือ มีการหมุนเวียนตะกอนในก้นถังตกตะกอนมายังส่วนที่เป็นถังกวนเร็ว เพื่อช่วยเร่งอัตราเร็วในการสร้างแกนตะกอน การกวนน้ำอาจใช้ใบพัดหรือวิธีทางชลศาสตร์ ส่วนถังตกตะกอนแบบสัมผัสแบบมีชั้นตะกอนจะไม่มีการหมุนเวียนตะกอน แต่ต้องมีการรักษาให้มีชั้นตะกอนอยู่ในถังตลอดเวลา โดยไม่มีการฟุ้งกระจายขึ้น หรือไม่อัดตัวแน่นอยู่ที่ก้นถัง ทั้งนี้น้ำที่ผสมกับสารเคมีและเกิดการสร้างแกนตะกอนแล้วจะถูกบังคับให้ไหลผ่านชั้นตะกอน เพื่อให้เกิดการรวมตะกอนขึ้นภายในชั้นตะกอนที่ก้นถัง น้ำใสจะไหลกลับขึ้นมา และไหลออกจากถังต่อไป (ทวีศักดิ์ วังไพศาล, 2557)

GRAD VRU

2.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility)

2.4.1 ต้นทุน (Cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบต่าง ๆ ในโครงการใด ๆ ซึ่งมูลค่าของทรัพยากรที่สูญเสียไปเพื่อให้ได้สินค้า โดยมูลค่านั้นจะต้องสามารถวัดได้เป็นเงิน โดยต้นทุนสามารถแบ่งเป็น ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) และ ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) ขึ้นอยู่กับประเภทของโครงการนั้น ๆ

2.4.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: BCR)

การคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน เป็นการคำนวณก่อนการประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ซึ่งจะวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับ

มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในโครงการ ถ้า BCR มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับที่ลงทุนไป แต่ถ้าค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่เสียไป (Public and Private Infrastructure Investment Management Center [PIMAC], 2008)

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (2.1)$$

โดยที่ B_t คือ ผลตอบแทน ณ เวลานั้น
C_t คือ ต้นทุน ณ เวลานั้น
r คือ อัตราคิดลด
n คือ ช่วงเวลาที่พิจารณาโครงการ

2.4.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) หมายถึง ผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาในโครงการนั้นแล้ว โดยมุ่งหวังว่าโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือมีกำไรต่อส่วนรวมหรือไม่ นั่นคือ ถ้าค่า NPV ที่ได้มีค่ามากกว่าศูนย์หรือเป็นบวกแสดงว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าแต่หากค่า NPV ที่ได้มีค่าลบหรือต่ำกว่าศูนย์ แสดงว่าการลงทุนตามโครงการนั้นจะไม่คุ้มค่า สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้ (PIMAC, 2008)

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (2.2)$$

โดยที่ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ
B_t คือ ผลตอบแทน ณ ปีที่คำนวณ
C_t คือ ต้นทุน ณ ปีที่คำนวณ
i คือ อัตราคิดลด
t คือ อายุของโครงการ

GRAD VRU

2.4.4 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงิน สดรับสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก หลักเกณฑ์ กิจการจะตอบรับโครงการลงทุน ถ้าอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (IRR) มีค่ามากกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ (r) นั่นคือ ตอบรับโครงการลงทุนเมื่อ IRR > r วิธี IRR ใช้หลักเกณฑ์การเปรียบเทียบมูลค่าของเงิน 2 ประเภท คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก ณ จุดเวลาเดียวกัน (PIMAC, 2008)

เนื่องจากการหามูลค่าปัจจุบันของเงินจำนวนหนึ่งในอนาคต ก็คือ การหาค่าของเงินจำนวนนั้นในอนาคตย้อนกลับมายังจุด ณ เวลาปัจจุบัน ดังนั้นการหามูลค่าปัจจุบันของเงินในอนาคตซึ่งคิดผลตอบแทนแบบทบต้น

สูตรการคำนวณค่าอัตราผลตอบแทนจากโครงการ ดังนี้

$$IRR = i_L + (i_U - i_L) \times \frac{NPV_L}{(NPV_L - NPV_U)} \quad (2.3)$$

โดยที่ IRR คือ อัตราผลตอบแทนจากโครงการ
NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
i_L คือ ร้อยละที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวกสุดท้าย
i_U คือ ร้อยละที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิเปลี่ยนเป็นลบ
NPV_L คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่มีค่าบวก
NPV_U คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่มีค่าลบ

2.4.5 ระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PBP)

ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี หรือกล่าวได้ว่าการลงทุนไม่มีกำไรและไม่ขาดทุน โดยคิดจากค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมที่เปลี่ยนจากค่าลบเป็นค่าบวก

เกณฑ์ตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่นั้นจะพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจแตกต่างกันไปในแต่ละโครงการขึ้นอยู่กับว่าโครงการนั้นมีความต้องการเงินต้นคืนกลับมาในช่วงเวลาใด

2.4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง NPV BCR และ IRR

ความสัมพันธ์ระหว่าง NPV BCR และ IRR นั้น (ตารางที่ 2) สามารถแสดงให้เห็นว่าโครงการใด ๆ เหมาะสมกับการลงทุนหรือไม่ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ลงทุนต่อไป

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NPV BCR และ IRR

NPV	BCR	IRR	การตัดสินใจลงทุน
> 0	> 1	> อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	ลงทุน
< 0	< 1	< อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	ไม่ลงทุน
= 0	= 1	= อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	ลงทุนหรือไม่ลงทุนก็ได้

ที่มา: Sawasdee & Pisutpaisal (2015)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลอยไพลิน ร่มโพธิ์ภักดิ์ (2556) ศึกษาการกำจัดความขุ่นด้วยถังตกตะกอนสัมผัสแบบหมุนเวียน โดยการทดลองจะใช้ถังตกตะกอนสัมผัสแบบหมุนเวียนตะกอนชนิดเจ็ทแคร์รีไฟเออร์ขนาด

GRAD VRU

เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.7 เมตร สูง 0.8 เมตร และมีปริมาณน้ำรวม 243 ลิตร ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนท์ ชนิดของน้ำดิบ (น้ำดิบจริงและน้ำดิบสังเคราะห์) อัตราการไหล (40-180 ลิตรต่อชั่วโมง) ความขุ่นเริ่มต้นของน้ำดิบที่ (20-200 เอ็นทียู) ความสูงของชั้นตะกอน (10-25 เซ็นติเมตร) ระยะห่างระหว่างของสัดส่วนต่าง ๆ ภายในถังตกตะกอน และประสิทธิภาพของแผ่นขนานเอียงมี่มีต่อถังตกตะกอน ผลการวิจัยพบว่าสารโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับน้ำดิบที่ใช้ศึกษา คือ สารส้มน้ำ และถังตกตะกอนสัมผัสมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมากกว่าร้อยละ 80 ที่อัตราการไหล 70 ลิตรต่อชั่วโมง ในสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม กล่าวคือ ความสูงของชั้นตะกอน 25 เซนติเมตร ช่องว่างระหว่างกรวยชั้นในกับพื้นถังตกตะกอน (h) 6 เซนติเมตร และช่องว่างระหว่างทรงกระบอกชั้นกลางกับพื้นถัง (H) ที่ความสูง 30 เซนติเมตร โดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเริ่มต้นของน้ำดิบ นอกจากนี้ การติดตั้งแผ่นขนานเอียงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ในทุกอัตราการไหลที่สภาวะเดินระบบที่เหมาะสม ซึ่งถังตกตะกอนนี้อาจนำไปใช้ร่วมกับกระบวนการแยกอื่นๆ เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการบำบัดน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น รวมถึงช่วยลดขนาดและค่าใช้จ่ายการก่อสร้างและการเดินระบบได้จริง

Chu & Lin (2000) ศึกษาการปรับคุณภาพถังดักไขมันโดยใช้แผ่นทิวเซ็ทเทอร์เลอร์ เนื่องจากถังดักไขมันถูกใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในร้านอาหาร และอุตสาหกรรมอาหารในประเทศฮ่องกง เพื่อลดปริมาณไขมันก่อนที่จะปล่อยน้ำออกสู่ธรรมชาติ ทำให้มีแนวคิดการปรับปรุงคุณภาพถังดักไขมันโดยใช้แผ่นทิวเซ็ทเทอร์เลอร์ ถือว่าเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพถังดักไขมันที่ใช้ต้นทุนต่ำ ผลการปรับปรุงคุณภาพถังดักไขมันพบว่าประสิทธิภาพถังดักไขมันเพิ่มขึ้น 10% เมื่อเปรียบเทียบกับถังดักไขมันแบบเดิม นอกจากนี้ยังช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และลดระยะเวลาเก็บกักได้เป็นอย่างดี

Xing & Sun (2009) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมยา โดยใช้วิธีการบำบัดร่วมระหว่างการโคแอกกูเรชั่นโดยใช้โพลีเฟอริกซัลเฟต (PFS) กระบวนการเฟนตัน และกระบวนการตกตะกอน ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าการเกิดปฏิกิริยาโคแอกกูเรชั่นโดยใช้โพลีเฟอริกซัลเฟต (PFS) ปริมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรดด่าง 4.0 นั้น สามารถลดสีได้ถึง 66% ลดค่าซีโอดีได้ถึง 72.4% และเมื่อพิจารณาถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเฟนตัน พบว่า ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เฟอรัสซัลเฟต 120 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ควบคุมค่าความเป็นกรดด่างให้มีค่า 7.0 ร่วมกับกระบวนการตกตะกอน พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีได้ถึง 96.9% ลดสีได้ถึง 97.3% และสามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ถึง 86.7% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการบำบัดเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยาได้เป็นอย่างดี

Faraji, Asadollafardi, & Shevidi (2013) ศึกษาการปรับคุณภาพของบ่อตกตะกอนขั้นที่ 2 โดยใช้แผ่นทิวเซ็ทเทอร์เลอร์ จากผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียใช้เวลาน้อยลงในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี และซีโอดีนั้นสูงถึง 96.40% และ 96.36% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแผ่นทิวเซ็ทเทอร์เลอร์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดได้ในระยะเวลาเก็บกักที่สั้นลง

Fouad, Elhefny, & Marei (2016) ศึกษาการใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถังตกตะกอน เพื่อกำจัดความขุ่น แบคทีเรีย และสาหร่ายที่อยู่ในน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยจากผลการวิจัยพบว่าทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น

จาก 84.45% เป็น 89.64% ประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียจาก 98.24% เป็น 99.36% และประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายจาก 94.31% เป็น 98.86% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น กำจัดแบคทีเรีย และกำจัดสาหร่ายในน้ำเสียได้

Al-Dulaimi & Racoviteanu (2019) ศึกษาการใช้แผ่นทิวเซ็ทเทอร์เลอร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในถังตกตะกอน โดยแผ่นทิวเซ็ทเทอร์เลอร์ถูกแปรผันองศาการเอียงที่ 60 องศา 54 องศา และ48 องศา โดยที่ทิวเซ็ทเทอร์เลอร์ประกอบด้วยท่อวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพแผ่นทิวเซ็ทเทอร์เลอร์สามารถลดความขุ่นได้ถึง 93-96 เปอร์เซ็นต์

Tawakkoly, Alizadehdakhel, & Dorosti (2019) ศึกษากำจัดซีโอดีและความขุ่นจากน้ำชะขยะโดยใช้ *Salvia hispanica* เป็นโคแอกกูแลนต์ ซึ่งค่าซีโอดีเริ่มต้นของน้ำชะขยะ มีค่า 63,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความขุ่น 670 NTU โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้ *Salvia hispanica* เป็นโคแอกกูแลนต์นั้น ค่า pH ควรมีค่าเป็นกลาง และระยะเวลาที่น้ำชะขยะสัมผัสกับโคแอกกูแลนต์ คือ 45 นาที ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าค่าซีโอดีลดลง 39.76% และค่าความขุ่นลดลง 62.4% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า *Salvia hispanica* สามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัดน้ำชะขยะได้

ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แหล่งน้ำเสีย	**วิธีการ**	**ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น หรือของแข็งแขวนลอย**	**อ้างอิง**
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมยา	ใช้แผ่นทิวเซ็ทเทอร์เลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่ 2	86.7% (ของแข็งแขวนลอย)	Xing & Sun (2009)
น้ำเสียชุมชน	ใช้แผ่นทิวเซ็ทเทอร์เลอร์ในบ่อตกตะกอน	89.64% (ความขุ่น)	Fouad, Elhefny, & Marei (2016)
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์	ใช้แผ่นทิวเซ็ทเทอร์เลอร์ในบ่อตกตะกอน	93-96% (ความขุ่น)	Al-Dulaimi & Racoviteanu (2019)
น้ำชะขยะ	ใช้ *Salvia hispanica* เป็นโคแอกกูแลนต์	62.4% (ความขุ่น)	Tawakkoly, Alizadehdakhel, & Dorosti (2019)

GRAD VRU

จากการสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าในแต่ละงานวิจัยนั้นมีการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาใช้ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน และกำจัดความขุ่น ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนและกำจัดความขุ่นได้เป็นอย่างดี จึงถือเป็นการสนับสนุนแนวคิดของผู้วิจัยที่จะนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาช่วยในเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการลดค่าความสกปรกก่อนปล่อยน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

GRAD VRU

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ซึ่งเป็นวิธีทางกายภาพที่สามารถช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมี โดยนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ซึ่งเป็นแผ่นแล้วขึ้นรูปให้เป็นลอนคล้ายกระเบื้องมาประกอบกันให้เป็นก้อนสี่เหลี่ยมแบบสมมาตร (ลูกบาศก์) ให้มีลักษณะเอียง 60 องศา ทำจากวัสดุพีวีซี (PVC) มาใช้ในการเร่งตกตะกอนเชิงเทคนิคทางกายภาพร่วมกับการใช้สารเคมีเร่งการจับตัวของตะกอน เพื่อกำจัดความขุ่นของน้ำเสีย จากนั้นวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เร่งตะกอน โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง คือ ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่าซีโอดี (Chemical Oxygen demand: COD) เปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี และการตกตะกอนโดยใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler) และการลดพื้นที่ในการรองรับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ขั้นสุดท้ายนำข้อมูลที่ได้ไปใช้สำหรับการเสนอแนะความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เพื่อประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจต่อไป

3.2 วัสดุสำหรับการดำเนินการวิจัย

3.2.1 แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler)

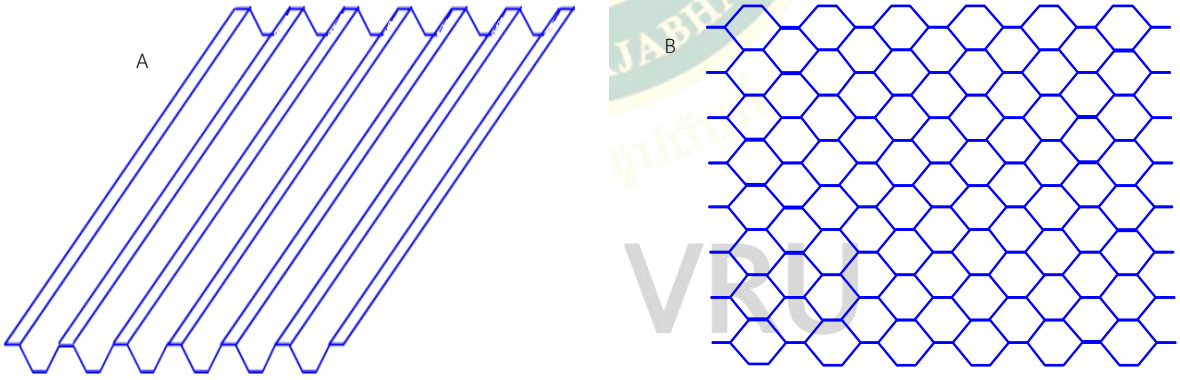
แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler) (ตารางที่ 4) ทำจากวัสดุพีวีซี โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) ขึ้นรูปด้วยแบบโลหะ (Mole) ที่ความร้อนต่ำ (Warming) 40-50 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการอ่อนตัวของแผ่น แล้วดูดขึ้นรูปด้วยแรงดูดสุญญากาศ (Vacuum) ให้ติดกับแบบโลหะ (Mole) หลังจากการขึ้นรูปแล้วจะมีรูปร่างเป็นแผ่นลอน มีขนาด 55 x 120 เซนติเมตร นำมาตัดขอบหัวท้ายตามความยาวให้ได้ตามขนาดที่ต้องการที่มุม 60 องศา ก่อนนำไปประกอบให้เป็นก้อนลูกบาศก์ ให้ได้ขนาดที่ 55 x 100 x 80 เซนติเมตร เมื่อประกอบแล้วจะมีลักษณะเป็นช่องคล้ายรังผึ้งตามแนวความยาวลอนของแผ่น โดยการประกอบจะใช้กาวคุณภาพทนแรงดึงสูงพร้อมเย็บด้วยหมุดพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร เพื่อรักษาความเอียงและความแข็งแรงของแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ที่ประกอบแล้วให้คงรูปร่างเป็นก้อนเช่นเดิมและให้สามารถรับน้ำหนักได้ในขั้นตอนการติดตั้ง พื้นผิวมีลักษณะเป็นผิวเรียบด้านที่รับน้ำหนักตะกอนอยู่ด้านล่างของช่องรังผึ้งหรือหลอด ผิวขรุขระสำหรับด้านที่เร่งการจับตัวของตะกอนอยู่ด้านบนเพื่อให้ตะกอนได้มีพื้นที่ผิวได้เกาะติดรวมตัวกัน เมื่อตะกอนมีน้ำหนักแล้วจะตกลงสู่ด้านที่มีผิวเรียบแล้วสไลด์ตัวตกลงตามแรงโน้มถ่วง น้ำที่ใสจะไหลสวนทางกับตะกอนตามช่องหลอดรังผึ้งของแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler) ล้นออกด้านบน สู่ระยะของช่วงระยะน้ำใสแล้วจะล้นออกทางช่องหรือรางน้ำล้นตามขอบบ่อ ไหลรวมเข้าท่อรวมน้ำใสลงสู่ถังรับน้ำใสต่อไป

GRAD VRU

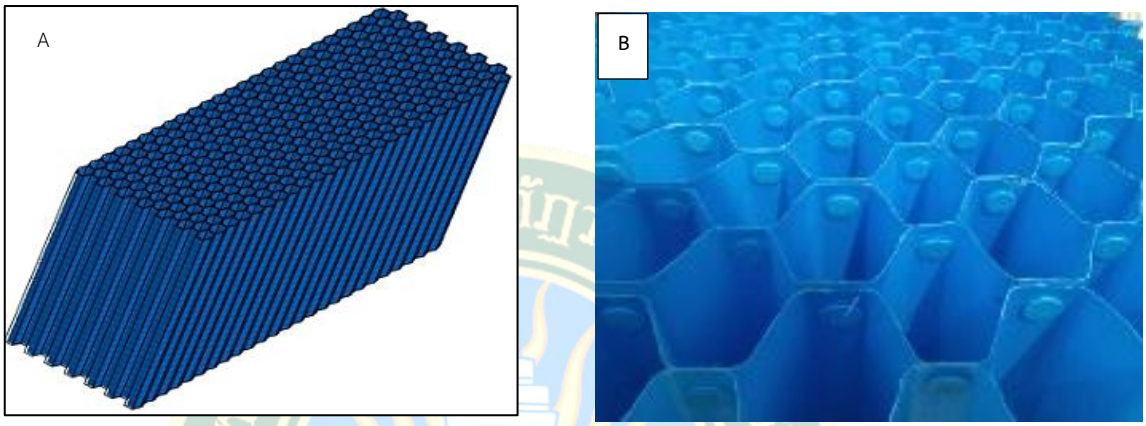
ตารางที่ 4 ข้อมูลด้านเทคนิคแผ่นเร่งตกตะกอนทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler Technical Information) Model: Bio H-80 (0.5 x 1.0 x 0.8)

Item	Description	Q'ty	Unit
1	Material PVC Rigid (Blue)	-	-
2	Dimension (W x L x H)	0.5 x 1.0 x 0.8	m.
3	Thickness	0.8	mm.
4	Specific gravity	1.35	g/cm^3
5	Forming	Vacuum	-
6	Quantity area per m^2	2	-
7	Surface contact area per cubic	31.68	m^2
8	Floc setting area per cubic meter	15.84	m^2
9	Layer per ea	24	Sheet
10	Weight per cubic meter	16	Kg/m^3
11	Grip type & Assy	Glue & Pem	-
12	Incline Slope	60	degree

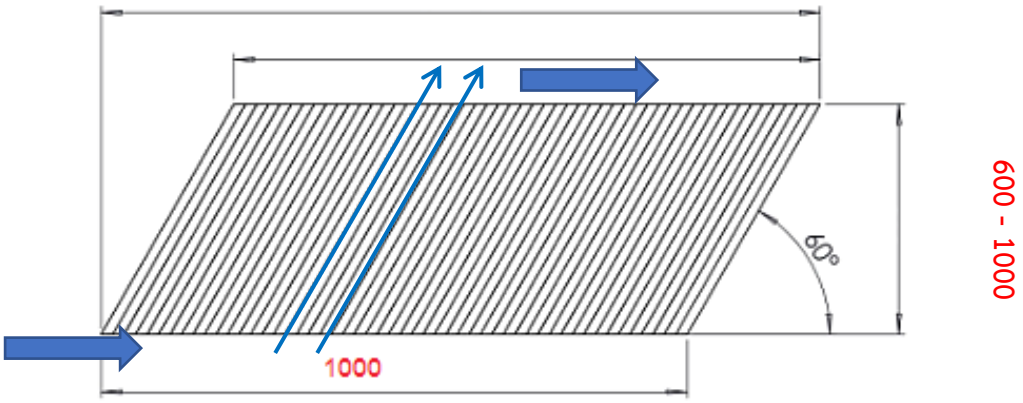
ที่มา: ออกแบบโดย บริษัท ไบโอ มีเดีย แอนด์ วอเตอร์ ซิสเต็ม จำกัด



ภาพที่ 10 ลักษณะแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (A) แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ลักษณะเป็นลอน ๆ (B) ภาพตัดด้านบนหลังแผ่นประกอบเป็นก้อนลูกบาศก์



ภาพที่ 11 (A) ลักษณะของแผ่นเมื่อประกอบเป็นก้อน (B) ลักษณะก้อนที่ประกอบแล้วมีช่องหรือรูหลอดคล้ายรังผึ้ง



ภาพที่ 12 ลักษณะทิศทางการไหลของน้ำและการวางมองด้านข้างจะมีมุมเอียงที่ 60 องศา (55-60 องศา)

GRAD VRU

โดยน้ำที่ผ่านการเร่งตกตะกอนทางกายภาพด้วยแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์แล้วจะไหลเข้าช่องรางรอบ ๆ ขอบบ่อไหลรวมเข้าที่ท่อส่งน้ำใสไปยังถังพักน้ำใสต่อไป รอการระบายทิ้งหรือนำไปใช้กิจกรรมอื่น ๆ หรือนำกลับมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำใช้ เพื่อวนใช้ซ้ำในกิจกรรมภายในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

3.2.2 สารเคมีสำหรับการตกตะกอน

สารเคมีสำหรับตกตะกอนมีทั้งหมด 3 ชนิด ดังนี้ Anionic Polymer Cationic Polymer และ PAC 30% conc. ซึ่งเป็นสารเคมีสำหรับรวมตะกอน และช่วยในการตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียในบ่อ EQ Tank

3.2.3 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำผลไม้กระป๋อง

น้ำเสียในงานวิจัยนี้ได้มาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของ บริษัท ไทยอกริ ฟู้ดส์ จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานผลิต ผลิตภัณฑ์อาหาร เครื่องดื่ม อาหารสำเร็จรูป อาทิ อาหารกระป๋อง และอาหารแช่แข็ง เพื่อการส่งออกโดยน้ำเสียมีลักษณะทางกายภาพเป็นน้ำที่มีความขุ่นและแขวนลอยสูง ซึ่งจะมีค่าความขุ่นตอนเข้ามายังระบบบำบัดมีค่า 106 NTU (Influent) และยังมีค่าคุณภาพน้ำเสียในพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่เกินมาตรฐาน

3.3 การออกแบบวิธีการทดลอง

การออกแบบวิธีการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ (ตารางที่ 5) เริ่มจากการศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแบบเดิม คือการตกตะกอนโดยใช้สารเคมีในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง ซึ่งสามารถรองรับปริมาณน้ำเสียได้น้อย และน้ำยังมีความขุ่นอยู่ จึงทำให้ไม่สามารถปล่อยออกจากระบบบำบัดได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงระบบ คือ การเพิ่มประสิทธิภาพบ่อตกตะกอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการปรับปรุงให้มีการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน นอกจากนี้จะมีการทดสอบประสิทธิภาพของระบบก่อนและหลังจากการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง คือ ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่าซีโอดี (Chemical Oxygen demand: COD) เปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี และการตกตะกอนโดยใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler)

ตารางที่ 5 การออกแบบวิธีการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

สภาวะ	พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง					หมายเหตุ
	ความขุ่น	ค่าของแข็งแขวนลอย	ค่าของแข็งทั้งหมด	ค่าซีโอดี	ค่าพีเอช	
1) การใช้สารเคมีตกตะกอน	✓	✓	✓	✓	✓	*เปรียบเทียบประสิทธิภาพการตกตะกอน *การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ
2) การใช้สารเคมีตกตะกอนร่วมกับการใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ตกตะกอน	✓	✓	✓	✓	✓	

GRAD VRU

จากการออกแบบวิธีการทดลองสำหรับใช้ในงานวิจัยสามารถสรุปและแบ่งตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแบบเดิมในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง

วัตถุประสงค์ข้อนี้ ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของระบบก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้าย ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิม คือการใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสีย คือ ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่าซีโอดี (Chemical Oxygen demand: COD) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนในการดำเนินการ เพื่อนำไปสู่การประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อไป

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2) เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

วัตถุประสงค์ข้อนี้จะดำเนินการหลังจากการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เข้ามาช่วยในการตกตะกอนขั้นสุดท้ายก่อนที่จะปล่อยน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อม หรือการนำน้ำหมุนเวียนเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสีย คือ ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่าซีโอดี (Chemical Oxygen demand: COD) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนในการดำเนินการ เพื่อนำไปสู่การประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อไป

วัตถุประสงค์ข้อที่ 3) เพื่อเสนอแนะความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์สำหรับการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง

วัตถุประสงค์ข้อนี้จะนำข้อมูลของวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 และ 2 ในด้านส่วนของต้นทุนมาคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์ คำนวณค่าผลตอบแทนที่ได้มาจากการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ โดยพารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนจากโครงการ และระยะเวลาคืนทุน โดยมีการเปรียบเทียบข้อมูลราคาการใช้สารเคมีก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ และหลังการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ รวมถึงการเปรียบเทียบการลดพื้นที่ในการรองรับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมจากระบบบำบัดน้ำเสียจริงต่อไป

3.4 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

3.4.1 ค่าความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่นของน้ำ (Turbidity) เป็นความสามารถของน้ำที่สกัดกั้นหรือดูดซับปริมาณแสงที่ส่องผ่านไว้ได้ สิ่งที่ทำให้น้ำขุ่น ได้แก่ อินทรีย์และอนินทรีย์สารในน้ำ โดยการวัดค่าความขุ่นใช้เครื่องมือ Turbidity Meter

GRAD VRU

3.4.2 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชเป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจนในน้ำ ซึ่งค่าพีเอชมากกว่า 7 แสดงว่ามีความเป็นด่าง และค่าพีเอชที่น้อยกว่า 7 แสดงว่ามีความเป็นกรด โดยการตรวจวัดค่าพีเอชในน้ำจะใช้ pH Meter

3.4.3 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids)

ของแข็งทั้งหมด (TS) วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักถ้วยก่อนและหลัง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2551) จากนั้นนำมาคำนวณโดยใช้สูตร

การคำนวณ

$$TS = \{(A-B) \times 1000\}/C \qquad (3.1)$$

เมื่อ TS = ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)

A = น้ำหนักของตัวอย่างและชามระเหย, มิลลิกรัม

B = น้ำหนักของชามระเหย, มิลลิกรัม

C = ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้, มิลลิลิตร

3.4.4 ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solids)

ของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solids) วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน โดยการกรองตัวอย่างบนกระดาษกรอง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักถ้วยก่อนและหลัง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2551) จากนั้นนำมาคำนวณโดยใช้สูตร

การคำนวณ

$$SS = \{(A-B) \times 1000\}/C \qquad (3.2)$$

เมื่อ SS = ปริมาณของสารแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)

A = น้ำหนักของกระดาษกรองและสารแขวนลอย, มิลลิกรัม

B = น้ำหนักของกระดาษกรอง, มิลลิกรัม

C = ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้, มิลลิลิตร

3.4.5 ค่าซีโอดี (COD: Chemical Oxygen Demand)

ซีโอดีเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนเทียบเท่าที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ ด้วยตัวออกซิไดซ์อย่างรุนแรงด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตร และกรดซัลฟิวริก เมื่อนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จึงนำไปวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นนำมาหาค่าด้วยค่าที่ได้จากสมการเส้นตรงจากสารละลายมาตรฐาน และจึงนำมาคำนวณ โดยใช้สมการที่ (3) ดังนี้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2551)

GRAD VRU

$$\text{ซีโอดี (มิลลิกรัม } O_2\text{/ลิตร)} = \frac{\text{ปริมาณซีโอดี (มิลลิกรัม)} \times 1000}{\text{มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}} \quad (3.3)$$

3.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

3.5.1 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio: BCR)

การคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน เป็นการคำนวณก่อนการประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ซึ่งจะวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในโครงการ ถ้า BCR มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับที่ลงทุนไป แต่ถ้าค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่เสียไป (PIMAC, 2008)

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (3.4)$$

โดยที่ B_t คือ ผลตอบแทน ณ เวลานั้น
C_t คือ ต้นทุน ณ เวลานั้น
r คือ อัตราคิดลด
n คือ ช่วงเวลาที่พิจารณาโครงการ

3.5.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

เป็นผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาในโครงการนั้นแล้ว โดยพิจารณาถึงโครงการที่กำลังดำเนินการ หรือเริ่มดำเนินการอยู่นั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่ นั่นคือ ถ้าค่า NPV ที่ได้มีค่ามากกว่าศูนย์หรือเป็นบวก แสดงว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน และในกรณีค่า NPV ที่ได้มีค่าลบหรือต่ำกว่าศูนย์ แสดงว่า การลงทุนตามโครงการนั้นไม่คุ้มค่า สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้ (PIMAC, 2008)

GRAD VRU

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (3.5)$$

โดยที่ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ
B_t คือ ผลตอบแทน ณ ปีที่คำนวณ
C_t คือ ต้นทุน ณ ปีที่คำนวณ
i คือ อัตราคิดลด
t คือ อายุของโครงการ

3.5.3 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก ถ้าอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (IRR) มีค่ามากกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ (r) นั่นคือ ตอบรับโครงการลงทุนเมื่อ IRR > r วิธี IRR ใช้หลักเกณฑ์การเปรียบเทียบมูลค่าของเงิน 2 ประเภท คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก ณ จุดเวลาเดียวกัน (PIMAC, 2008)

สูตรการคำนวณค่าอัตราผลตอบแทนจากโครงการ ดังนี้

$$IRR = i_L + (i_U - i_L) \times \frac{NPV_L}{(NPV_L - NPV_U)} \quad (3.6)$$

โดยที่ IRR คือ อัตราผลตอบแทนจากโครงการ
NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
i_L คือ ร้อยละที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวกสุดท้าย
i_U คือ ร้อยละที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิเปลี่ยนเป็นลบ
NPV_L คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่มีค่าบวก
NPV_U คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่มีค่าลบ

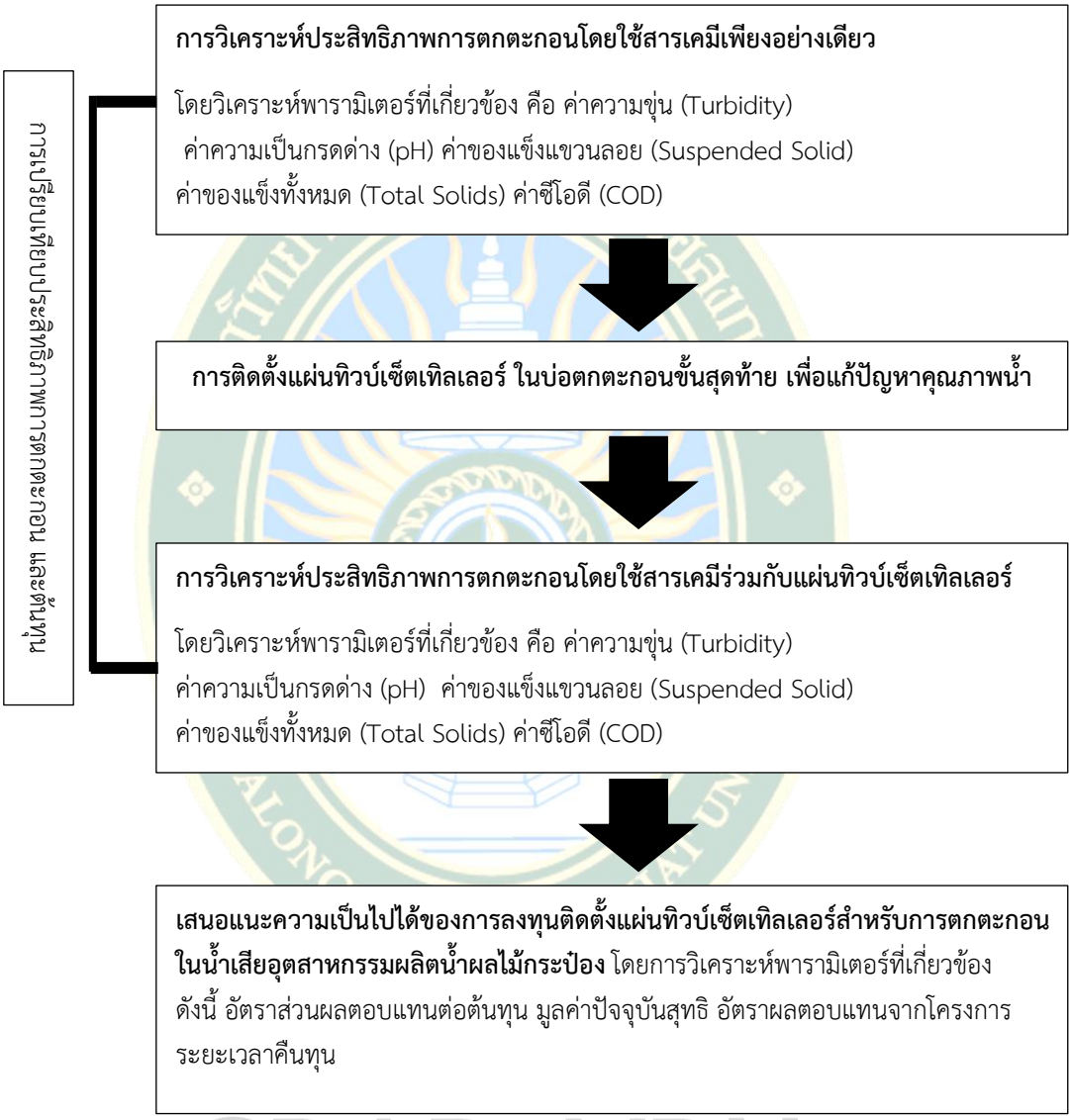
3.5.4 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP)

ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี หรือกล่าวได้ว่าการลงทุนไม่มีกำไรและไม่ขาดทุน โดยคิดจากค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมที่เปลี่ยนจากค่าลบเป็นค่าบวก

เกณฑ์ตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่นั้นจะพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจแตกต่างกันไปในแต่ละโครงการขึ้นอยู่กับว่าโครงการนั้นมีความต้องการเงินต้นคืนกลับมาในช่วงเวลา

GRAD VRU

สรุปการดำเนินการวิจัย



GRAD VRU

ภาพที่ 13 สรุปการดำเนินการวิจัย

3.6 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงานกำหนดระยะเวลา 12 เดือน ดังตารางดังนี้

ตารางที่ 6 แสดงระยะเวลาการดำเนินงานตลอดระยะเวลาการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือน)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. วางแผนงานวิจัยและศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแบบเดิมของโรงงาน												
2. การทดสอบประสิทธิภาพการตกตะกอนโดยใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์												
3. วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง คือ ค่าความขุ่น (Turbidity) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ค่าซีโอดี (COD)												
4. วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์												
5. วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง												
6. จัดทำรูปเล่ม												

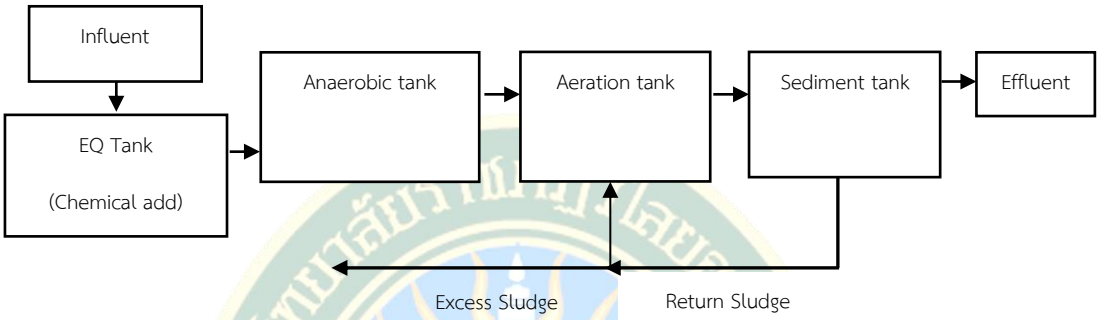
GRAD VRU

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การดำเนินการวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ โดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน โดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางกายภาพ คือแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ร่วมกับการใช้สารเคมีในการตกตะกอนในขั้นต้น คือ การใช้พอลิเมอร์ เพื่อเร่งการจับตัวของตะกอน ทำให้การกำจัดความขุ่นของน้ำเสียในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) มีประสิทธิภาพ จากนั้นวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนร่วมกับการใช้สารเคมีในขั้นต้น วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS) ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่าซีโอดี (Chemical Oxygen demand: COD) นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการตกตะกอนที่มีการใช้สารเคมีในขั้นต้นร่วมกับการตกตะกอนโดยการปล่อยให้จมลงสู่ก้นบ่อในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการรองรับน้ำเสียต่อวัน ค่าใช้จ่ายในการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี และการตกตะกอนโดยใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler) สุดท้ายนำข้อมูลที่ได้ไปใช้สำหรับการเสนอแนะความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน และการรองรับน้ำเสียต่อวันสำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง

4.1 การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี

ในระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องแบบเดิมของโรงงานนั้น จะใช้การตกตะกอนโดยใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียวในบ่อบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ โดยสารเคมีที่ใช้เพื่อให้เกิดการตกตะกอน ดังนี้ Anionic Polymer 100 กิโลกรัมต่อวัน Cationic Polymer 100 กิโลกรัมต่อวัน และPAC 30% conc 50 กิโลกรัมต่อวัน โดยภาพที่ 13 แสดงถึงไดอะแกรมระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ โดยการเติมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดนั้น จะถูกเติมในบ่อ EQ Tank ซึ่งเป็นบ่อในระบบบำบัดน้ำเสียบ่อแรกก่อนเข้าสู่บ่อบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างและรวมตะกอนก่อนเข้าสู่บ่อบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เพื่อลดปริมาณตะกอนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย จากนั้นน้ำจากบ่อ EQ Tank ที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารเคมีแล้วจะถูกส่งเข้าสู่บ่อบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic Tank) บ่อบำบัดแบบเติมอากาศ (Aerobic Tank) และบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ตามลำดับ ก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ขั้นสุดท้าย หรือ Sediment tank นั้นในช่วงเริ่มต้นยังไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ดังนั้นน้ำในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ถูกปล่อยให้ตะกอนจมลงก้นบ่อด้วยแรงโน้มถ่วง เมื่อตะกอนจมลงก้นถังจะทำให้เหลือน้ำส่วนใสด้านบน และปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป ซึ่งการตกตะกอนโดยปล่อยให้ตะกอนจมลงก้นถังนั้นยังไม่สามารถลดค่าความขุ่น รวมถึงค่าของแข็งในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 14 ไดอะแกรมระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

นอกจากปัญหาความขุ่น และปริมาณของแข็งในน้ำ โรงงานยังพบปัญหาหลังจากการเพิ่มกำลังการผลิต นำไปสู่ปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตที่มากขึ้น ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียปัจจุบันไม่สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นได้ จึงทำให้โรงงานต้องเพิ่มความสามารถในการรองรับน้ำเสียอีกทั้งการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอีกด้วย

4.1.1 ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU)

การวิเคราะห์ค่าความขุ่นในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) นั้นเป็นการวิเคราะห์ความสามารถของน้ำที่สกัดกั้นหรือดูดซับปริมาณแสงที่ส่องผ่าน ซึ่งสิ่งที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำเสียคือสารแขวนลอยขนาดเล็กในน้ำที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใช้พอลิเมอร์ช่วยตกตะกอนในช่วงเริ่มต้นของบ่อบำบัด จะสามารถลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำก่อนเข้าระบบ และในส่วนของบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) นั้นจะถูกปล่อยตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง เมื่อตะกอนจมลงก้นถังจะทำให้เหลือน้ำส่วนใสด้านบนนั้น พบว่า ค่าความขุ่นที่ออกจากบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) อยู่ที่ 90.67 ± 2.89 NTU เปรียบเทียบกับค่าความขุ่นของน้ำเข้า คือ 106 ± 1.00 NTU เนื่องด้วยบ่อบำบัดก่อนเข้าบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) เป็นบ่อบำบัดแบบใช้อากาศแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์บางส่วนหลุดปะปนออกมากับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว เมื่อมาถึงบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) อาจมีตะกอนบางส่วนที่จมตัวได้ช้า ทำให้ไม่สามารถตกตะกอนขั้นสุดท้ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตะกอนไม่สามารถจมตัวลงสู่ก้นถัง และก่อให้เกิดปัญหาตะกอนจุลินทรีย์รวมถึงตะกอนอื่น ๆ ที่หลุดออกมาพร้อมกัน และถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

4.1.2 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS) และค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS)

ค่าของแข็งทั้งหมดเป็นค่าที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ (Organic Matter) และ (Inorganic Matter) หลายชนิดรวมกัน โดยค่าของแข็งทั้งหมดนั้นมีความสำคัญต่อการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดในบ่อที่รองรับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด พบว่ามีค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) 3,600 ± 132.29 mg L^{-1} ก่อนส่งน้ำเข้าระบบบำบัดแบบ

ไร้อากาศจะมีการเติมพอลิเมอร์สำหรับการตกตะกอนในบ่อ Equalization Tank (EQ Tank) เพื่อลดปริมาณค่าของแข็งทั้งหมด เมื่อน้ำเสียผ่านบ่อบำบัดแบบไร้อากาศ และบ่อบำบัดแบบใช้อากาศเพื่อลดค่าความสกปรกของน้ำเสียนั้น จะถูกส่งเข้าสู่บ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) โดยน้ำเสียที่ถูกผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ปะปนมาจากบ่อบำบัดแบบใช้อากาศ ทำให้มีค่าของแข็งทั้งหมด 2,400 ± 111.36 mg L^{-1} อย่างไรก็ตาม เนื่องจากจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดแบบใช้อากาศจะย่อยสลายสารอินทรีย์ และเพิ่มจำนวนมากขึ้น ทำให้ตะกอนยังมีปริมาณมากจึงจำเป็นต้องนำน้ำที่ออกจากบ่อเติมอากาศเข้าสู่บ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) เพื่อให้ปริมาณตะกอน หรือของแข็งทั้งหมดจมลงสู่ก้นบ่อก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยส่วนหนึ่งของตะกอนที่จมลงสู่ก้นบ่อจะถูกสูบกลับเข้าบ่อเติมอากาศเพื่อรักษาปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ให้คงที่ และยังกำจัดตะกอนส่วนเกินในบ่อทิ้งด้วย (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557 ; Goncalves et al., 2017) เมื่อน้ำจากบ่อบำบัดแบบใช้อากาศผ่านเข้าบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ที่ยังไม่ได้ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ พบว่าลดปริมาณค่าของแข็งทั้งหมดได้เพียง 300 mg L^{-1} ดังนั้นจึงยังทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่า 2,100 ± 180.28 mg L^{-1} เป็นผลทำให้น้ำเสียที่ออกจากบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ยังมีลักษณะขุ่น

และเมื่อวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยซึ่งเป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ แต่แขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยจะสามารถแยกออกได้โดยใช้กระดาษกรอง ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ จากการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยที่พบในการใช้พอลิเมอร์สำหรับการตกตะกอนในระบบบำบัดพบว่ามีค่าของแข็งแขวนลอย 220 ± 13.23 mg L^{-1} เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า ทั้งค่าของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยนั้นพบว่ายังไม่สามารถปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

4.1.3 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำอยู่ในช่วง พีเอช 5-9 อย่างไรก็ตามถ้าค่าพีเอชของน้ำที่ถูกปล่อยจากระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ จะทำให้เกิดอันตรายต่อการดำรงชีวิต และตายได้ ทำให้แหล่งน้ำที่อยู่ใกล้กับโรงงานอุตสาหกรรมนั้นเน่าเสียได้ เมื่อพิจารณาค่าพีเอชที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียร่วมกับการใช้พอลิเมอร์ในการตกตะกอนในบ่อ EQ Tank พบว่า มีค่าพีเอชระหว่าง 6.81-6.86 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ยังมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เมื่อตรวจสอบค่าพีเอชในบ่อพักก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่าความเป็นกรดด่าง 4.00 ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรดสูง เนื่องจากภายในกระบวนการผลิตมีทั้งในส่วนการล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ การสกัดน้ำผลไม้ รวมถึงการปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติ ทำให้ค่าความเป็นกรดสูง อย่างไรก็ตามค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปควรมีค่า 6.5-7.5

4.1.4 ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

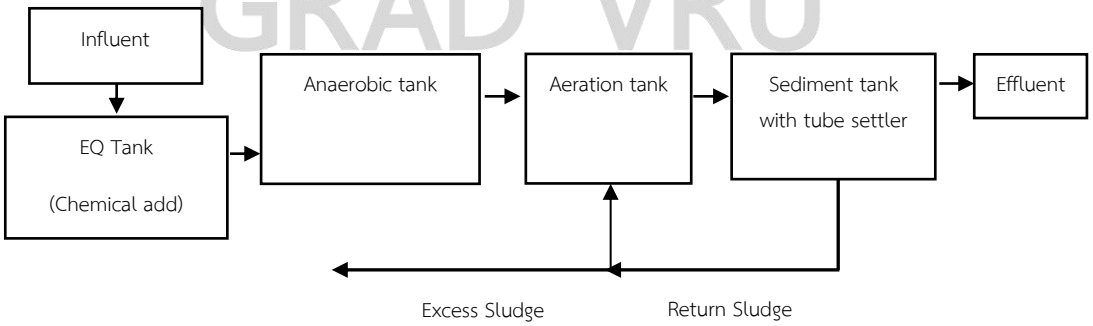
ค่าซีโอดีเป็นค่าที่แสดงถึงค่าความสกปรกของน้ำโดยการใช้ค่าการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง โดยใช้โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) โดยจากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่าซีโอดีในช่วงการตกตะกอนโดยใช้พอลิเมอร์ในบ่อ EQ Tank ร่วมกับการใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) นั้น เมื่อพิจารณาถึงค่าซีโอดีในระบบพบว่าในบ่อตกตะกอน

ขั้นที่สอง (Sediment Tank) ก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์สามารถลดค่าซีโอดี 980 ± 24.83 mg L^{-1} เหลือ 850 ± 20.00 mg L^{-1} คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีได้เพียง 13.29% เมื่อนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า ยังมีค่าเกินมาตรฐานกำหนด (มาตรฐานซีโอดี ไม่เกิน 120 mg L^{-1} หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ไม่มากกว่า 400 mg L^{-1}) โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าซีโอดีของน้ำเข้าระบบ และน้ำเมื่อผ่านระบบบำบัด พร้อมทั้งการเติมพอลิเมอร์ช่วยตกตะกอนแล้วพบว่าสามารถลดค่าซีโอดีได้ อย่างไรก็ตามยังต้องมีการลดค่าซีโอดีเพื่อให้ได้ตามค่ามาตรฐานกำหนด เมื่อสามารถลดความขุ่น ค่าของแข็งทั้งหมด และค่าของแข็งแขวนลอยได้จะส่งผลให้ค่าซีโอดีลดลงตามลำดับ จากตารางที่ 8 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลสรุปของพารามิเตอร์ในสภาวะที่มีการใช้สารเคมีตกตะกอนในขั้นต้นคือบ่อ EQ และใช้การปล่อยน้ำให้ตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วงในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ซึ่งทุก ๆ พารามิเตอร์แสดงให้เห็นว่าควรมีการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) เพื่อลดปัญหาการปล่อยมลพิษทางน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อม และสามารถนำน้ำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ในโรงงานอุตสาหกรรมได้

4.2 การตกตะกอนโดยใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ร่วมกับการใช้สารเคมี

การตกตะกอนโดยใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ร่วมกับการใช้พอลิเมอร์ (Cationic Polymer) ในระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน โดยปริมาณการเติม Cationic Polymer คือ 50 กิโลกรัมต่อวัน โดยภาพที่ 14 แสดงถึงไดอะแกรมระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานหลังจากการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ เพื่อใช้ช่วยในการตกตะกอนร่วมกับพอลิเมอร์ โดยการเติมพอลิเมอร์จะเติมในบ่อ EQ Tank เพื่อลดปริมาณตะกอนก่อนที่จะเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย จากนั้นน้ำจากบ่อ EQ Tank จะถูกส่งเข้าสู่บ่อบำบัดแบบไร้อากาศ บ่อบำบัดแบบเติมอากาศ และบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) นั้นจะมีการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน ทำให้น้ำใสก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ รวมถึงการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ภายในโรงงานได้อีกด้วย

GRAD VRU



ภาพที่ 15 ไดอะแกรมระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

4.2.1 ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU)

การวิเคราะห์ค่าความขุ่นในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) นั้นเป็นการวิเคราะห์ความสามารถของน้ำที่สกัดกั้นหรือดูดซับปริมาณแสงที่ส่องผ่าน ซึ่งสิ่งที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำเสียคือสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ซึ่งก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (ใช้พอลิเมอร์ในการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว) พบว่ามีค่าความขุ่นอยู่ที่ 90 NTU เนื่องด้วยบ่อบำบัดก่อนเข้าบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) เป็นบ่อบำบัดแบบใช้อากาศแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์บางส่วนหลุดปะปนออกมากับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว เมื่อมาถึงบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) จึงไม่สามารถตกตะกอนน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อมีการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) จึงทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน พบว่า มีค่าความขุ่นลดลงเหลือเพียง 3 NTU จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์สามารถช่วยลดค่าความขุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำประสิทธิภาพการลดความขุ่นของแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เปรียบเทียบกับการลดความขุ่นโดยวิธีทางชีวภาพพบว่าประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นของแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า โดยพิจารณาจากค่าความขุ่นหลังการบำบัดจากวิธีทางชีวภาพ พบว่า มีค่าความขุ่น 42.44 NTU (Tawakkoly, Alizadehdakhel, & Dorosti, 2018) แต่ในส่วนค่าความขุ่นที่ผ่านการบำบัดจาก แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ มีค่า 3 NTU นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ต้องการลดค่าความขุ่นในน้ำโดยใช้ $FeCl_3$-induced crude extract (FCE) ซึ่งถือเป็น Biocoagulant พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกัน (Ramavandi, 2014) นอกจากนี้การใช้สารโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ ยังสามารถลดค่าความขุ่นในน้ำได้ (Asrafuzzaman, Fakhruddin, & Alamgir Hossain, 2011) โดยการเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 งานวิจัยเปรียบเทียบการกำจัดความขุ่น

วิธีการกำจัดความขุ่น	ค่าความขุ่น หลังการกำจัด	% Turbidity removal	งานวิจัย (อ้างอิง)
วิธีทางชีวภาพโดยใช้ *Pleurotus ostreatus*	42.44 NTU	84%	Pardede, Budihardjo, & Purwono (2018).
$FeCl_3$-induced crude extract (FCE)	3.44 NTU	95.6%	Ramavandi (2018)
After treatment with Al^{3+}	8.1 NTU	80%	พลอยไพลิน ร่มโพธิ์ภักดิ์ (2556)
แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ร่วมกับพอลิเมอร์	3 NTU	96%	งานวิจัยนี้

GRAD VRU

4.2.2 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS) และค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดในบ่อพัก ซึ่งเป็นบ่อที่รองรับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ พบว่ามีค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) 3,600 ± 132.29 mg L^{-1} จากนั้นน้ำเสียจาก EQ Tank จะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ และบ่อบำบัดแบบใช้อากาศ โดยตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบจะทำปฏิกิริยาชีวเคมีเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้สามารถลดความสกปรกของน้ำเสียได้ ตะกอนจุลินทรีย์ภายในบ่อบำบัดแบบใช้อากาศซึ่งเป็นแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) นั้นจะถูกเลี้ยงให้อยู่ในช่วง Log Growth Phage ซึ่งเป็นช่วงที่ตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว รวมไปถึงลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบจะมีลักษณะเป็นตะกอนรูปหัวเข็ม (Pin Floc) (กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา, 2561) จึงทำให้ตะกอนเร่งตกตะกอนได้ไม่ดีในถังตกตะกอน เป็นผลทำให้น้ำเสียที่ออกจากระบบยังมีลักษณะขุ่น เนื่องจากมีตะกอนจุลินทรีย์หลุดปะปนออกมากับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว อีกทั้งยังมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วอีกด้วย ทำให้น้ำยังมีค่าซีโอดี และมีความขุ่นสูง โดยน้ำเสียที่ถูกผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์ เรียกว่า Mixed Liquor โดยจากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่ามีค่า 2,400 ± 111.36 mg L^{-1} อย่างไรก็ตาม Mixed Liquor ที่ออกจากบ่อเติมอากาศยังมีตะกอน ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นตะกอนจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดแบบใช้อากาศจะย่อยสลายสารอินทรีย์ และเพิ่มจำนวนมากขึ้น ทำให้ตะกอนยังมีปริมาณมากจึงจำเป็นต้องนำน้ำที่ออกจากบ่อเติมอากาศเข้าสู่บ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) เพื่อให้ปริมาณตะกอน หรือของแข็งทั้งหมดจมลงสู่ก้นบ่อก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยส่วนหนึ่งของตะกอนที่จมลงสู่ก้นบ่อจะถูกสูบกลับเข้าบ่อเติมอากาศเพื่อรักษาปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ให้คงที่ และยังกำจัดตะกอนส่วนเกินในบ่อทิ้งด้วย (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557; Gonçalves, Neto, Machado, & Trovó, 2017)

เมื่อ Mixed Liquor (จากบ่อบำบัดแบบใช้อากาศ) ผ่านเข้าบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ที่ยังไม่ได้ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ จะสามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ 300 mg L^{-1} ดังนั้นจึงยังทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดยังอยู่ในช่วงมากกว่า 2,000 mg L^{-1} จากนั้นเมื่อดำเนินการทดลองติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ร่วมกับการใช้ร่วมกับการใช้พอลิเมอร์ (Cationic Polymer) ที่เติมในถัง EQ Tank พบว่า ปริมาณของแข็งหลังออกจากถังตกตะกอน (Sediment Tank) คงเหลือเพียง 1,000 ± 180.28 mg L^{-1} ซึ่งสามารถลดปริมาณของแข็ง และตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาการตกตะกอนก่อนและหลังการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ พบว่า สามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้จากเดิมมากกว่า 50%

ค่าของแข็งแขวนลอยเป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ แต่แขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยจะสามารถแยกออกได้โดยใช้กระดาษกรอง ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ จากการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยที่พบในการตกตะกอนโดยใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ร่วมกับการใช้พอลิเมอร์ (Cationic Polymer) พบว่า มีค่าของแข็งแขวนลอย 40.00 ± 5.00 mg L^{-1}

4.2.3 ค่าพีเอช (pH)

จากการตรวจวัดค่าค่าพีเอชในระบบ พบว่า ในบ่อพักก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่าพีเอช 4.00 ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรดสูง เนื่องจากภายในกระบวนการผลิตมีทั้งในส่วนการล้างทำความสะอาด

GRAD VRU

วัตถุดิบ การสกัดน้ำผลไม้ รวมถึงการปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติ ทำให้ค่าความเป็นกรดสูง อย่างไรก็ตาม ค่าค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปควรมีค่า 6.5-7.5 ดังนั้นเมื่อเข้าสู่ระบบเติมอากาศจึงมีการปรับค่าพีเอช ร่วมด้วย ทำให้ค่าพีเอช มีค่า 6.81-6.86 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อให้กลุ่มจุลินทรีย์ในบ่อเติมอากาศทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด (กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา, 2561) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถดำเนินการกักตะกอนและลดค่าซีโอดีได้ (บ่อเติมอากาศ) ทำให้เมื่อปล่อยน้ำเสียออกจากระบบทำให้เกิดปัญหาค่าความสกปรกของน้ำเสียที่ออกจากระบบไม่ได้ตามที่มาตรฐานกำหนด จึงมีการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาช่วยในระบบร่วมกับการใช้พอลิเมอร์ (Cationic Polymer) ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด เพิ่มความสามารถในการรองรับปริมาณน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการผลิต รวมถึงยังสามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียได้อีกด้วย

4.2.4 ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen demand: COD)

ค่าซีโอดีเป็นค่าที่แสดงถึงค่าความสกปรกของน้ำโดยการใช้ค่าการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง โดยใช้โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) โดยจากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่าซีโอดีในช่วงการตกตะกอนโดยใช้พอลิเมอร์ในบ่อ EQ Tank ร่วมกับการใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) นั้น เมื่อพิจารณาถึงค่าซีโอดีในระบบ พบว่า ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์สามารถลดค่าซีโอดีได้เพียง 13% ซึ่งเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเทียบกับบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) หลังการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ พบว่า สามารถลดค่าซีโอดีจาก 850 ± 20.00 mg L^{-1} เหลือเพียง 27 ± 2.65 mg L^{-1} ซึ่งถือเป็นค่าที่สามารถปล่อยน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ และเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำจากบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ที่ยังไม่มีการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้นมีค่าประสิทธิภาพถึง 96% ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงค่าซีโอดีจากการใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนนั้นยังสามารถช่วยลดค่าบีโอดีและซีโอดีได้อีกด้วย ทำให้สามารถปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ รวมถึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในโรงงานได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 8 สรุปค่าพารามิเตอร์วิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละบ่อบำบัดที่เกี่ยวข้องในระบบบำบัด

พารามิเตอร์	น้ำขาเข้า	น้ำในบ่อเติมอากาศ	น้ำจากถังตกตะกอนก่อนติดตั้งแผ่นทิวบ์ฯ	น้ำจากถังตกตะกอนหลังติดตั้งแผ่นทิวบ์ฯ
ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU)	106 ± 1	95 ± 4.36	90 ± 2.89	3 ± 1
ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: mg L^{-1})	3,600 ± 132.29	2,450 ± 50.00	2,100 ± 180.28	1,000 ± 180.28
ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: mg L^{-1})	615 ± 10	530 ± 15.00	220 ± 13.23	40.00 ± 5.00
พีเอช (pH)	4 ± 0.10	6.84 ± 0.03	6.84 ± 0.03	6.84 ± 0.03
ค่าซีโอดี (COD: mg L^{-1})	1,099.37 ±18.03	980 ± 24.83	850 ± 20	27 ± 2.65

ตารางที่ 8 เป็นตารางสรุปเพื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่าง ๆ ก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ และหลังติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย ซึ่งจากตารางแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแผ่นทิวล์เซ็ตเทิลเลอร์สามารถช่วยให้คุณภาพน้ำก่อนออกจากถังตกตะกอนมีคุณภาพดี และสามารถนำไปหมุนเวียนใช้ภายในโรงงานอุตสาหกรรมได้

นอกจากนี้การติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ก่อนปล่อยน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อมนั้นยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรองรับน้ำเสียจากการเพิ่มกำลังการผลิตได้ และลดค่าใช้จ่ายในการสร้างและขยายระบบบำบัดน้ำเสียได้ ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลการรองรับน้ำเสีย และอัตราการไหลจากกระบวนการผลิต

รายละเอียดบ่อบำบัด	**ราคาการก่อสร้างบ่อบำบัด กรณีไม่ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์**
บ่อรับน้ำ EQ (Adjust, Draft)	300 ตร.ม. ราคาประเมินต่อตารางเมตรมีค่า 12,500 บาท ดังนั้น 300 × 12,500 = 3.75 ล้านบาท
บ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank)	50 ตร.ม. ราคาประเมินต่อตารางเมตรมีค่า 12,500 บาท ดังนั้น 50 × 12,500 = 0.625 ล้านบาท
รายละเอียดอัตราการไหล ก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์	**รายละเอียดอัตราการไหล หลังการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์**
อัตราการไหลสูงสุดที่ระบบสามารถดำเนินการได้ไม่เกิน 95 ลบ.ม. ต่อชั่วโมง	อัตราการไหลสูงสุดที่ระบบสามารถดำเนินการได้เพิ่มขึ้นเป็น 165- 290 ลบ.ม. ต่อชั่วโมง

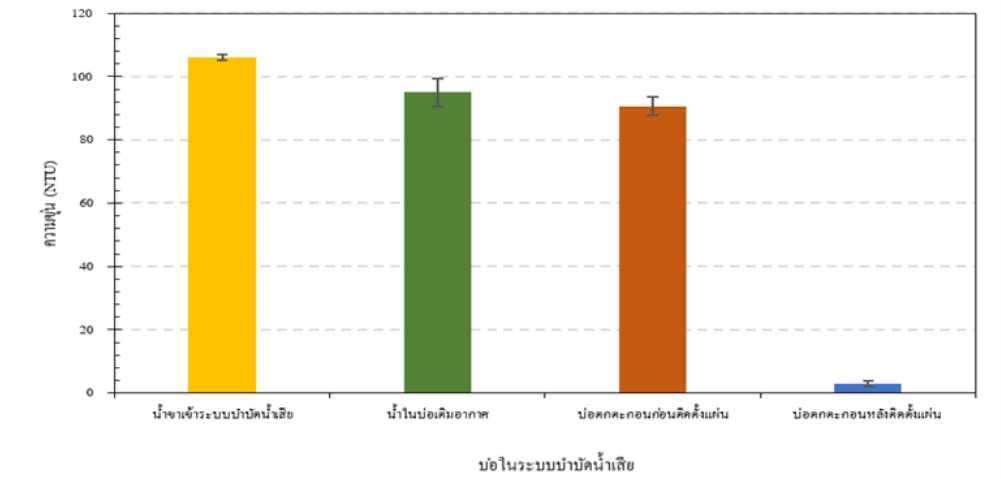
จากตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่ามูลค่าการก่อสร้างและขยายบ่อรับน้ำ EQ (Adjust, Draft) และบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) โดยไม่มีการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้นทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายสูงถึง 4.375 ล้านบาท (ไม่รวมราคาระบบงานท่อ ปั๊ม เคมี ไฟฟ้า และเครื่องตรวจวัดอื่น ๆ) ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ดังภาพที่ 16 รวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ค่าขนส่ง และค่าแรงงาน ราคารวม 955,000 บาท เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างการก่อสร้างและขยายเทียบกับการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ พบว่า สามารถลดต้นทุนไปได้ถึง 78.17%

GRAD VRU

ภาพที่ 16 แสดงบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ที่ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

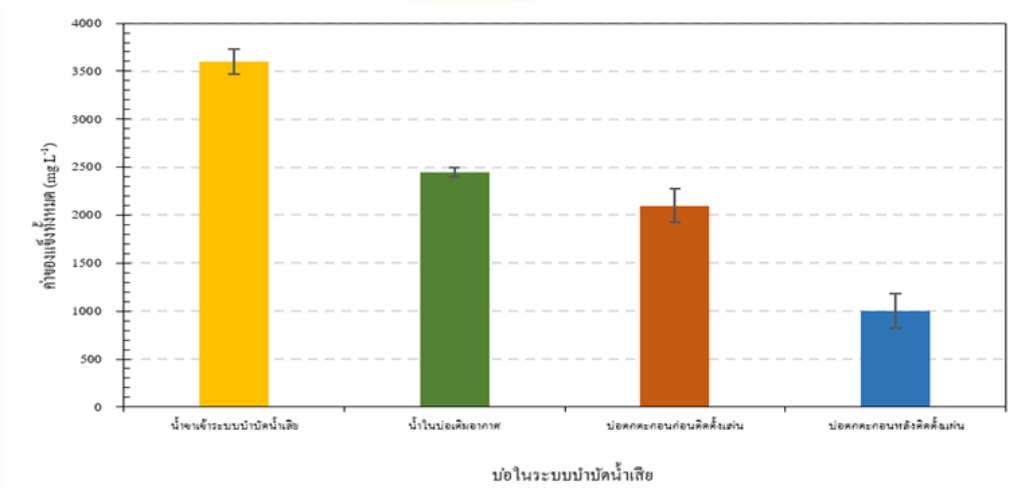
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตกตะกอนระหว่างการใช้สารเคมีและการใช้สารเคมีร่วมกับแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

จากการประยุกต์ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ร่วมกับการใช้พอลิเมอร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน ในงานวิจัย พบว่า เมื่อนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาติดตั้งเพิ่มเติมนอกเหนือจากการใช้พอลิเมอร์ในการตกตะกอนนั้น สามารถช่วยลดค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำได้ รวมถึงการลดค่าความสกปรกในรูปบีโอดีและซีโอดีได้ เมื่อพิจารณาถึงค่าความขุ่นเปรียบเทียบระหว่างการตกตะกอนระหว่างการใช้สารเคมีและการใช้สารเคมีร่วมกับแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ พบว่าการใช้แผ่นทิวล์เซ็ตเทิลเลอร์สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้ แสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงค่าความขุ่นเข้าระบบ น้ำในบ่อเติมอากาศ ถังตะตะกอนที่ไม่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ และถังตกตะกอนที่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

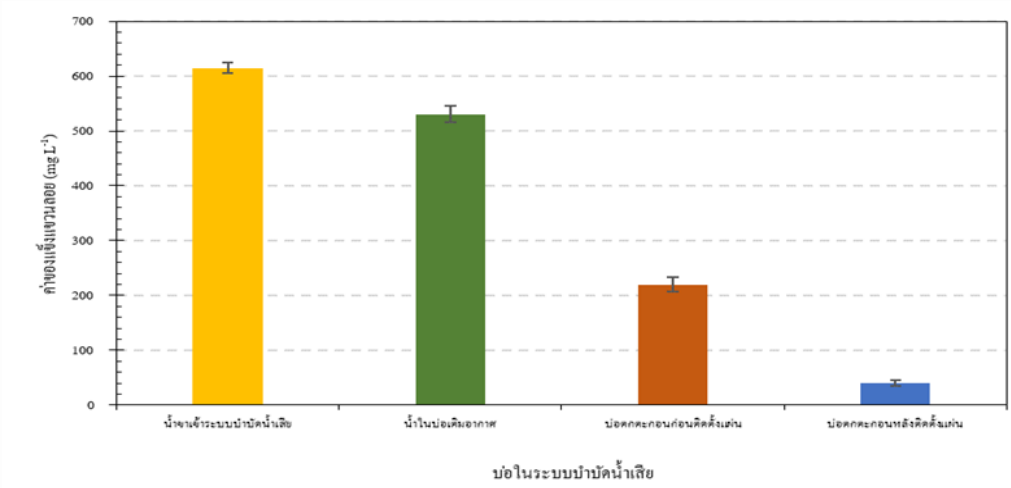
เมื่อเปรียบเทียบค่าของแข็งทั้งหมดก่อนและหลังการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) พบว่าหลังการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน และทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลงได้ ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แสดงค่าของแข็งทั้งหมดในน้ำเข้า น้ำในบ่อเติมอากาศ ถังตะตะกอนที่ไม่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ และถังตกตะกอนที่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก่อนและหลังการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) พบว่าหลังจากการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน และทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดลดลงได้ ดังแสดงในภาพที่ 19 และเมื่อเปรียบเทียบการบำบัดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดโดยการประยุกต์ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์กับงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า Faraji, Asadollafardi, & Shevidi (2013) ดำเนินการวิจัยโดยการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาประยุกต์ใช้ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Clarifier) โดยดำเนินการวิจัยในระดับ Pilot scale พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงถึง 97.60% แสดงให้เห็นว่า แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้นถือเป็นการใช้เทคนิคทางกายภาพในการช่วยให้น้ำในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) นั้นใสก่อนปล่อยน้ำออกจากระบบบำบัดเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

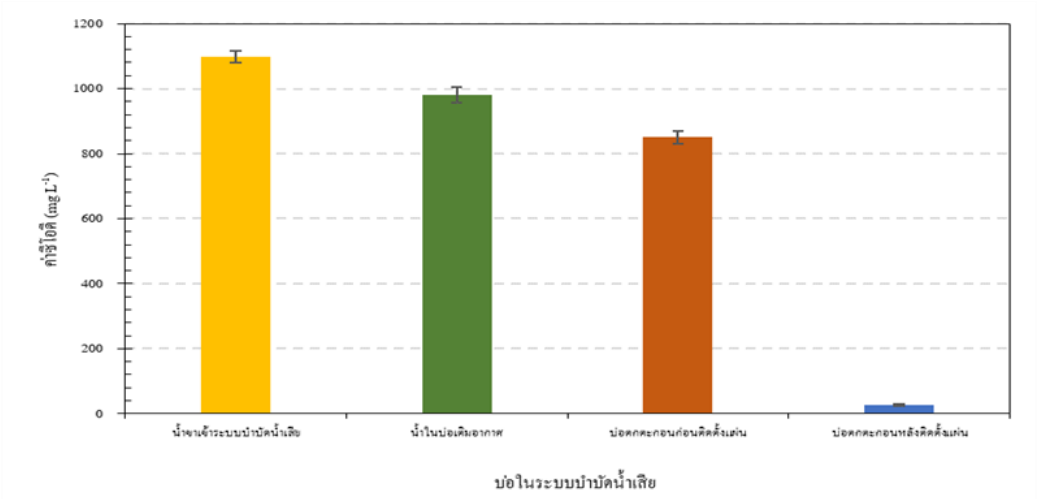
GRAD VRU



ภาพที่ 19 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเข้า น้ำในบ่อเติมอากาศ ถังตะตะกอนที่ไม่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ และถังตกตะกอนที่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

ในกรณีของค่าซีโอดีก่อนและหลังการใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้น ก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เพื่อช่วยในการตกตะกอนก่อนปล่อยน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อมนั้นพบว่าค่าซีโอดีสามารถลดได้เพียง 13% คือลดจากค่าซีโอดี 960 ±18.03 mg L^{-1} ที่อยู่ในบ่อเติมอากาศซึ่งเป็นบ่อก่อนเข้าบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) เหลือค่าซีโอดี 850 ± 20 mg L^{-1} ซึ่งยังไม่สามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ เมื่อนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาติดตั้งในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) พบว่า สามารถลดค่าซีโอดีจากค่าเดิมคือ 850 ± 20 mg L^{-1} เหลือเพียง 27 ± 2.65 mg L^{-1} (ภาพที่ 20) เมื่อเปรียบเทียบการบำบัดค่าซีโอดีโดยการประยุกต์ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์กับงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า Faraji, Asadollafardi, & Shevidi (2013) ดำเนินการวิจัยโดยการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาประยุกต์ใช้ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Clarifier) โดยดำเนินการวิจัยในระดับ Pilot scale พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงถึง 96.30% แสดงให้เห็นว่านอกจากแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น และของแข็งแขวนลอย ยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

GRAD VRU



ภาพที่ 20 แสดงค่าซีโอดีของน้ำขาเข้า น้ำในบ่อเติมอากาศ ถังตะตะกอนที่ไม่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ และถังตกตะกอนที่ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) นั้น พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าความขุ่นก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มีค่า 4.56% ค่าของแข็งทั้งหมด 14.29% ค่าของแข็งแขวนลอย 58.49% และค่าซีโอดี 13.29% (ตารางที่ 10) ตามลำดับ และเมื่อมีการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) นั้นพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าความขุ่น 96.84% ค่าของแข็งทั้งหมด 59.18% ค่าของแข็งแขวนลอย 92.45% และค่าซีโอดี 97.25% (ตารางที่ 11) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการกำจัดค่าซีโอดีที่ประยุกต์ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ กับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน Faraji, Asadollafardi, & Shevidi (2013)

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของน้ำจากบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ก่อนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

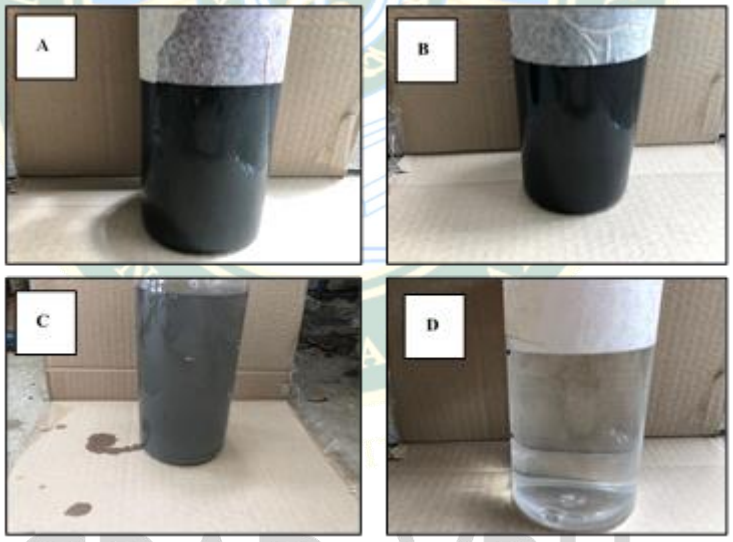
ประสิทธิภาพของน้ำจากบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ก่อนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์	
ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU)	4.56%
ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS)	14.29%
ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS)	58.49%
ค่าซีโอดี (COD)	13.29%

หมายเหตุ: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เป็นการเปรียบเทียบของน้ำจากบ่อเติมอากาศและบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพของน้ำจากบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) หลังติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

ประสิทธิภาพของน้ำจากบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) หลังติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์	
ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU)	96.84%
ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS)	59.18%
ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS)	92.45%
ค่าซีโอดี (COD)	97.25%

หมายเหตุ: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เป็นการเปรียบเทียบของน้ำจากบ่อเติมอากาศและบ่อตกตะกอนขั้นที่สองหลังจากติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์



ภาพที่ 21 ลักษณะน้ำเสียที่เก็บมาจากบ่อในระบบบำบัดน้ำเสีย ดังนี้
(A) ตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อพักก่อนเข้าระบบ; (B) ตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อเติมอากาศ;
(C) ตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ที่ไม่ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์;
(D) ตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ที่ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

GRAD VRU

4.4 การเสนอแนะความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนสำหรับการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง

การเสนอแนะความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ร่วมกับพอลิเมอร์ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนนั้น พิจารณาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ดังนี้ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน อัตรา

ผลตอบแทนจากโครงการ และระยะเวลาคืนทุน โดยการเสนอแนะความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์จะพิจารณาต้นทุนเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว และการใช้สารเคมีร่วมกับแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลต้นทุนการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างการใช้สารเคมีร่วมกับการปล่อยให้ตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง และการใช้สารเคมีร่วมกับแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

การใช้สารเคมีร่วมกับการปล่อยให้ตกตะกอน		**การใช้สารเคมีร่วมกับแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์**	
รายการ	**ราคา**	**รายการ**	**ราคา**
Anionic Polymer	240,000 บาทต่อเดือน	Cationic Polymer	120,000 บาทต่อเดือน
Cationic Polymer	240,000 บาทต่อเดือน	PVC Tube Settler	605,000 บาท *
PAC 30% conc.	37,500 บาทต่อเดือน	อุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ค่าขนส่ง และค่าแรงงาน	350,000 บาท *
รวม	517,000 บาท ต่อเดือน	**รวม**	199,583 บาท ต่อเดือน
	6,210,000 บาท ต่อปี		2,395,000 บาท ต่อปี
	62,100,000 บาท ต่อ 10 ปี		23,950,000 บาท ต่อ 10 ปี

หมายเหตุ: PVC Tube Settler มีอายุการใช้งาน 10 ปี

จากข้อมูลต้นทุนที่มีการเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว และการใช้สารเคมีร่วมกับแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์พบว่าการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้นช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุนที่ต้องจ่ายสำหรับการซื้อสารเคมีอีกด้วย และเมื่อพิจารณาถึงค่าติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ถึงแม้จะมีค่าติดตั้งสูงแต่เมื่อพิจารณาร่วมกับระยะเวลาการใช้งานรวมถึงการลดปริมาณการใช้สารเคมี พบว่า มีความคุ้มค่า จากตารางที่ 12 พบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อปีได้มากกว่า 4 ล้านบาทต่อปี ดังนั้นจากการพิจารณาเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายได้เป็นอย่างดี และสามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์หมุนเวียนในโรงงานอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

4.4.1 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio: BCR) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในโครงการ โดยกรณีที่ B/C ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับการลงทุน กรณีที่ค่า B/C ratio น้อยกว่า 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุน โดยจากการคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนของการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาใช้ในการช่วยตกตะกอน พบว่า มีค่า 17.07 ซึ่งเมื่อพิจารณาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน พบว่า มีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าเป็นโครงการที่เหมาะสมสำหรับการลงทุนต่อไป

GRAD VRU

4.4.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เป็นผลรวมของผลตอบแทนสุทธิโดยมุ่งหวังว่าโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือมีกำไร โดยที่กรณีค่า NPV ที่ได้มีค่ามากกว่าศูนย์หรือเป็นบวก แสดงว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า แต่หากกรณีค่า NPV ที่ได้มีค่าลบหรือต่ำกว่าศูนย์ แสดงว่า การลงทุนตามโครงการนั้นจะไม่คุ้มค่า โดยจากการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาใช้ในการช่วยตกตะกอนพบว่ามีค่า 21,514,491.51 จากค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิพบว่าโครงการมีความคุ้มค่าสำหรับการลงทุนต่อไป

4.4.3 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) เป็นอัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก โดยจากการคำนวณอัตราผลตอบแทนจากโครงการของการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาใช้ในการช่วยตกตะกอนพบว่ามีค่า ร้อยละ 77.89

4.4.4 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP) เป็นการคิดค่าระยะเวลาคืนทุน โดยคิดจากค่า NPV สะสม และ NPV ที่เปลี่ยนเป็นบวก จากการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาใช้ในการช่วยตกตะกอน พบว่า มีค่า 9 เดือน 4 วัน โดยค่าพารามิเตอร์การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงค่าการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

พารามิเตอร์การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์	ค่าที่ได้
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio: BCR)	17.07
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)	21,514,491.51
อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)	ร้อยละ 77.89
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP)	9 เดือน 4 วัน

โดยการดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำผลไม้โดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน โดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางกายภาพ คือ แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ร่วมกับการใช้สารเคมีในการตกตะกอนในขั้นต้นนั้นถือเป็นส่วนหนึ่งของการใช้เทคนิคของเทคโนโลยีสะอาดซึ่งสามารถแบ่งการดำเนินการวิจัยเป็น 2 ส่วน คือ การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด และการใช้ซ้ำ/นำกลับมาใช้ใหม่ โดยจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าโรงงานอุตสาหกรรมสามารถนำน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดที่มีการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สองนั้นนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ภายในกระบวนการผลิต และใช้ในส่วนต่าง ๆ ของโรงงานอุตสาหกรรม ช่วยทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน การใช้น้ำ รวมถึงวัตถุดิบ และลดการเกิดมลพิษลดการสะสมของมลพิษในสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

GRAD VRU

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ซึ่งเป็นวิธีทางกายภาพที่สามารถช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมี โดยนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ซึ่งเป็นแผ่นแล้วขึ้นรูปให้เป็นลอนคล้ายกระเบื้องมาประกอบกันให้เป็นก้อนสี่เหลี่ยมแบบสมมาตร (ลูกบาศก์) ใช้ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนเชิงเทคนิคทางกายภาพร่วมกับการใช้สารเคมีเร่งการจับตัวของตะกอน เพื่อกำจัดความขุ่นของน้ำเสีย จากนั้นวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในการช่วยตกตะกอน และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้สำหรับการเสนอแนะความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน และการรองรับน้ำเสียต่อวันสำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง

การเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ซึ่งเป็นวิธีทางกายภาพที่สามารถช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานได้เป็นอย่างดี เมื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีจึงนำไปสู่การต้นทุนสำหรับค่าใช้จ่ายของสารเคมีในแต่ละเดือนอีกด้วย วิธีการบำบัดน้ำเสียนั้นมีหลายวิธี โดยการเลือกวิธีในการบำบัดน้ำเสียนั้นต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสียในแต่ละแหล่งกำเนิด ในงานวิจัยนี้เป็นการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน โดยจากผลการวิจัย พบว่าสามารถลดค่าความขุ่นได้ถึงร้อยละ 96 ค่าของแข็งทั้งหมดเหลือเพียง 1,000 ± 180.28 mg L^{-1} ค่าของแข็งแขวนลอยเหลือเพียง 40.00 ± 5.00 mg L^{-1} และค่าซีโอดีเหลือเพียง 27 ± 2.65 mg L^{-1} นอกจากนี้ในส่วนของการพิจารณาค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่ามากกว่า 1 โดยสำหรับโครงการได้ค่าสูงถึง 17.07 เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่า 21,514,491.51 อัตราผลตอบแทนจากโครงการร้อยละ 77.89 และในพารามิเตอร์สุดท้าย ระยะเวลาคืนทุน คือ 9 เดือน 4 วัน จากการพิจารณาข้อมูลทั้งหมด พบว่า โครงการนี้เป็นโครงการที่มีความคุ้มค่ากับการลงทุน และเหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรือระบบบำบัดน้ำเสียอื่น ๆ ที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเพื่อการนำน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ หรือการปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดออกสู่สิ่งแวดล้อม และลดต้นทุนการใช้สารเคมีได้ในเวลาเดียวกัน

GRAD VRU

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.1.1 ศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแบบเดิมในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง

การตกตะกอนแบบเดิมเป็นการตกตะกอนโดยใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว โดยสารเคมีที่ใช้เพื่อให้เกิดการตกตะกอน คือ Cationic Polymer เป็นพอลิเมอร์ประจุบวก ทำหน้าที่รวมตะกอน ถือเป็นการบำบัดทางเคมี ในการสร้างรวมตะกอน ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน และยังมี Anionic Polymer และPAC 30% conc. ช่วยในการตกตะกอน ซึ่งการเติมสารเคมีช่วย

ในการตกตะกอนนั้น จะเติมในบ่อ EQ Tank เพื่อลดปริมาณของแข็ง และความขุ่นในการบำบัดขั้นต้น จากนั้นจะเข้าสู่บ่อบำบัดแบบไร้อากาศ และเติมอากาศ และในบ่อสุดท้ายคือบ่อตกตะกอน ทำหน้าที่ตกตะกอนของแข็ง สารแขวนลอย รวมถึงความขุ่นของน้ำเสียที่ออกจากบ่อเติมอากาศ ก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดแบบใช้อากาศจะย่อยสลายสารอินทรีย์ และเพิ่มจำนวนมากขึ้น ทำให้ตะกอนยังมีปริมาณมากจึงจำเป็นต้องนำน้ำที่ออกจากบ่อเติมอากาศเข้าสู่บ่อตกตะกอน เพื่อให้ปริมาณตะกอน หรือของแข็งทั้งหมดจมลงสู่ก้นบ่อก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยส่วนหนึ่งของตะกอนที่จมลงสู่ก้นบ่อจะถูกสูบกลับเข้าบ่อเติมอากาศเพื่อรักษาปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ให้คงที่ และยังกำจัดตะกอนส่วนเกินในบ่อทิ้งด้วย

เมื่อพิจารณาบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้ายที่ยังไม่ได้ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้น ในส่วนของค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้ายยังมีค่าความขุ่นมากถึง 90 ± 2.89 NTU และค่าของแข็งทั้งหมดมีค่า 2,100 ± 180.28 mg L^{-1} ค่าของแข็งแขวนลอย 220 ± 13.23 mg L^{-1} พร้อมทั้งเมื่อพิจารณาซีโอดีพบว่ามีค่า 850 ± 20 mg L^{-1} เมื่อนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมพบว่ายังมีค่าเกินมาตรฐานกำหนด ดังนั้นน้ำเสียที่ออกจากบ่อตกตะกอนจึงยังมีลักษณะขุ่น

5.1.2 ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

การตกตะกอนโดยการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในบ่อตกตะกอนสุดท้ายนั้น ถือเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน ลดค่าความขุ่น อีกทั้งยังช่วยลดค่าซีโอดีได้ อย่างไรก็ตามในบ่อ EQ Tank ยังมีการเติมสารเคมีที่ใช้เพื่อให้เกิดการตกตะกอน คือ Cationic Polymer เป็นพอลิเมอร์ประจุบวก ทำหน้าที่รวมตะกอน เพื่อลดปริมาณของแข็ง และความขุ่นในการบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าสู่บ่อบำบัดแบบไร้อากาศ และเติมอากาศ ยังมี Anionic Polymer และPAC 30% conc. ช่วยในการตกตะกอน โดยในบ่อบำบัดแบบเติมอากาศนั้นจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ และเพิ่มจำนวนมากขึ้น ทำให้ตะกอนยังมีปริมาณมากจึงจำเป็นต้องนำน้ำที่ออกจากบ่อเติมอากาศเข้าสู่บ่อตกตะกอน โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน คือ การติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้าย

เมื่อพิจารณาบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้ายที่ติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้น ในส่วนของค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้ายสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้ โดยค่าความขุ่นก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมมีค่า 3 ± 1 NTU และค่าของแข็งทั้งหมดมีค่า 1,000 ± 180.28 mg L^{-1} ค่าของแข็งแขวนลอย 40.00 ± 5.00 mg L^{-1} พร้อมทั้งเมื่อพิจารณาค่าซีโอดี พบว่า 27 ± 2.65 mg L^{-1} เมื่อนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ดังนั้นน้ำเสียที่ออกจากบ่อตกตะกอนจึงสามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม หรือนำไปใช้หมุนเวียนในโรงงานอุตสาหกรรมได้ และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) นั้นพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าความขุ่นก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มีค่า 4.56% ค่าของแข็งทั้งหมด 14.29% ค่าของแข็งแขวนลอย 58.49% และค่าซีโอดี 13.29% ตามลำดับ และเมื่อมีการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) นั้นพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าความขุ่น 96.84% ค่าของแข็งทั้งหมด 59.18% ค่าของแข็งแขวนลอย 92.45% และค่าซีโอดี 97.25%

นอกจากนี้การติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ในบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) ก่อนปล่อยน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อมนั้นยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรองรับน้ำเสียจากการเพิ่มกำลังการผลิตได้ และลดค่าใช้จ่ายในการสร้างและขยายระบบบำบัดน้ำเสียได้ โดยเมื่อพิจารณาถึงมูลค่าการก่อสร้างและขยายบ่อรับน้ำ EQ (Adjust, Draft) และบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Sediment Tank) โดยไม่มีการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้นทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายสูงถึง 4.375 ล้านบาท (ไม่รวมราคาระบบงานท่อ ปั๊ม เคมี ไฟฟ้า และเครื่องตรวจวัดอื่น ๆ) ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ รวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ค่าขนส่ง และค่าแรงงาน ราคารวม 955,000 บาท เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างการก่อสร้างและขยายเทียบกับการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ พบว่าสามารถลดต้นทุนไปได้ถึง 78.17%

5.1.3 การเสนอแนะความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนสำหรับการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง

ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ร่วมกับพอลิเมอร์ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนนั้น พิจารณาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ดังนี้ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน อัตราผลตอบแทนจากโครงการ และระยะเวลาคืนทุน โดยการเสนอแนะความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์จะพิจารณาต้นทุนเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว และการใช้สารเคมีร่วมกับแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลต้นทุนโดยคิดรายปีพบว่าการใช้สารเคมีสำหรับการตกตะกอนนั้นต้องใช้ต้นทุนสูงถึง 6,210,000 บาทต่อปี โดยเมื่อเปรียบเทียบกับการนำแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์มาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในบ่อสุดท้ายพบว่าสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมี เพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนทำให้น้ำที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม หรือหมุนเวียนใช้ในโรงงานนั้นมีคุณภาพดี รวมถึงการลดค่าใช้จ่ายต่อปีได้อีกด้วย โดยต้นทุนต่อปีของการใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ร่วมกับการใช้สารเคมีพบว่าลดลงเหลือ 2,395,000 บาท ต่อปี ทำให้โรงงานสามารถนำต้นทุนที่ลดได้ไปบริหารจัดการในส่วนอื่น ๆ ของโรงงาน และยังมีทรัพยากรน้ำที่มีคุณภาพหมุนเวียนใช้ภายในโรงงานได้อีกด้วย

เมื่อพิจารณาถึงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการการใช้สารเคมีร่วมกับแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ พบว่าเป็นโครงการที่คุ้มค่ากับการลงทุน เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่ามากกว่า 1 โดยสำหรับโครงการได้ค่าสูงถึง 17.07 เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่า 21,514,491.51 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ 77.89% และในพารามิเตอร์สุดท้าย ระยะเวลาคืนทุน คือ 9 เดือน 4 วัน จากการพิจารณาข้อมูลทั้งหมด พบว่าโครงการนี้เป็นโครงการที่มีความคุ้มค่ากับการลงทุน

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์นั้น ทำให้เพิ่มปริมาณทรัพยากรน้ำที่สามารถนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี รวมถึงการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายสารเคมี ดังนั้นข้อเสนอแนะจากงานวิจัยนี้จึงควรนำไปสู่การต่อยอดเพื่อนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน และนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดไปใช้ประโยชน์ได้

GRAD-VRU

บรรณานุกรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2554). **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: สำนักพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.

กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา. (2561). **จุลชีววิทยาสำหรับนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรสิ่งแวดล้อม.**

กองแผนคุณภาพน้ำ ฝ่ายคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง. (2563). **ถังตกตะกอน (solid contact clarifier) ชนิด sludge recirculation.** สืบค้นจาก https://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=571

ทวีศักดิ์ หวังไพศาล. (2557). **วิศวกรรมการประปา.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บริษัท เนทเวอร์คกิ้ง เทคโนโลยี (ไทยแลนด์) จำกัด. (2552). **เทคโนโลยีชีวภาพ.** สืบค้นจาก http://www.fristweb.com/handsite/biogas/uasb.html

พลอยไพลิน ร่มโพธิ์ภักดิ์. (2556). **การกำจัดความขุ่นด้วยถังตกตะกอนสัมผัสแบบหมุนเวียนตะกอน.** (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิสุทธิ์ เพียรมนกุล. (2557). **หน่วยกระบวนการสำหรับวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. (2551). **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รติมา คชนันทน์. (2562). **เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy).** สืบค้นจาก http://www.parliament.go.th/library.

ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 134 ตอนพิเศษ 153 ง. (2560). **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560.** 11-15.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2557). **ระบบบำบัดน้ำเสีย Wastewater Treatment System.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด.

Al-Dulaimi, S. & Racoviteanu, G. (2019). Efficiency of Tube Settler on Removal of Roagulation Particles. **E3S Web of Conferences.** 85(5): 07012.

Asrafuzzaman, M. D., Fakhruddin, A. N. M., & Alamgir Hossain, M. D. (2011). Reduction of Turbidity of Water using Locally Available Natural Coagulants. **International Scholarly Research Network**. 2011(632189): 1-6.

Chu, W. & Ng, FL. (2000). Upgrading the Conventional Grease Trap using a Tube Settler. **Environment International.** 26(1-2): 17-22.

Durdevic, D., Blecich, P., & Juric, Z. (2019). Energy Recovery from Sewage Sludge: The Case Study of Croatia. **Energies.** 12(1927): 1-19.

Faraji, A., Asadollafardi, G., & Shevidi, A. (2013). A Pilot Study for the Application of One-

GRAD VRU

and Two-Stage Tube Settlers as a Secondary Clarifier for Wastewater Treatment. I**nternational Journal of Civil Engineering**. 11(4): 272-280.

Fouad, H. A., Elhefny, R. M., & Marei, A. I. (2016). Evaluating the Use of Tube Settlers and Lamella Plates in Increasing the Efficiency of Sedimentation Tanks. **Journal of Applied Life Science International.** 7(4): 1-8.

Gonçalves, B. R., Neto, W. B., Machado, A. E. H., & Trovó, A. G. (2017). Biodiesel Wastewater Treatment by Coagulation-Flocculation: Evaluation and Optimization of Operational Parameters. **Journal of the Brazilian Chemical Society.** 28(5): 800-807.

Indiamart. (2020). **tube-settler**. Retrieved from https://www.indiamart.com/proddetail/hexagonal-tube-settler-media

Mahmudabadi, T. Z., Ebrahimi, A. A., Eslami, H., Mokhtari, M., Salmani, M. H., Ghaneian, M. T., Mohamadzadeh, M., & Pakdaman, M. (2018). Optimization and economic evaluation of modified coagulation–flocculation process for enhanced treatment of ceramic-tile industry wastewater. **AMB Express.** 8(172): 1-12.

Pardede, A., Budihardjo, M. A., & Purwono. (2018). The Removal of Turbidity and TSS of the Domestic Wastewater by Coagulation-Flocculation Process Involving Oyster Mushroom as Biocoagulant. **E3S Wed of Conferences.** 31(4): 05007.

Public and Private Infrastructure Investment Management Center (PIMAC). (2008). **General Guidelines for Preliminary Feasibility Studies**. (5th ed.). Sejong-si: Korea Development Institute.

Ramavandi, B. (2014). Treatment of Water Turbidity and Bacteria by using a Coagulant Extracted form Plantage Ovata. **Water Resource and Industry.** 6(2014): 36-50.

Sawasdee, V., & Pisutpaisal, N. (2015). Economic Feasible Evaluation of Biogas Production from Napier Grass. **Research Journal of Biotechnology.** 10(3): 94-98.

Schmitz K. U. (2019). **Activated Sludge Process and IFAS: Design Rules + Guideline (Video Animation)**. Retrieved from https://bit.ly/2RMCpr4.

Segthai. (2020). **ออกแบบติดตั้งเครื่องกรองน้ำอุตสาหกรรม.** Retrieved from https://segathai.com-sedimentation-tank/

Tawakkoly, B., Alizadehdakhel, A., & Dorosti, F. (2019). Evaluation of COD and turbidity removal from compost leachate wastewater using Salvia hispanica as a natural coagulant. **Industrial Crops and Products.** 137(1): 323-331.

Xing, Z. P., & Sun, D. Z. (2009). Treatment of Antibiotic Fermentation Wastewater by Combined Polyferric Sulfate Coagulation, Fenton and Sedimentation Process. **Journal of Hazardous Materials.** 168(2-3): 1264-1268.

GRAD VRU

Zaher, K. (2019). **Wastewater Treatment (1).** Retrieved from https://scholar.cu.edu.eg/khaledzaher/files/ 4.wastewater_treatment_1_2.pdf.

GRAD VRU

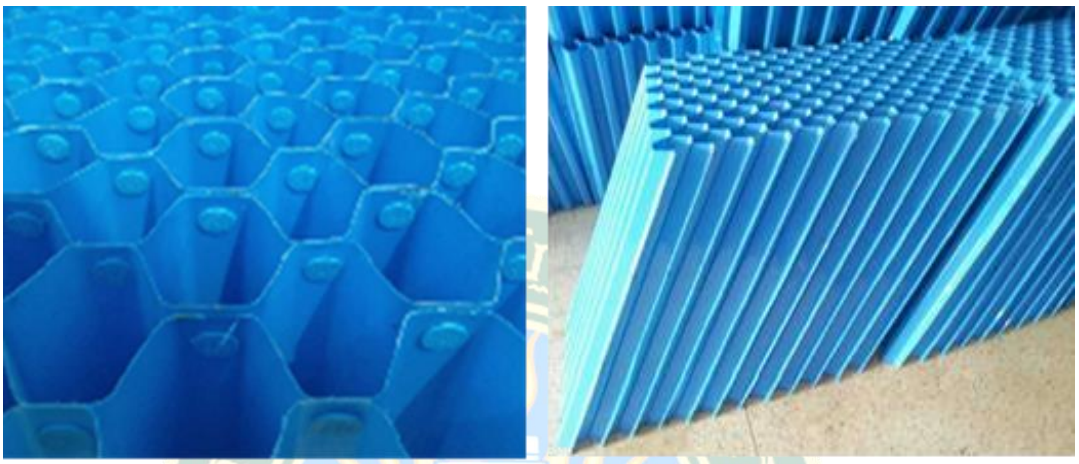
ภาคผนวก

GRAD VRU

ในพระบรมราชูปถัมภ์

ภาคผนวก ก
ภาพประกอบการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์

GRAD VRU



แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์เมื่อประกอบกันเป็นก้อนแบบสมมาตร

บ่อตกตะกอนก่อนการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ขณะที่เตรียมพื้นที่ก่อนการติดตั้ง

ตั้งนั่งร้านวางตำแหน่งการติดตั้งคานรับแผ่นทิวบ์เซ็ทเทิลเลอร์

ติดตั้งคานรับแผ่นทิวบ์เซ็ทเทิลเลอร์ภายในบ่อตกตะกอน

แผ่นทิวบ์เซ็ทเทิลเลอร์เข้าสู่พื้นที่และติดตั้ง

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์

GRAD VRU

ตารางที่ 1 แสดงค่า IRR

n	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%
0	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000
1	2712871.29	2686274.51	2660194.17	2634615.38	2609523.81	2584905.66	2560747.66	2537037.04	2513761.47
2	3622193.90	3551518.65	3482891.88	3416235.21	3351473.92	3288536.85	3227356.10	3167866.94	3110007.58
3	3586330.60	3481881.03	3381448.43	3284841.55	3191879.93	3102393.25	3016220.66	2933210.13	2853217.96
4	3550822.37	3413608.85	3282959.64	3158501.49	3039885.64	2926786.09	2818897.81	2715935.31	2617631.15
5	3515665.72	3346675.34	3187339.46	3037020.66	2895129.19	2761118.95	2634483.93	2514754.91	2401496.47
6	3480857.14	3281054.26	3094504.33	2920212.17	2757265.89	2604829.20	2462134.52	2328476.77	2203207.77
7	3446393.21	3216719.86	3004373.13	2807896.32	2625967.51	2457386.03	2301060.30	2155997.01	2021291.53
8	3412270.51	3153646.92	2916867.12	2699900.31	2500921.44	2318288.71	2150523.64	1996293.53	1854395.90
9	3378485.65	3091810.71	2831909.83	2596057.99	2381829.95	2187064.82	2009835.18	1848419.93	1701280.65
10	3345035.30	3031186.97	2749427.02	2496209.60	2268409.47	2063268.70	1878350.63	1711499.94	1560807.93
NPV SUM	31655925.69	29859377.09	28196915.02	26656490.67	25227286.75	23899578.26	22664610.43	21514491.51	20442098.42

ตารางที่ 1 แสดงค่า IRR (ต่อ)

10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%	21%
-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000
2490909.09	2468468.47	2446428.57	2424778.76	2403508.77	2382608.70	2362068.97	2341880.34	2322033.90	2302521.01	2283333.33	2264462.81
3053719.01	2998944.89	2945631.38	2893727.00	2843182.52	2793950.85	2745986.92	2699247.57	2653691.47	2609279.01	2565972.22	2523734.72
2776108.19	2701752.15	2630028.02	2560820.35	2494019.75	2429522.48	2367230.10	2307049.21	2248891.07	2192671.43	2138310.19	2085731.17
2523734.72	2434010.95	2348239.30	2266212.70	2187736.62	2112628.24	2040715.61	1971836.93	1905839.89	1842581.04	1781925.15	1723744.77
2294304.29	2192802.66	2096642.23	2005497.96	1919067.21	1837068.04	1759237.59	1685330.71	1615118.55	1548387.43	1484937.63	1424582.45
2085731.17	1975497.89	1872001.99	1774776.96	1683392.29	1597450.47	1516584.13	1440453.60	1368744.54	1301165.90	1237448.02	1177340.87
1896119.25	1779727.83	1671430.35	1570599.08	1476659.91	1389087.36	1307400.11	1231156.92	1159953.00	1093416.73	1031206.69	973008.98
1723744.77	1603358.40	1492348.53	1389910.69	1295315.71	1207902.05	1127069.06	1052270.87	983011.01	918837.58	859338.91	804139.66
1567040.70	1444467.03	1332454.04	1230009.46	1136241.85	1050349.61	971611.26	899376.81	833060.18	772132.42	716115.75	664578.23
1424582.45	1301321.65	1189691.11	1088503.95	996703.38	913347.49	837595.91	768698.13	705983.21	648850.78	596763.13	549238.21
19440993.64	18505351.92	17629895.52	16809836.90	16040828.01	15318915.29	14640499.67	14002301.09	13401326.83	12834843.33	12300351.02	11795561.87

ตารางที่ 1 แสดงค่า IRR (ต่อ)

22%	23%	24%	25%	26%	27%	28%	29%	30%	31%	32%	33%
-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000
2245901.64	2227642.28	2209677.42	2192000.00	2174603.17	2157480.31	2140625.00	2124031.01	2107692.31	2091603.05	2075757.58	2060150.38
2482531.58	2442329.30	2403095.73	2364800.00	2327412.45	2290904.58	2255249.02	2220419.45	2186390.53	2153137.93	2120638.20	2088868.79
2034861.95	1985633.58	1937980.43	1891840.00	1847152.74	1803861.88	1761913.30	1721255.38	1681838.87	1643616.74	1606544.09	1570578.04
1667919.63	1614336.24	1562887.44	1513472.00	1465994.23	1420363.68	1376494.77	1334306.50	1293722.21	1254669.27	1217078.86	1180885.74
1367147.24	1312468.49	1260393.10	1210777.60	1163487.49	1118396.60	1075386.54	1034346.12	995170.93	957762.80	922029.44	887884.02
1120612.49	1067047.55	1016446.05	968622.08	923402.77	880627.24	840145.73	801818.70	765516.10	731116.64	698507.15	667581.97
918534.83	867518.34	819714.56	774897.66	732859.34	693407.28	656363.85	621564.88	588858.54	558104.31	529172.08	501941.33
752897.40	705299.46	661060.13	619918.13	581634.40	545989.98	512784.26	481833.24	452968.11	426033.82	400887.94	377399.50
617129.02	573414.19	533113.00	495934.50	461614.60	429913.37	400612.70	373514.14	348437.00	325216.66	303702.99	283759.02
505843.46	466190.40	429929.84	396747.60	366360.79	338514.47	312978.67	289545.85	268028.47	248256.99	230078.02	213352.65
11318379.22	10866879.83	10439297.70	10034009.58	9649521.98	9284459.40	8937553.84	8607635.28	8293623.06	7994518.20	7709396.34	7437401.41

GRAD.VRU

ตารางที่ 1 แสดงค่า IRR (ต่อ)

34%	35%	36%	37%	38%	39%	40%	41%	42%	43%	44%	45%
-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000
2044776.12	2029629.63	2014705.88	2000000.00	1985507.25	1971223.02	1957142.86	1943262.41	1929577.46	1916083.92	1902777.78	1889655.17
2057807.98	2027434.84	1997729.24	1968671.75	1940243.65	1912426.89	1885204.08	1858558.42	1832473.72	1806934.32	1781925.15	1757431.63
1535677.59	1501803.59	1468918.56	1436986.68	1405973.66	1375846.69	1346574.34	1318126.54	1290474.45	1263590.44	1237448.02	1212021.81
1146028.05	1112447.10	1080087.17	1048895.38	1018821.49	989817.76	961838.82	934841.52	908784.82	883629.68	859338.91	835877.11
855244.82	824034.89	794181.75	765617.07	738276.44	712099.11	687027.73	663008.17	639989.31	617922.85	596763.13	576466.97
638242.40	610396.21	583957.17	558844.58	534982.93	512301.52	490734.09	470218.56	450696.70	432113.88	414418.84	397563.43
476300.30	452145.34	429380.27	407915.75	387668.79	368562.24	350524.35	333488.34	317392.04	302177.54	287790.86	274181.68
355447.98	334922.48	315720.79	297748.72	280919.41	265152.69	250374.54	236516.55	223515.52	211312.96	199854.76	189090.81
265259.69	248090.72	232147.64	217334.83	203564.79	190757.33	178838.95	167742.24	157405.30	147771.30	138788.03	130407.46
197954.99	183770.91	170696.79	158638.56	147510.72	137235.49	127742.11	118966.13	110848.80	103336.58	96380.58	89936.18
7177739.93	6929675.72	6692525.25	6465653.32	6248469.12	6040422.74	5841001.87	5649728.88	5466158.12	5289873.47	5120486.06	4957632.25

GRAD.VRU

ตารางที่ 1 แสดงค่า IRR (ต่อ)

46%	47%	48%	49%	50%	51%	52%	53%	54%	55%	56%	57%
-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000
1876712.33	1863945.58	1851351.35	1838926.17	1826666.67	1814569.54	1802631.58	1790849.67	1779220.78	1767741.94	1756410.26	1745222.93
1733439.67	1709935.67	1686906.50	1664339.44	1642222.22	1620542.96	1599290.17	1578452.73	1558019.90	1537981.27	1518326.76	1499046.61
1187287.45	1163221.55	1139801.69	1117006.34	1094814.81	1073207.26	1052164.58	1031668.45	1011701.24	992245.98	973286.38	954806.76
813210.58	791307.18	770136.28	749668.68	729876.54	710733.28	692213.54	674293.11	656948.85	640158.70	623901.53	608157.17
556993.55	538304.20	520362.35	503133.34	486584.36	470684.29	455403.65	440714.45	426590.16	413005.61	399936.88	387361.26
381502.43	366193.33	351596.18	337673.39	324389.57	311711.45	299607.66	288048.66	277006.60	266455.23	256369.79	246726.91
261303.03	249111.11	237564.99	226626.43	216259.72	206431.43	197110.30	188267.10	179874.42	171906.60	164339.61	157150.90
178974.68	169463.34	160516.88	152098.28	144173.14	136709.55	129677.83	123050.39	116801.57	110907.49	105345.90	100096.12
122585.40	115281.18	108457.35	102079.38	96115.43	90536.13	85314.36	80425.09	75845.17	71553.22	67529.43	63755.49
83962.60	78422.57	73282.00	68509.65	64076.95	59957.70	56127.87	52565.42	49250.11	46163.37	43288.09	40608.59
4800971.71	4650185.72	4504975.57	4365061.11	4230179.43	4100083.59	3974541.55	3853335.07	3736258.81	3623119.39	3513734.63	3407932.74

ตารางที่ 1 แสดงค่า IRR (ต่อ)

58%	59%	60%	61%	62%	63%	64%	65%	66%	67%	68%	69%
-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000
1734177.22	1723270.44	1712500.00	1701863.35	1691358.02	1680981.60	1670731.71	1660606.06	1650602.41	1640718.56	1630952.38	1621301.78
1480131.39	1461571.93	1443359.38	1425485.13	1407940.86	1390718.51	1373810.23	1357208.45	1340905.79	1324895.12	1309169.50	1293722.21
936792.02	919227.63	902099.61	885394.49	869099.30	853201.54	837689.17	822550.57	807774.57	793350.37	779267.56	765516.10
592906.34	578130.58	563812.26	549934.47	536481.05	523436.53	510786.08	498515.50	486611.19	475060.10	463849.74	452968.11
375257.18	363604.14	352382.66	341574.20	331161.14	321126.70	311454.92	302130.61	293139.27	284467.13	276101.03	268028.47
237504.54	228681.85	220239.16	212157.89	204420.46	197010.25	189911.54	183109.46	176589.92	170339.60	164345.85	158596.73
150319.33	143825.06	137649.48	131775.09	126185.47	120865.18	115799.72	110975.43	106379.47	101999.76	97824.91	93844.22
95138.82	90456.01	86030.92	81847.88	77892.26	74150.42	70609.58	67257.84	64084.02	61077.70	58229.11	55529.12
60214.44	56890.58	53769.33	50837.19	48081.64	45491.05	43054.62	40762.32	38604.83	36573.47	34660.19	32857.47
38110.41	35780.24	33605.83	31575.90	29680.03	27908.62	26252.82	24704.44	23255.92	21900.28	20631.06	19442.29
3305551.68	3206438.47	3110448.62	3017445.58	2927300.23	2839890.39	2755100.40	2672820.68	2592947.40	2515382.10	2440031.35	2366806.48

ตารางที่ 1 แสดงค่า IRR (ต่อ)

70%	71%	72%	73%	74%	75%	76%	77%	78%	79%	80%	81%
-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000
1611764.71	1602339.18	1593023.26	1583815.03	1574712.64	1565714.29	1556818.18	1548022.60	1539325.84	1530726.26	1522222.22	1513812.15
1278546.71	1263636.67	1248985.94	1234588.53	1220438.63	1206530.61	1192858.99	1179418.43	1166203.76	1153209.95	1140432.10	1127865.45
752086.30	738968.82	726154.62	713634.99	701401.51	689446.06	677760.79	666338.10	655170.65	644251.37	633573.39	623130.08
442403.71	432145.51	422182.92	412505.77	403104.32	393969.18	385091.36	376462.20	368073.40	359916.97	351985.22	344270.76
260237.47	252716.67	245455.18	238442.64	231669.15	225125.25	218801.91	212690.51	206782.81	201070.93	195547.34	190204.84
153080.87	147787.53	142706.50	137828.12	133143.19	128643.00	124319.27	120164.13	116170.12	112330.13	108637.41	105085.55
90047.57	86425.45	82968.90	79669.43	76519.07	73510.28	70635.95	67889.34	65264.11	62754.26	60354.12	58058.31
52969.16	50541.20	48237.73	46051.69	43976.48	42005.88	40134.06	38355.56	36665.23	35058.25	33530.07	32076.42
31158.33	29556.26	28045.19	26619.48	25273.84	24003.36	22803.44	21669.81	20598.44	19585.61	18627.81	17721.78
18328.43	17284.36	16305.34	15386.98	14525.19	13716.20	12956.50	12242.83	11572.16	10941.68	10348.79	9791.04
2295623.25	2226401.65	2159065.57	2093542.66	2029764.03	1967664.11	1907180.44	1848253.50	1790826.53	1734845.41	1680258.46	1627016.39

ตารางที่ 1 แสดงค่า IRR (ต่อ)

82%	83%	84%	85%	86%	87%	88%	89%	90%	91%	92%	93%
-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000
1505494.51	1497267.76	1489130.43	1481081.08	1473118.28	1465240.64	1457446.81	1449735.45	1442105.26	1434554.97	1427083.33	1419689.12
1115505.37	1103347.37	1091387.05	1079620.16	1068042.55	1056650.18	1045439.11	1034405.53	1023545.71	1012856.01	1002332.90	991972.94
612915.04	602922.06	593145.14	583578.47	574216.42	565053.57	556084.63	547304.51	538708.27	530291.10	522048.39	513975.62
336766.51	329465.61	322361.49	315447.82	308718.51	302167.68	295789.70	289579.11	283530.67	277639.32	271900.20	266308.61
185036.54	180035.85	175196.46	170512.33	165977.69	161587.00	157334.95	153216.46	149226.67	145360.90	141614.69	137983.74
101668.43	98380.25	95215.47	92168.83	89235.32	86410.16	83688.80	81066.91	78540.35	76105.18	73757.65	71494.16
55861.77	53759.70	51747.54	49820.99	47975.98	46208.64	44515.32	42892.54	41337.03	39845.65	38415.44	37043.61
30693.28	29376.88	28123.66	26930.26	25793.54	24710.50	23678.36	22694.47	21756.33	20861.59	20008.04	19193.58
16864.44	16052.94	15284.60	14556.90	13867.49	13214.17	12594.87	12007.66	11450.70	10922.30	10420.86	9944.86
9266.18	8772.10	8306.85	7868.59	7455.64	7066.40	6699.40	6353.26	6026.68	5718.48	5427.53	5152.78
1575072.07	1524380.51	1474898.68	1426585.44	1379401.42	1333308.95	1288271.96	1244255.90	1201227.66	1159155.51	1118009.03	1077759.01

GRADVRC

ตารางที่ 1 แสดงค่า IRR (ต่อ)

94%	95%	96%	97%	98%	99%	100%	101%	102%	103%	104%	105%
-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000
1412371.13	1405128.21	1397959.18	1390862.94	1383838.38	1376884.42	1370000.00	1363184.08	1356435.64	1349753.69	1343137.25	1336585.37
981772.77	971729.13	961838.82	952098.74	942505.87	933057.25	923750.00	914581.32	905548.48	896648.79	887879.66	879238.55
506068.44	498322.63	490734.09	483298.85	476013.06	468872.99	461875.00	455015.58	448291.32	441698.91	435235.13	428896.85
260860.02	255550.07	250374.54	245329.37	240410.64	235614.57	230937.50	226375.91	221926.40	217585.67	213350.55	209217.98
134463.93	131051.32	127742.11	124532.67	121419.51	118399.28	115468.75	112624.83	109864.55	107185.06	104583.60	102057.55
69311.30	67205.80	65174.55	63214.56	61322.99	59497.13	57734.38	56032.25	54388.39	52800.52	51266.47	49784.17
35727.48	34464.51	33252.32	32088.61	30971.21	29898.05	28867.19	27876.74	26924.95	26010.11	25130.62	24284.96
18416.22	17674.11	16965.47	16288.63	15642.02	15024.15	14433.59	13869.03	13329.18	12812.86	12318.93	11846.32
9492.90	9063.65	8655.85	8268.34	7900.01	7549.82	7216.80	6900.01	6598.60	6311.75	6038.69	5778.69
4893.25	4648.02	4416.25	4197.13	3989.90	3793.88	3608.40	3432.84	3266.64	3109.24	2960.14	2818.88
1038377.44	999837.44	962113.17	925179.84	889013.60	853591.53	818891.60	784892.61	751574.16	718916.61	686901.07	655509.32

GRADVRC

ตารางที่ 1 แสดงค่า IRR (ต่อ)

106%	107%	108%	109%	110%	111%	112%	113%	114%	115%	116%	117%	118%	119%	120%
-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000
1330097.09	1323671.50	1317307.69	1311004.78	1304761.90	1298578.20	1292452.83	1286384.98	1280373.83	1274418.60	1268518.52	1262672.81	1256880.73	1251141.55	1245454.55
870722.97	862330.51	854058.80	845905.54	837868.48	829945.42	822134.21	814432.76	806839.03	799351.00	791966.74	784684.32	777501.89	770417.63	763429.75
422681.05	416584.79	410605.19	404739.49	398984.99	393339.06	387799.16	382362.80	377027.58	371791.16	366651.27	361605.68	356652.24	351788.87	347013.52
205184.98	201248.69	197406.34	193655.26	189992.85	186416.62	182924.13	179513.05	176181.11	172926.12	169745.96	166638.56	163601.95	160634.19	157733.42
99604.36	97221.59	94906.90	92658.02	90472.79	88349.11	86284.97	84278.43	82327.62	80430.75	78586.09	76791.96	75046.76	73348.94	71697.01
48351.63	46966.95	45628.32	44333.98	43082.28	41871.61	40700.46	39567.34	38470.85	37409.65	36382.45	35388.00	34425.12	33492.67	32589.55
23471.67	22689.35	21936.69	21212.43	20515.37	19844.37	19198.33	18576.21	17977.03	17399.84	16843.73	16307.83	15791.34	15293.46	14813.43
11394.01	10961.04	10546.49	10149.49	9769.22	9404.91	9055.82	8721.23	8400.48	8092.95	7798.02	7515.13	7243.73	6983.31	6733.38
5531.07	5295.19	5070.43	4856.21	4652.01	4457.30	4271.61	4094.47	3925.46	3764.16	3610.20	3463.19	3322.81	3188.73	3060.63
2684.99	2558.06	2437.70	2323.55	2215.24	2112.47	2014.91	1922.29	1834.33	1750.77	1671.39	1595.94	1524.23	1456.04	1391.19
624723.82	594527.66	564904.55	535838.76	507315.15	479319.07	451836.42	424853.56	398357.33	372335.02	346774.35	321663.44	296990.82	272745.39	248916.43

ตารางที่ 1 แสดงค่า IRR (ต่อ)

121%	122%	123%	124%	125%	126%	127%	128%	129%	130%	131%	132%
-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000	-2,395,000
1239819.00	1234234.23	1228699.55	1223214.29	1217777.78	1212389.38	1207048.46	1201754.39	1196506.55	1191304.35	1186147.19	1181034.48
756536.52	749736.22	743027.21	736407.84	729876.54	723431.75	717071.94	710795.63	704601.36	698487.71	692453.29	686496.73
342324.22	337719.02	333196.06	328753.50	324389.57	320102.54	315890.72	311752.47	307686.18	303690.31	299763.33	295903.76
154897.84	152125.68	149415.27	146764.96	144173.14	141638.29	139158.91	136733.54	134360.78	132039.27	129767.67	127544.73
70089.52	68525.08	67002.36	65520.07	64076.95	62671.81	61303.48	59970.85	58672.83	57408.38	56176.48	54976.17
31714.71	30867.15	30045.90	29250.03	28478.65	27730.89	27005.94	26303.00	25621.32	24960.16	24318.82	23696.63
14350.55	13904.12	13473.50	13058.05	12657.18	12270.31	11896.89	11536.41	11188.35	10852.25	10527.63	10214.06
6493.46	6263.12	6041.93	5829.49	5625.41	5429.34	5240.92	5059.83	4885.74	4718.37	4557.42	4402.61
2938.22	2821.22	2709.38	2602.45	2500.18	2402.36	2308.78	2219.22	2133.51	2051.46	1972.91	1897.68
1329.51	1270.82	1214.97	1161.81	1111.19	1062.99	1017.08	973.34	931.66	891.94	854.07	817.96
225493.54	202466.69	179826.14	157562.48	135666.60	114129.67	92943.12	72098.68	51588.30	31404.19	11538.81	-8015.18

GRADVRU

ตัวอย่างการคำนวณค่า IRR

การคำนวณค่า IRR นั้นค่าอัตราคิดลดที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่ามากกว่าอัตราคิดลดที่เลือกใช้ จะถือได้ว่าเป็นโครงการที่น่าลงทุน โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร Net present value (NPV) โดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์อัตราคิดลดให้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยการคำนวณหาค่า IRR ต้องมีการคำนวณค่า NPV ในขั้นต้น จากสูตร

$$\frac{(Benefit - Cost)}{(1 + \text{อัตราคิดลด})^{n}}$$

ซึ่งสามารถแทนค่าในสูตรได้ดังนี้ (สมมุติ อัตราคิดลดที่ 0.08% คิดปีที่ 9)

$$\frac{(1{,}658.40 - 1{,}000)}{(1 + 0.08)^{9}}$$

จากนั้นจึงนำมาคำนวณค่า IRR ที่แท้จริงโดยคำนวณเมื่อค่า NPV sum ติดลบจึงนำมาคำนวณจากสูตร

$$IRR = i_L + (i_U - i_L) \times \frac{NPV_L}{(NPV_L - NPV_U)}$$

ซึ่งสามารถแทนค่าในสูตรได้ ดังนี้

$$IRR = 131 + \{(132 - 131) \times \frac{11538.81}{(11538.81 - (-8015.18))}$$

IRR = ร้อยละ 77.89

ตัวอย่างการคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ในการคำนวณระยะเวลาคืนทุนนั้น คิดได้จากค่า NPV สะสมที่เปลี่ยนเป็นบวก ซึ่งจากโครงการนี้มีระยะเวลา 10 ปี ซึ่งตัวอย่างการคิดระยะเวลาคืนทุนแสดงได้ดังนี้

$$Payback\ period = 0 + \frac{2395000}{142037.04}$$

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน คือ 9 เดือน 4 วัน

GRAD VRU

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนระหว่างผลตอบแทนต่อต้นทุน

การคำนวณอัตราส่วนระหว่างผลตอบแทนต่อต้นทุน หรือ Benefit/Cost ratio เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในโครงการ

โดยที่

ถ้า Benefit/Cost ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่า เหมาะแก่การลงทุน

ถ้า Benefit/Cost ratio มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มค่า ไม่เหมาะแก่การลงทุน

ตัวอย่างการคำนวณ (คิดตั้งแต่ปีที่ 1-10)

$$B/C\ Ratio = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย}}$$

$$= 1760831.57 \div 998181.97$$

$$= 17.7$$

GRAD VRU

ภาคผนวก ค
ข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ในพระบรมราชูปถัมภ์
GRAD VRU

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์วิเคราะห์คุณภาพน้ำ

น้ำขาเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย	Sample 1	Sample 2	Sample 3	avg	std
ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU)	106	105	107	106	1.00
ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS)	3550	3750	3500	3600	132.29
ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS)	605	625	615	615	10.00
ค่าซีโอดี (COD)	1062.46	1135.65	1100	1099.37	18.03
น้ำในบ่อเติมอากาศ	**Sample 1**	**Sample 2**	**Sample 3**	**avg**	**std**
ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU)	98	90	97	95	4.36
ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS)	2500	2400	2450	2450.00	50.00
ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS)	530	515	545	530	15.00
ค่าซีโอดี (COD)	1009	966	966	980.33	24.83
น้ำจากถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายก่อนติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์	**Sample 1**	**Sample 2**	**Sample 3**	**avg**	**std**
ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU)	89	94	89	90	2.89
ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS)	2050	2300	1950	2100.00	180.28
ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS)	205	230	225	220.00	13.23
ค่าซีโอดี (COD)	830	850	870	850.00	20.00
น้ำจากถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายหลังติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์	**Sample 1**	**Sample 2**	**Sample 3**	**avg**	**std**
ค่าความขุ่น (Turbidity: NTU)	2	4	3	3	1.00
ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS)	950	1200	850	1000	180.28
ค่าของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS)	35	45	40	40	5.00
ค่าซีโอดี (COD)	25	30	26	27	2.65

GRAD VRU

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายวัฒนา หงษี
วัน เดือน ปี เกิด	21 สิงหาคม พ.ศ. 2523
สถานที่เกิด	จังหวัดหนองคาย
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2548 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ จังหวัดฉะเชิงเทรา
ที่อยู่ปัจจุบัน	57/30 หมู่ 10 ตำบลศรีษะจรเข้น้อย อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ 10570
ผลงานตีพิมพ์	วัฒนา หงษี ศศิธร หาสิน และวนัสพรรัศม์ สวัสดี (2563) การประยุกต์ใช้แผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ร่วมกับพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำผลไม้. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 16 (3); 55-65

GRAD VRU