การพัฒนาถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับกิจกรรมของภาคชุมชนและภาคเกษตรกรรม

Development of membrane bioreactor for water reuses purposes in municipal and agricultural sectors

สุดา อิทธิสุภรณ์รัตน์[1] ชญานิน น้ำเยื้อง[1] พินทุสร อึ้งสุวรรณ[1] ปัญจา ใยถาวร[1] สุธิดา ทีปรักษพันธุ์[2]
อาทิตย์ เพ็ชร์รักษ์[3] และณัฐฐา แสงนรินทร์ เหมจินดา[4]

[1]ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
[2]ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
[3]ภาควิชาเวชศาสตร์สังคมและสิ่งแวดล้อม คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล
[4]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2561–2562

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้าง (greywater) และการอำนวยความสะดวกต่างๆ ณ หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จังหวัดนครนายก

ขอขอบคุณวิทยากร ที่มาร่วมบรรยายในการอบรมเชิงปฏิบัติการเผยแพร่ผลงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ได้แก่ ดร. สุธิดา ทีปรักษพันธุ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และ ดร. ณัฐฐา แสงนรินทร์ เหมจินดา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และ ดร. อาทิตย์ เพ็ชร์รักษ์ ภาควิชาเวชศาสตร์สังคมและสิ่งแวดล้อม คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ศึกษาการใช้เทคโนโลยีทางเลือกในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำซักล้าง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของกลุ่มงานน้ำและขยะ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ที่ร่วมกันช่วยทำให้โครงการวิจัยนี้ สำเร็จตามเป้าประสงค์ที่ตั้งไว้

บทคัดย่อ

การพัฒนาถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนในการบำบัดน้ำเสียประเภทซักล้างได้ทำการติดตั้งที่หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สามารถรองรับน้ำเสียได้เฉลี่ย 9.0 ± 3.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง มีอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เฉลี่ยที่ 1.13 – 1.54 กก.ซีโอดี/วัน โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี ซีโอดี ตะกอนแขวนลอย แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค ได้แก่ โคลิฟอร์มทั้งหมด และอีโคไล มากกว่าร้อยละ 95 น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าบีโอดี ซีโอดี ตะกอนแขวนลอย และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เท่ากับ 0.7 ± 0.5, 5.0 ± 6.5, 0.6 ± 0.8 และ 0.3 ± 0.7 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนโคลิฟอร์มทั้งหมด และอีโคไล มีค่าเท่ากับ 346 ± 314 CFU/100 มล. และตรวจไม่พบ ตามลำดับ ในขณะที่สารซักล้างประเภทประจุลบ ได้แก่ Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) และ Sodium Lauryl Sulfate (SLS) มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 97 และ 89 ตามลำดับ ส่วนสารซักล้างประเภทประจุบวก ได้แก่ Benzalkonium Chloride (BKC) มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 100 โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าของ LAS SLS และ BKC เท่ากับ 0.02 1.29 มิลลิกรัมต่อลิตร และตรวจไม่พบ ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดสารฆ่าเชื้อโรค (biocides) ได้แก่ Triclocarban (TCC) และ Triclosan (TCS) มีค่าเท่ากับร้อยละ 75 และ 78 ตามลำดับ โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเท่ากับ 0.02 และ 0.01 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การทดสอบการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในกิจกรรมภาคชุมชนและเกษตรกรรม ซึ่งสำหรับภาคชุมชนได้มีการนำน้ำมาใช้ในชักโครกจำนวน 2 ห้อง โดยมีปริมาณการใช้น้ำอยู่ที่ 90.2 ลิตรต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ด้านที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัสของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดดีกว่าเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ และสำหรับภาคเกษตรกรรมได้ทำการทดสอบการปลูกพืชไร้ดินซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินใบ ได้แก่ ผักสลัดบัตเตอร์เฮด เปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของผักระหว่างการให้น้ำประปาซึ่งเป็นชุดควบคุม และการทดสอบกับน้ำที่ผ่านการบำบัด พบว่าอัตราการการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อเปรียบเทียบการสะสมของไนเตรทในผักสลัด พบว่าความเข้มข้นของไนเตรทของผักสลัดที่ให้น้ำประปาและน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเท่ากับ 581 และ 1,356 มก./กก. ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ระดับความปลอดภัยต่อการบริโภคของสหภาพยุโรปที่กำหนดไว้ไม่เกิน 3,500 มก./กก. ส่วนการทดสอบกับพืชกินผล ได้ทำการทดสอบกับการปลูกเมล่อน โดยเปรียบเทียบผลการเจริญของเมล่อนระหว่างการให้น้ำประปาซึ่งเป็นชุดควบคุม และการทดสอบกับน้ำที่ผ่านการบำบัด พบว่าอัตราการการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยน้ำหนักของผลเมล่อนที่เลี้ยงด้วยน้ำประปา และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเท่ากับ 2.4 ± 0.5 และ 1.9 ± 0.3 กก. ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับพืชกินใบหรือหัวและพืชกินผลหรือเมล็ด พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณสมบัติดีกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าน้ำเสียชุมชนจากการซักล้างที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนมีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในด้านที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัสและการนำไปใช้ในการปลูกพืชกินใบหรือหัว และพืชกินผลหรือเมล็ดได้

ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารเคมีด้วยการประเมินจากค่าดัชนีอันตราย (Hazard Quotient; *HQ*) พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (HQ <1) และผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสเชื้อก่อโรคจากน้ำที่ผ่านการบำบัด ด้วยวิธีการ Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) พบว่ามีความปลอดภัย

ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 420 ราย พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามทราบความหมายในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 71 แต่ทราบวิธีการจัดการเพียงเล็กน้อยถึงร้อยละ 68 โดยผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญกับคุณลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดในเรื่องที่ต้องผ่านการรับรองมาตรฐาน ไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อโรค และปราศจากสารเคมีตกค้าง และปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่มีการคำนึงถึงด้านการความปลอดภัยในการสัมผัสกับน้ำมากที่สุด

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำซักล้างด้วยผงถ่านกัมมันต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อบ่งบอกคุณลักษณะของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำซักล้าง ซึ่งสามารถถูกกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพด้วยผงถ่านกัมมันต์ พบว่าส่วนใหญ่สารอินทรีย์ในน้ำซักล้างมีคุณลักษณะเป็นแบบชอบน้ำ ซึ่งอาจจะทำให้ขาดประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยการปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบทั่วไป ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 6 กรัมต่อลิตร สามารถบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากการซักล้างอย่างมีประสิทธิภาพ ร้อยละ 88 โดยพบว่าสารอินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตร และสารอินทรีย์ประเภทอะโรมาติกโปรตีน (Aromatic proteins) ถูกบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ประเภทอื่นๆ และไนโตรเจนทั้งหมด ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ผงถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดสารอินทรีย์ ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำซักล้าง

Abstract

Membrane bioreactor for treating greywater was operated at Srinakharinwirot dormitory, which has treatment capacity of 9.0 ± 3.3 m^3/d with hydraulic retention time (HRT) of 12 h and the average organic loading rate of 1.13 – 1.54 kg-COD/d. The treatment efficiency in terms of BOD, COD, SS, NH_4-N, Total coliform and *E. coli* were higher than 95%. The permeate effluent concentrations of BOD, COD, SS and NH_4-N were 0.7 ± 0.5, 5.0 ± 6.5, 0.6 ± 0.8, 0.3 ± 0.7 mg/L, respectively. In case of Total coliform, the permeate effluent concentration was 346 ± 314 CFU/100 mL while *E. coli* showed nondetectable. In case of surfactants removal, the results found that treatment efficiency of anionic surfactants in terms of Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) and Sodium Lauryl Sulfate (SLS) were 97 and 89 % with permeate effluent concentration as 0.02 and 1.29 mg/L, respectively. Furthermore, MBR can be completely treated Benzalkonium Chloride (BKC) as one of cationic surfactant. In case of biocides removal, treatment efficiencies of Triclocarban (TCC) and Triclosan (TCS) were 75 and 78% with permeate concentration as 0.02 and 0.01 µg/L, respectively.

The treated wastewater for municipal and agricultural reuse was evaluated. As for municipal sector, toilet flushing was tested for 2 restrooms. The average reuse water volume was 90.2 L/d. When compared to water reuse guideline in terms of direct contact which has been established by Environmental Research and Training Center, the results showed that treated wastewater qualities were greater than that water reuse guideline. As for municipal sector, hydroponic in terms of Butter head was tested by comparing growth rate between tap water (control) and treated greywater (test). The experimental results revealed that there was insignificant of Butter head growth rate at confidential level 95 %. Furthermore, the nitrate accumulation of Butter head after harvesting for tap water and treated wastewater were 581 and 1,356 mg/kg, respectively which was in the criteria of EU recommended daily intakes (RDI) as below 3,500 mg/kg. Likewise, melon also was tested by watering tap water and treated greywater. The results revealed that melon growth weight after harvesting for tap water and treated greywater as 2.4 ± 0.5 and 1.9 ± 0.3 kg, respectively which was insignificant at confidential level 95 %. When comparing to water reuse guideline for butter head and melon, treated greywater quality was greater than that guideline. It can be concluded that treated greywater from MBR can be utilized for municipal and agricultural sectors.

As for assessing health risk of Hazard Quotient (HQ) caused by surfactants, it was showed that treated greywater was in the acceptable level (HQ <1). In addition, health risk assessment of pathogens which was tested by Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) revealed no risk caused by *E. coli.*

Water reuse perception was studied within Srinakharinwirot University by 420 questionnaires in total. The questionnaire results showed that 71% of answerers knew water reuse meaning but slightly knew the management process up to 68 %. The important points of water reuse characteristic needs

were certified standard approval, free from pathogen and pollutants contamination. Furthermore, direct contact of treated water was significant safety factor for water reuse perception.

In this study, powdered activated carbon (PAC) as potential adsorbent was applied to remove dissolved organic matter (DOM) from greywater. The treatment efficiency of DOM has been followed through the evolution of the reduction of organic matter content, which expressesed by the analysis of ultraviolet absorbance at 254 nm (UV_{254}), dissolved organic carbon (DOC), total nitogen (TN) and fluorresent DOM. The results found that DOM in greywater was considered as being more hydrophilicity due to low value specific ultraviolet absorbance at 254 nm ($SUVA_{254}$). Moreover, the result of DOM characteristic in greywater suggests that conventional treatment processes may not appropriate in treating this DOM. PAC dose of 6 g/L was the effective adsorbent with overall treatment ability of 88%. UV_{254} absorbing compounds were the main target of DOM constituent for PAC treatment. In addition, the analysis of fluorescent DOM indicated that aromatic protiens was effectively removed by PAC adsorbent as compared with other DOM fractions. Overall results of this study reflect that PAC can be considered as the potentially effective adsorbent for DOM removal in greywater.

สารบัญ

คำขอบคุณ 2

บทคัดย่อ 3

บทที่ 1 บทนำ 13

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม 14

2.1 คุณลักษณะน้ำเสียชุมชน 14

2.2 การศึกษาการยอมรับในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ 14

2.3 รูปแบบการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในภาคครัวเรือนด้วยถังบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ 17

2.4 เทคโนโลยีอื่นๆ ในการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้าง (Greywater) 19

2.5 การบำบัดน้ำเสียจากการซักล้างด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน 19

2.6 คุณลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับการนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ 21

2.7 การประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในกิจกรรมด้านเกษตรและครัวเรือน 24

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 28

3.1 การสำรวจพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบ MBR 28

3.2 การติดตั้งระบบ MBR ที่หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) 30

ลักษณะการติตั้งระบบ MBR สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งติดตั้งด้านข้างของตึกหอพักบุคลากรฯ 30

3.3 การติดตั้งระบบล้างเมมเบรนอัตโนมัติ 31

3.4 การติดตั้งโรงเรือนสำหรับทดสอบการปลูกพืชไร้ดินและไม้ผล 31

3.4.1 โรงเรือนสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน (Hydroponics) 31

3.4.2 โรงเรือนทดสอบการปลูกพืชกินผล 32

3.5 การทดสอบประสิทธิภาพการเดินระบบ MBR 32

3.6 การทดสอบการปลูกพืชกินใบและกินผล 33

3.7 การติดตั้งระบบน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในชักโครก 34

3.8 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบ และการเจริญเติบโตของพืช 34

3.8.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 34

3.8.2 การวิเคราะห์สารซักล้าง 35

3.8.3 การวิเคราะห์ชนิดของสายพันธุ์จุลินทรีย์ 35

3.8.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะของสารอินทรีย์ 36

3.9 การประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยสำหรับการบริโภค 37

3.9.1 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารเคมี 37

3.9.2 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสเชื้อก่อโรค 37

3.10 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ 38

3.11 การทดสอบการบำบัดสารอินทรีย์จากน้ำซักล้างด้วยผงถ่านกัมมันต์ 46

3.11.1 การเตรียมผงถ่านกัมมันต์ 46
3.11.2 การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ด้วยผงถ่านกัมมันต์ 46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล 48
4.1 ผลการเดินระบบสำหรับเมมเบรน Flat sheet 48
4.2 ผลการเดินระบบสำหรับเมมเบรน hollow fiber 51
4.3 คุณลักษณะสังคมแบคทีเรียในระบบ 54
4.4 ผลการทดสอบการปลูกพืชกินใบและกินผล 56
4.4.1 ผลการทดสอบการปลูกผักสลัดซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินใบ 56
4.4.2 ผลการทดสอบการปลูกเมล่อนซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินผล 60
4.5 ผลการนำไปใช้สำหรับชักโครก 62
4.6 ผลการทดสอบความปลอดภัยต่อผู้บริโภค 63
4.6.1 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารเคมี 63
4.6.2 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสเชื้อก่อโรค 70
4.7 ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ 75
4.7.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม 75
4.7.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการรับรู้ของประชาชน เรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ 77
4.7.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกและการตัดสินใจใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับประกอบกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน 80
4.7.4 การวิเคราะห์การยอมรับการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประกอบกิจกรรมในชีวิตประจำวัน 82
4.8 ผลการบำบัดสารอินทรีย์ของน้ำเสียจากการซักล้างด้วยผงถ่านกัมมันต์ 85
4.8.1 คุณลักษณะของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากการซักล้าง 86
4.8.2 คุณลักษณะของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับ 87
4.8.3 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากการซักล้างด้วยผงถ่านกัมมันต์ 87
4.8.4 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ประเภทฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent DOM) ด้วยผงถ่านกัมมันต์ 89
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 92
เอกสารอ้างอิง 93
ภาคผนวกที่ 1 ชุดแบบสอบถามความเห็นและความพึงพอใจในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ 98
ภาคผนวกที่ 2 เอกสารประกอบการบรรยายการอบรมเชิงปฏิบัติการฯ วันที่ 26 สิงหาคม 2562 105
ภาคผนวกที่ 3 ผลการประเมินการอบรมเชิงปฏิบัติการฯ 132
ภาคผนวกที่ 4 การศึกษาออกแบบโครงสร้างถังปฏิกรณ์ชีวภาพ และประเมินราคางานโครงสร้าง 136

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ (Jiawkok et. al., 2013).....16
ตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย greywater ด้วยถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ.....18
ตารางที่ 2.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชนิด greywater ด้วยถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ.....18
ตารางที่ 2.4 เกณฑ์คุณภาพน้ำที่แนะนำสำหรับกิจกรรมที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัสและไม่มีโอกาสสัมผัส.....23
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรระดับการวัดข้อมูลและเกณฑ์การแบ่งกลุ่มคำตอบ สำหรับข้อมูลทั่วไป.....39
ตารางที่ 3.2 เกณฑ์ในการจัดระดับ สำหรับการรับรู้สถานการณ์น้ำเสียในพื้นที่.....40
ตารางที่ 3.3 เกณฑ์ในการจัดระดับ สำหรับการรับรู้คำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย และการบำบัดน้ำเสีย.....41
ตารางที่ 3.4 เกณฑ์ในการจัดระดับ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับการใช้งานในกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน.....42
ตารางที่ 3.5 เกณฑ์ในการจัดระดับ สำหรับระดับการยอมรับของการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วมาใช้ในกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน.....44
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำที่เข้าระบบและที่ผ่านการบำบัดของเมมเบรนแบบแผ่น.....50
ตารางที่ 4.2 ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ประเภทสารซักล้างที่เข้าระบบและที่ผ่านการบำบัด (n=1).....50
ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MBR สำหรับเมมเบรนแบบเส้นใย ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 24 ชั่วโมง และรับน้ำเสียที่ 3.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน.....52
ตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ประเภทสารซักล้างที่เข้าระบบและที่ผ่านการบำบัด (n=4).....52
ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MBR สำหรับเมมเบรนแบบเส้นใย ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง และรับน้ำเสียที่ 9 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน.....53
ตารางที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ประเภทสารซักล้างที่เข้าระบบและที่ผ่านการบำบัด (n=3).....54
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR และเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับพืชกินใบหรือหัว.....57
ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR และเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับรับประทานผลหรือเมล็ด.....60
ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR และเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัส.....63
ตารางที่ 4.10 ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีลุ่มสารยับยั้งแบคทีเรีย (biocide) และสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่ตรวจพบในตัวอย่าง.....64
ตารางที่ 4.11 ข้อมูลความเป็นอันตรายของสารเคมีที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำ และผักบัตเตอร์เฮด.....65
ตารางที่ 4.12 การประเมินขนาดการรับสัมผัสและการตอบสนองของสารเคมี.....66
ตารางที่ 4.13 ค่าแนะนำสำหรับคำนวณหาความเข้มข้นของสารมีที่เข้าสู่ร่างกาย.....68
ตารางที่ 4.14 ผลการการประเมินการรับสัมผัสปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ร่างกาย กรณีสารที่ไม่ก่อมะเร็ง.....68
ตารางที่ 4.15 ค่าดัชนีความเป็นอันตรายของสารเคมี.....70
ตารางที่ 4.16 ผลของการวิเคราะห์เชื้อ *E. coli* ในน้ำที่นำกลับไปใช้.....71
ตารางที่ 4.17 ค่าสัมประสิทธิ์ ของเชื้อต่างๆ ในการประเมินความเสี่ยงของการติดเชื้อ.....72

ตารางที่ 4.18 โอกาส ปริมาณ และความถี่ที่จะได้รับเชื้อโรคจากกิจกรรมการใช้น้ำไปใช้ประโยชน์ 73
ตารางที่ 4.19 ค่าความเสี่ยง *(Pi)* ในการสัมผัสเชื้อ *E. coli* จากการใช้น้ำ.....73
ตารางที่ 4.20 ค่าความเสี่ยงสูงสุดของการได้รับเชื้อโรค *E. coli* จากกิจกรรมต่างๆ.....75
ตารางที่ 4.21 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม 76
ตารางที่ 4.22 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างต่อการรับรู้เรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่.....78
ตารางที่ 4.23 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างที่เคยพบเห็นการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาในสถานที่ต่างๆ 78
ตารางที่ 4.24 จำนวนและร้อยละ ของกลุ่มตัวอย่างต่อคำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ 79
ตารางที่ 4.25 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้น้ำที่ผ่านการบำบัด.....81
ตารางที่ 4.26 คุณภาพน้ำของน้ำเสียจากการซักล้าง (Greywater quality) 86

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ภายในบ้านเรือน (กรมควบคุมมลพิษ, 2555).....15
รูปที่ 2.2 การยอมรับของประชาชนในเขตปริมณฑลสำหรับการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์.....16
รูปที่ 2.3 ลักษณะถังบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศขนาดเล็ก 17
รูปที่ 2.4 ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน 20
รูปที่ 2.5 กรอบการทำงานของการวิเคราะห์ความเสี่ยง.....25
รูปที่ 2.6 กรอบการศึกษาการประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในกิจกรรมด้านเกษตรและครัวเรือน.....25
รูปที่ 2.7 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย.....27
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งติดตั้งระบบ MBR ณ อาคารพักอาศัยกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) .29
รูปที่ 3.2 การติดตั้งระบบ MBR ที่หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์).....30
รูปที่ 3.3 โรงเรือนในการทดสอบการปลูกพืชกินใบ 32
รูปที่ 3.4 โรงเรือนในการทดสอบการปลูกพืชกินผล 32
รูปที่ 3.5 การติดตั้งท่อน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อนำไปใช้ในชักโครก 34
รูปที่ 3.6 ลักษณะตำแหน่งการทดสอบมีเดียจากน้ำที่ผ่านการบำบัด.....36
รูปที่ 3.7 กระบวนการประเมินความเสี่ยง 37
รูปที่ 4.1ลักษณะของสลัดจ์ในระบบ MBR.....48
รูปที่ 4.2 น้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR.....49
รูปที่ 4.3 น้ำเสียก่อนเข้าระบบ(ซ้าย) และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด(ขวา) 49
รูปที่ 4.4 ลักษณะสังคมแบคทีเรียในระดับไฟลัม (Phylum).....55
รูปที่ 4.5 ลักษณะสังคมแบคทีเรียระดับ Class ในไฟลัม Proteobacteria 56
รูปที่ 4.6 การปลูกผักสลัดซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินใบ.....58
รูปที่ 4.7 ลักษณะความสูงของลำต้นผักบัตเตอร์เฮด.....58
รูปที่ 4.8 ลักษณะความยาวของใบผักบัตเตอร์เฮด.....59
รูปที่ 4.9 ลักษณะความกว้างของใบผักบัตเตอร์เฮด.....59
รูปที่ 4.10 การปลูกเมล่อนซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินผล.....61
รูปที่ 4.11 ลักษณะการเกิดโรคในเมล่อน ได้แก่ โรคใบเหี่ยวจากเชื้อไวรัส (ซ้าย)และโรคราน้ำค้างจากเชื้อรา (ขวา) 62
รูปที่ 4.12 ลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดในชักโครก.....62
รูปที่ 4.13 สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างต่อพบเห็นการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในสถานที่ต่างๆ.....79
รูปที่ 4.14 ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างต่อคำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่.....80
รูปที่ 4.15 ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างต่อปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกและการตัดสินใจใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับประกอบกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน 81
รูปที่ 4.16 ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างต่อการยอมรับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่างๆ.....82

รูปที่ 4.17 ผลของเพศของผู้ตอบแบบสอบถามต่อการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดในกิจกรรมต่างๆ 84
รูปที่ 4.18 ผลของกลุ่มอาชีพของผู้ตอบแบบสอบถามต่อการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดในกิจกรรมต่างๆ 84
รูปที่ 4.19 ผลของศาสตร์สาขาวิชาของผู้ตอบแบบสอบถามกลุ่มนิสิตต่อการใช้น้ำหลังการบำบัดในกิจกรรมต่างๆ 85
รูปที่ 4.20 ผลของสายปฏิบัติงานของผู้ตอบแบบสอบถามกลุ่มบุคลากรต่อการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดในกิจกรรมต่างๆ.....85
รูปที่ 4. 21 ไอโซเทอมการดูดซับและคายซับของก๊าซไนโตรเจนต่อผงถ่านกัมมันต์.....87
รูปที่ 4. 22 ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (UV_{254}).....88
รูปที่ 4. 23 ระยะเวลาการดูดซับที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (UV_{254} และ DOC) และ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen: TN).....89
รูปที่ 4. 24 สเปกตรัมฟลูออเรสเซนต์ของ (A) น้ำเสียจากการซักล้าง และ(B)น้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 6 กรัมต่อลิตร 91
รูปที่ 4. 25 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นสารอินทรีย์ที่สามารถเรืองแสง (Fluorescent DOM) ก่อนและหลังบำบัดด้วยปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 6 กรัมต่อลิตร 91

บทที่ 1 บทนำ

จากการที่ในปัจจุบัน วิกฤตปัญหาด้านน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค ถือว่าเป็นปัญหาที่จะทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ ในหลายๆพื้นที่ มีการขาดแคลนน้ำอย่างมาก มีปัญหาการแย่งน้ำทั้งเพื่อการผลิตน้ำประปา การเกษตรกรรม และการทำอุตสาหกรรม ซึ่งน้ำที่มีการใช้ประโยชน์ไปแล้ว จึงเป็นน้ำเสียที่มักจะถูกระบายลงแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกวิธี ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ระบบนิเวศน์เสื่อมโทรม ซึ่งการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภค บริโภค นอกจากการที่แต่ละคนช่วยกันประหยัดน้ำ ใช้น้ำอย่างรู้คุณค่า น้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้น ก็จัดเป็นต้นทุนน้ำที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เมื่อมีการผ่านกระบวนการบำบัดอย่างเหมาะสม

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้ดำเนินโครงการวิจัยการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้าง (greywater) เพื่อนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์สำหรับภาคชุมชนและภาคเกษตรกรรมเพื่อทดแทนน้ำที่ใช้จากชักโครก การปรับปรุงภูมิทัศน์ และการเกษตรกรรม ด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน (membrane bioreactor: MBR) ที่หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จังหวัดนครนายก ซึ่งสามารถรับน้ำเสียได้ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เป็นระบบที่ใช้พื้นที่น้อย และที่สำคัญคุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัดมีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งนอกจากทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้างแล้ว ได้ทำการทดสอบการใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดในการปลูกพืชกินใบอย่างผักสลัดแบบไร้ดิน และพืชกินผลด้วยการปลูกเมล่อนในโรงเรือน รวมถึงการทดสอบการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในชักโครกของหอพักด้วย มีการศึกษาการประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่อผู้บริโภค การสำรวจทัศนคติในการยอมรับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ตลอดจนการศึกษาการใช้เทคโนโลยีทางเลือกในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำซักล้างด้วย โดยการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เห็นรูปแบบการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม สามารถกล่าวได้ว่า ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน สามารถเป็นเทคโนโลยีทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และสามารถประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการน้ำอย่างเหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

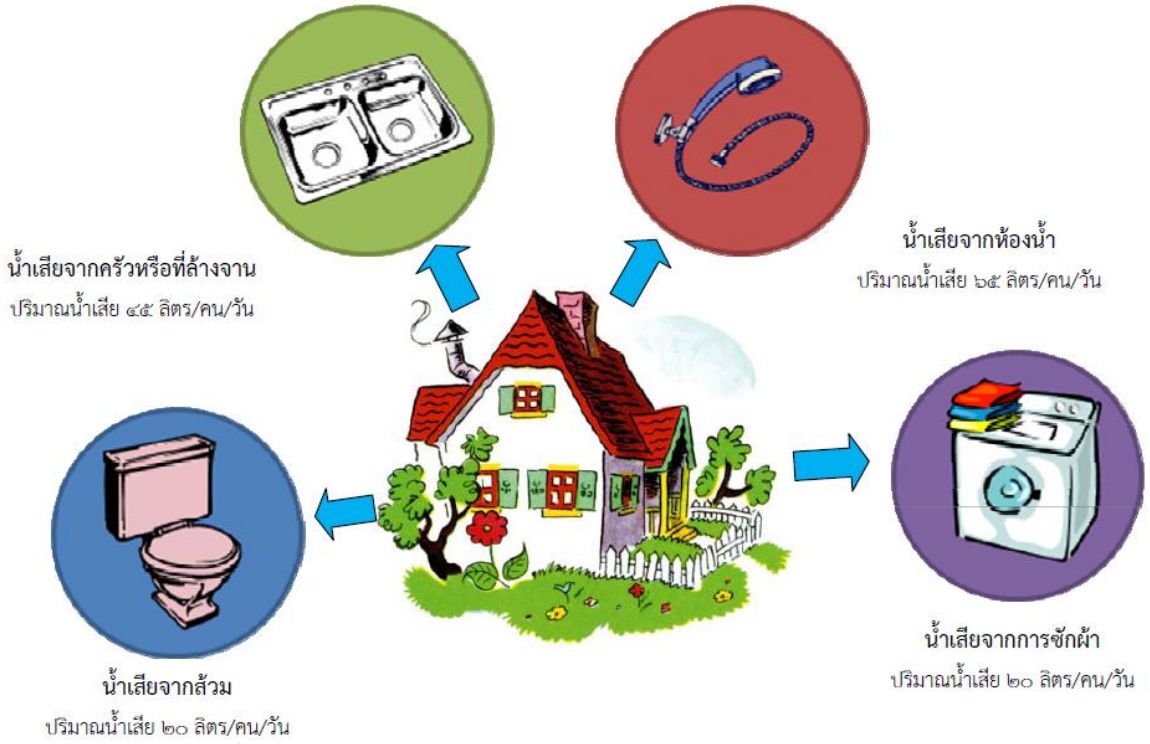
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม

2.1 คุณลักษณะน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชนเป็นน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากบ้านเรือนอันเกิดจากกิจกรรมการใช้น้ำต่างๆของผู้ที่พักอาศัยภายในบ้านเรือน เช่น การอาบน้ำชำระล้างร่างกาย การขับถ่าย การประกอบอาหาร การล้างภาชนะ การซักล้าง เป็นต้น ซึ่งมีอัตราการใช้น้ำเสีย ปริมาณ และลักษณะน้ำเสียที่แตกต่างกันตามกิจกรรมต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือนจะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ หรืออาจประเมินได้จากจำนวนผู้อยู่อาศัยในบ้านเรือน โดยเฉลี่ยแล้วปริมาณน้ำเสียรวมที่เกิดขึ้นจากบ้านเรือนจะอยู่ที่ 150 ลิตร/คน/วัน ซึ่งมีปริมาณความสกปรกในรูปของบีโอดีเฉลี่ยอยู่ที่ 120 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมแต่ละประเภทของคนไทย จะเห็นว่า น้ำเสียที่มาจากกิจกรรมต่างๆ ยกเว้นน้ำเสียจากส้วม (greywater) มีปริมาณมากถึง 130 ลิตร/คน/วัน หรือมีปริมาณการใช้ถึงร้อยละ 86 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในต่างประเทศที่กล่าวว่า น้ำเสีย greywater มีปริมาณมากถึงร้อยละ 50-80 (Eriksson et al. 2003; Friedler & Hadari 2006; Atasoy et al. 2007; Al-Hamaiedeh and Bino, 2010)

2.2 การศึกษาการยอมรับในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

ทั้งนี้ จากผลการศึกษาที่ผ่านมาของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ในโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในภูมิภาคเขตร้อน ร่วมกับมหาวิทยาลัย Ritsumeikan ประเทศญี่ปุ่น ได้ทำการสำรวจปริมาณการใช้น้ำในแต่ละกิจกรรม วิเคราะห์ปริมาณค่าความสกปรกของน้ำเสียแต่ละกิจกรรมที่เกิดขึ้น รวมทั้ง ศึกษาการยอบรับของประชาชนในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่จากชุมชนในเขตปริมณฑล (Peri-urban area) โดยเน้นน้ำใช้ส่วนใหญ่ที่ไม่ได้มาจากส้วม (greywater) และพัฒนารูปแบบการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ในภาคครัวเรือนด้วยการใช้ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบของสารปนเปื้อน ได้แก่ สารอินทรีย์ ตะกอนแขวนลอย ฟอสฟอรัสทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด ดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค และสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการซักล้าง ทำความสะอาดร่างกาย (ส่วนใหญ่จะเป็น anionic surfactants) โดยการเปรียบเทียบน้ำเข้าและออกจากระบบ



รูปที่ 2.1 น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ภายในบ้านเรือน (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

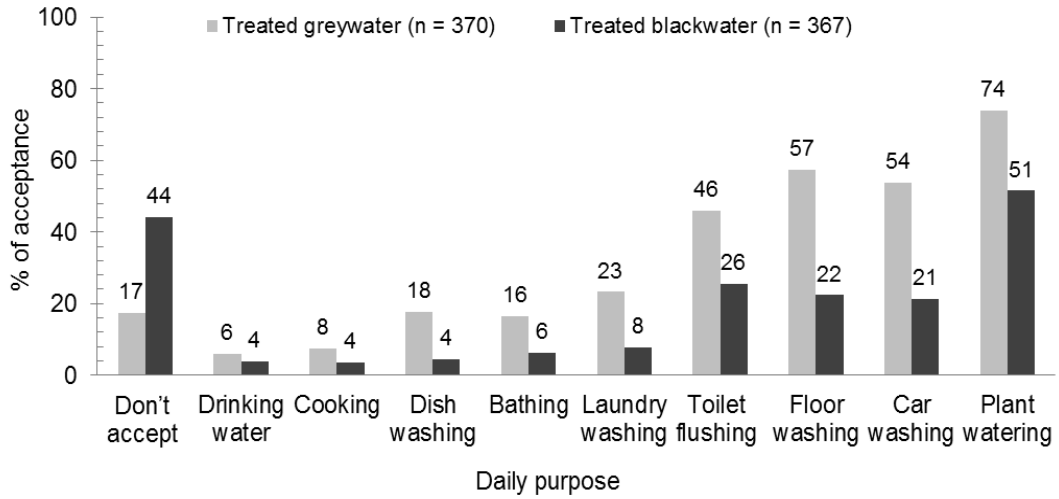
ผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ได้แก่ น้ำจากการประกอบอาหาร น้ำจากการล้างจาน น้ำจากการอาบน้ำ น้ำจากการซักผ้า และน้ำเสียรวมจากกิจกรรมต่างๆ ที่กล่าวข้างต้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่า น้ำเสียจากการประกอบอาหาร น้ำเสียจากการล้างจาน และน้ำเสียจากการซักผ้า มีค่าการปนเปื้อนของสารอินทรีย์สูง ค่า MBAS (Methylene Blue Active Substances) ซึ่งเป็นค่าแสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิว จำพวก anionic surfactants มีค่าสูงสุดจากน้ำที่ได้จากการซักผ้า ส่วนค่าอื่นๆ ได้แก่ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP), โพลีฟอสเฟต (Poly-P) และ ตะกอนแขวนลอย (SS) มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก (Jiawkok et. al., 2013) นอกจากนี้ ผลการศึกษาของ Jiawkok and Nakajima (2012) ยังพบว่า สารลดแรงตึงผิวจำพวก MBAS และ LAS (Linear Alkylbenzene sulfonate) ส่วนใหญ่มาจากการใช้ผงซักฟอกและน้ำยาล้างจาน ซึ่งมีอัตราการปล่อยทิ้งอยู่ที่ 4.44 และ 3.08 กรัม/คน/วัน

ในส่วนของการยอมรับการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ได้ทำการสำรวจน้ำเสีย 2 ประเภท คือ ประเภทแรกเป็น น้ำเสียส่วนใหญ่ที่ไม่ได้มาจากส้วม (greywater) และประเภทที่สองเป็นน้ำเสียทั้งหมด ที่รวมถึงน้ำเสียจากส้วมด้วย (blackwater) จากแบบสอบถามจำนวน 370 และ 367 ฉบับ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 พบว่าประชาชนส่วนใหญ่ให้การยอบรับการนำน้ำเสียประเภท greywater ที่ผ่านการบำบัดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ถึงร้อยละ 83 ในขณะที่การยอมรับน้ำเสียประเภท blackwater (หมายความรวมถึงน้ำเสียจากส้วม) ที่ผ่านการบำบัดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ เพียงแค่ร้อยละ 56 เท่านั้น โดยที่น้ำเสียประเภท greywater ที่ผ่านการบำบัดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับกิจกรรมแต่ละประเภท มีผลการยอมรับจากประชาชนมากกว่าน้ำเสียประเภท blackwater ซึ่งกิจกรรมที่ประชาชนสามารถยอมรับให้นำน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ ได้แก่ การรดน้ำต้นไม้ ล้างรถ และล้างพื้น โดยให้ผลการยอมรับที่มากกว่าร้อยละ 50 แสดงให้เห็นว่า ประชาชนมีการยอมรับและเห็นด้วยใน

การนำน้ำ greywater ที่ผ่านการบำบัดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Jiawkok et al., 2013) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wach และคณะ (2005) ที่สรุปว่าน้ำเสียประเภท greywater มีการยอมรับจากประชาชนมากกว่าน้ำเสียที่รวมน้ำเสียจากส้วมด้วย ซึ่งควรมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีความเหมาะสมก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ (Santasmasas et al., 2013)

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ (Jiawkok et. al., 2013)

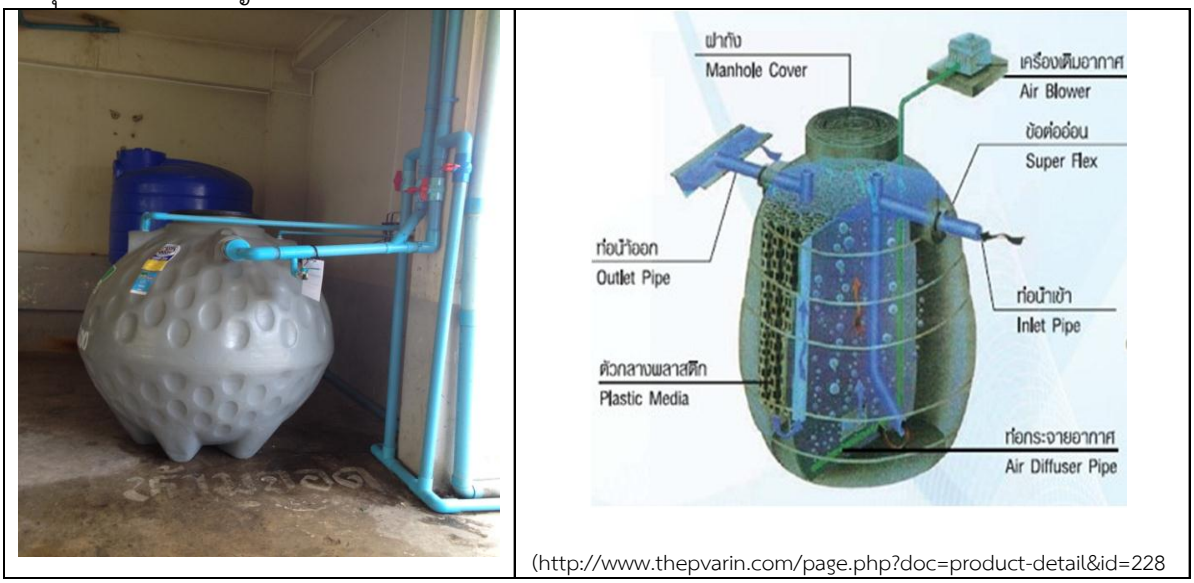
Parameter	Cooking		Dish washing	Bathing	Laundry washing	Combined greywater (apartment)
	Total	Containing rice washing water				
pH	6.7±0.8	6.2±0.9	6.7±0.7	7.5±0.4	8.4±0.9	7.2±0.4
BOD	360±370	590±410	490±550	160±97	290±240	90±44
COD	580±960	1,100±1,400	990±1,500	270±150	800±650	160±64
BOD/COD	0.62	0.54	0.50	0.60	0.36	0.56
MBAS	1.3±2.5	0.9±0.6	170±240	4.3±5.0	150±120	5.0±4.8
TP	7.2±10.2	15±13	2.2±3.8	0.2±0.4	6.1±10	1.5±0.9
Poly-P	3.6±5.4	7.5±6.7	0.4±1.2	0.0±0.0	3.4±8.5	0.3±0.5
SS	380±600	410±310	210±260	100±63	250±210	69±31



รูปที่ 2.2 การยอมรับของประชาชนในเขตปริมณฑลสำหรับการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ (Jiawkok et. al., 2013)

2.3 รูปแบบการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในภาคครัวเรือนด้วยถังบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ยังได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนารูปแบบการน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ในภาคครัวเรือนด้วยการใช้ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ (รูปที่ 2.3) โดยเน้นประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากน้ำเสียประเภท greywater ที่ไม่ได้รวมน้ำเสียจากการประกอบอาหาร จากห้องพักจำนวน 3 ประเภท ได้แก่ 1. ห้องที่มีคนอาศัย 1 คน (1 ห้อง) 2. ห้องที่มีคนอาศัยอยู่ 5 คน (1 ห้อง) และ 3. ห้องที่มีคนอาศัยอยู่ 6 คน โดยรวบรวมน้ำเสียที่ได้จากห้องจำนวน 2 ห้องในข้อ 1 และ 2 โดยชนิดของสารปนเปื้อนที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) สารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี, ซีโอดี ดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค ได้แก่ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และอีโคไลน์ ตะกอนแขวนลอย ฟอสฟอรัสทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด และสารลดแรงตึงผิว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น anionic surfactants (MBAS) ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สามารถแสดงได้ดัง ตารางที่ 2.2 โดยค่าคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน อย่างไรก็ตาม ค่าการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี มีค่าเกินกว่าค่าที่แนะนำสำหรับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกิจกรรมที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัส ซึ่งไม่ควรเกิน 10 มก./ล. (ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 2556) ในขณะที่ ค่า MBAS ยังพบว่า มีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานที่มีกำหนดในต่างประเทศ ซึ่งไม่ควรเกิน 0.5 มก./ล (Zhang et al., 2013) และเมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการบำบัดสารปนเปื้อนแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.3 เมื่อถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปต้องรองรับการบำบัดห้องพักจำนวน 2 ห้อง ที่มีผู้อาศัยรวมกัน 6 คน ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมีค่าลดลง โดยเฉพาะประสิทธิภาพการบำบัดดัชนีชี้วัดของเชื้อก่อโรค ซึ่งเป็นเกณฑ์คุณภาพน้ำที่สำคัญ สำหรับการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่



รูปที่ 2.3 ลักษณะถังบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศขนาดเล็ก

ตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย greywater ด้วยถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ

Parameter	Muncipal wastewater treatment standard	Wastewater treatment tank effluent		
		1 Room (1person)	1 Room (5 persons)	2 Room (6 persons)
DO	5 - 8	0 - 5	1.3 – 5.5	0 – 3.7
BOD	≤ 20	2-5	1-7	3-14
COD	-	27-45	27-48	31-83
SS	≤ 30	2-12	0-7	2-14
T-P	≤ 2	0.2-5	0.4-2.8	1.0-11
T-N	≤ 20	NA	0.8-8.6	2.1-11
MBAS	-	0.02-0.06	0-0.9	0-11

ตารางที่ 2.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชนิด greywater ด้วยถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ

Parameter	Removal efficiency (%) by wastewater treatment tank		
	1 Room (1person)	1 Room (5 persons)	2 Room (6 persons)
BOD	83	85	80
COD	45	54	49
TP	-	-	-
TN	NA	31	17
SS	78	84	79
MBAS	97	96	82
TC	97	83	53
EC	97	92	47
EnC	85	92	77

จากผลการศึกษาที่ได้ ของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ชี้ให้เห็นว่า ประชาชนให้การยอมรับในการนำน้ำเสีย greywater ที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ใหม่ ซึ่งค่าสารปนเปื้อนหลักที่ควรพิจารณาในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่ สารอินทรีย์ ตะกอนแขวนลอย ไนโตรเจนทั้งหมด สารลดแรงตึงผิว และดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค ซึ่งการใช้ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ สามารถทำการบำบัดสารดังกล่าวได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ยังมีบางครั้งที่สารปนเปื้อนเหล่านี้ ยังมีค่าเกินมาตรฐานของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ หรือเกินเกณฑ์ค่าแนะนำสำหรับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ที่ได้ทำการศึกษาไว้ จึงควรมีการพัฒนารูปแบบการบำบัดน้ำเสียที่สามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น

2.4 เทคโนโลยีอื่นๆ ในการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้าง (Greywater)

ได้มีการศึกษาวิจัยว่ามีเทคโนโลยีหลายๆ แบบ สามารถทำการบำบัดน้ำเสีย greywater ได้ เช่นการใช้กระบวนการทางเคมี อย่าง advanced oxidation, photocatalitic oxidation (Chin et al., 2009; Sanchez et al., 2010) ส่วนกระบวนทางชีวภาพ ได้แก่ การกรองผ่านชั้นดิน (soil filtration) และระบบบึงประดิษฐ์ (constructed wetland), rotating biological contractor, sequencing batch reactor และ membrane bioreactor (Kadewa et al., 2010; Baban et al., 2010; AbuGhunmi et al., 2010; Lesjean and Gnirss, 2006; Merz et al., 2013) สามารถทำการบำบัดน้ำเสียประเภท greywater ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยกตัวอย่าง เช่น Kadewa et al., 2010 ได้ทำการทดสอบการบำบัดน้ำเสียที่ไม่ได้มาจากส้วม (greywater) ด้วยบึงประดิษฐ์แบบแนวตั้ง ทั้งที่มีการปลูกพืชและไม่ได้ปลูกพืช โดยการปรับเปลี่ยนค่าระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ที่ 0.08, และ 0.17 $m^3/m2$-d พบว่า ทั้งสองระบบสามารถทำการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี และค่าความขุ่นได้ตามมาตรฐานน้ำสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีค่าเท่ากับ <10 mg/L และ < 2 NTU ตามลำดับ ส่วนสำหรับค่าสารลดแรงตึงผิวในรูปของประจุลบ (anionic surfactants) ที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำยาทำความสะอาดต่างๆ พบว่าทั้งสองระบบสามารถทำการบำบัดได้เช่นเดียวกัน โดยที่ ระบบบึงประดิษฐ์แบบแนวตั้งที่มีการปลูกพืชสามารถทำการบำบัดสารดังกล่าวได้ร้อยละ 76-85% ในขณะที่ระบบบึงประดิษฐ์แบบแนวตั้งที่ไม่มีการปลูกพืชสามารถทำการบำบัดสารดังกล่าวได้เพียงร้อยละ 50 เท่านั้น อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการบำบัดก็ยังไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่ ที่กำหนดไว้ที่ <1 mg/ L ได้

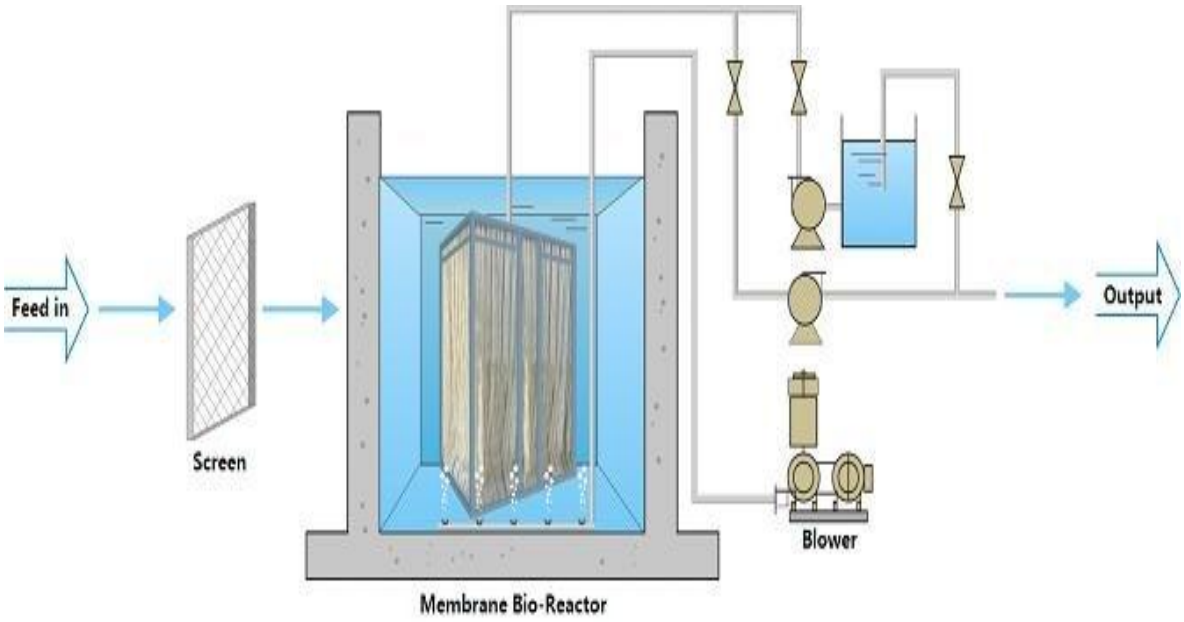
ทั้งนี้ ในการบำบัดน้ำเสียประเภท greywater เพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ มีผู้ศึกษาวิจัยได้ให้ความเห็นว่า เมื่อพิจารณาจากคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ จะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมกว่า สำหรับการนำไปใช้ในการอุปโภค (non-potable reuse purposes) หรือเพื่อการเกษตร (Jefferson et al., 2004; Li et al., 2009) โดยเฉพาะการบำบัดด้วยการใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน (membrane bioreactor: MBR) เนื่องจากคุณภาพน้ำผ่านการบำบัดดีกว่าระบบตะกอนเร่งหรือระบบแอคติเวทเต็ทสลัดจ์ที่สามารถรับอัตราภาระบรรทุกทางสารอินทรีย์ และระยะเวลาการเก็บกักสลัดจ์ไว้ในระบบได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบขนาดของระบบที่เท่ากัน (Ravindran et al., 2009; Zanetti et al., 2010)

2.5 การบำบัดน้ำเสียจากการซักล้างด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน

ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน เป็นการคิดค้นจากกรรมวิธีการผลิตที่ผ่านกระบวนการพื้นฐาน 2 ระบบเข้าด้วยกัน ระหว่างการกำจัดสารอินทรีย์ด้วยวิธีชีวภาพ และการกำจัดสารแขวนลอยด้วยการกรองผ่านเมมเบรน จึงไม่จำเป็นต้องมีถังตกตะกอนขั้นที่สอง ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูง เนื่องจากความเข้มข้นของจุลินทรีย์ถูกควบคุมให้มีปริมาณสูงกว่าระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์ทั่วไป และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีสารแขวนลอยเจือปนปริมาณที่ต่ำมากเพราะผ่านเยื่อกรองเมมเบรนในระดับไมโครซึ่งมีช่องผ่านขนาด 0.1-10 ไมโครเมตร

หลักการทำงานของถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนนั้น เมื่อน้ำสกปรกไหลเข้าสู่กรรมวิธีปฏิกิริยาชีวภาพของเยื่อกรองเมมเบรน น้ำและสิ่งสกปรกจะถูกบำบัดด้วยมวลจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ หลังจากนั้นน้ำที่สะอาดจะถูกกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรนที่มีรูปพรุนขนาดไมโครเมตร ในขณะที่มวลจุลินทรีย์ไม่สามารถลอดผ่าน

เยื่อกรองเมมเบรนได้ และจะถูกกักเก็บอยู่ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน โดยที่สิ่งสกปรก หรือตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ จะถูกแรงต้านของฟองอากาศจากปั๊มเติมอากาศทำให้ไม่เกาะติดกับแผ่นเมมเบรนชีวภาพ ทำให้เยื่อกรองมีสภาพการกรองที่สมบูรณ์อยู่เสมอ ตามระยะเวลาอายุการใช้งานของแผ่นเมมเบรน สามารถแสดงลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน

ทั้งนี้ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนได้มีการศึกษาวิจัยมาแล้วว่า สามารถทำการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน (Chae et al., 2006; Kimura et al., 2008) อุตสาหกรรม (Artiga et al., 2005; Arros-Alileche et al., 2008; Bae et al., 2003, Castillo et al., 2007) และน้ำชะขยะ (Boonyaroj et al., 2011; Visvanathan et al., 2007) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การศึกษาเพื่อจะทำให้การเดินระบบมีประสิทธิภาพนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสีย การกำหนดค่าอัตราภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ที่ระบบสามารถรับได้ หรือปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ที่ทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Li et al., 2008 ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียประเภท greywater พบว่า ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพสามารถบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของทีโอซีได้ร้อยละ 83.4 จากความเข้มข้น 161 มก/ล เป็น 28.6 มก/ล ส่วนค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเท่ากับ 16.7 มก/ล และ 6.7 มก/ล ตามลำดับ นอกจากนี้ เนื่องจากลักษณะการกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรนในระดับนาโนเมตร ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดปราศจากตะกอนแขวนลอย และเชื้อโรค ผู้วิจัยได้แนะนำว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว เหมาะสำหรับการนำไปใช้รดน้ำต้นไม้ การทำเกษตรกรรม หรือใช้เป็นน้ำในชักโครกหลังจากผ่านกระบวนการฆ่าเชื้ออีกครั้ง

Atanasova et al., 2017 ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียประเภท greywater สำหรับนำกลับมาใช้ใหม่ในโรงแรม พบว่าสามารถทำการบำบัดซีโอดีได้ในช่วงร้อยละ 80-95 ไนโตรเจนทั้งหมด สามารถทำการบำบัด

ได้ร้อยละ 85 ส่วนดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค สามารถทำการบำบัดได้ 1,000-10,000 เท่า และในการลงทุนที่ปริมาณการบำบัด 30 ลูกบาศก์เมตร/วัน จะใช้ระยะเวลา 3 ปี ในการคืนทุน

2.6 คุณลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับการนำมาใช้ประโยชน์ใหม่

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้ทำการศึกษาเกณฑ์คุณภาพน้ำสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมประเภทต่างๆ ซึ่งสิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการจัดทำแนวทางการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่

1) คุณภาพน้ำเหมาะสมกับกิจกรรมที่นำไปใช้งาน

คุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่นั้นต้องพิจารณาด้านต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในแต่ละกิจกรรม รวมทั้งไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพผู้ใช้ และไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่

- ด้านกายภาพ เช่น สี กลิ่น ความขุ่น และตะกอน เป็นต้น
- ด้านเคมี เช่น พีเอช ของแข็ง สารอินทรี โลหะหนัก ธาตุอาหาร เป็นต้น
- ด้านชีวภาพ เช่น เชื้อก่อโรค เช่น โคลิฟอร์ม อีโคไล ไข่พยาธิ ไวรัส เป็นต้น
- อื่นๆ เช่น Pharmaceuticals, hormonal products, personal care products

2) ผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม

กระบวนการประเมินโอกาสและความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นกับ มนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อมจากการได้รับ/สัมผัส ความเสี่ยง รวมทั้งการระบุความไม่แน่นอนที่ตามมา ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินความเสี่ยง หรือผลกระทบต่อสุขภาพสำหรับแนวทางการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ใหม่ ทั้งผลกระทบที่เกิดจากการดูแลควบคุมระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ และผู้ที่นำน้ำกลับมาใช้ใหม่

3) ประชาชนให้ความยอมรับ

เพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพอย่างสูงสุด ประชาชนหรือผู้นำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ต้องมีความรู้ ความเข้าใจ กลไก และหลักการปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นหน้าที่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทำหน้าที่ในการประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนมีความรู้ ความเข้าใจ ทั้งข้อดี และข้อเสีย รวมทั้งผลการประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นต่อผู้ใช้น้ำ และสิ่งแวดล้อม

4) ความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการที่จะทราบว่า ในการพัฒนาโครงการนั้นจะก่อให้เกิดผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ คุ้มค่ากับต้นทุนของทรัพยากรที่ได้ถูกนำมาใช้ไปหรือไม่ กล่าวคือ มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์มากน้อยเพียงใด

สำหรับคุณลักษณะของน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำ ซึ่งในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับภาคชุมชนในการทดแทนการใช้น้ำในชักโครก การปรับปรุงภูทิทัศน์ โดยการใช้เกณฑ์ที่ทำการศึกษาไว้จากผลการศึกษาและข้อแนะนำจากนักวิชาการผู้ทรงคุณวุฒิสำหรับเกณฑ์แนะนำในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในประเทศไทย สำหรับการใช้น้ำทั่วไปที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัสและไม่มีโอกาสสัมผัส ดังตารางที่ 2.4 และการใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรม โดยการใช้เกณฑ์แนะนำสำหรับการปลูกพืชที่เป็นอาหารและไม่เป็นอาหาร ดังตารางที่ 2.5 ที่พิจารณาว่าควรมีการกำหนดคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่สำหรับเพาะปลูกพืชอาหารและพืชที่ไม่ใช้เป็นอาหาร ดังนี้

- สีและกลิ่น ค่าที่แนะนำ คือ ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ ซึ่งเป็นดัชนีที่แสดงให้เห็นถึงสุนทรียภาพเมื่อนำไปใช้งาน เป็นดัชนีทางกายภาพผู้ใช้น้ำสามารถสังเกตได้โดยตรง ในกรณีพืชรับประทานสดอาจส่งผลกระทบโดยตรงกับผู้บริโภค
- ค่าความเป็นกรดด่าง ค่าที่แนะนำ คือ 6.0-9.0 เป็นค่าอยู่ในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายอย่างฉับพลัน ต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืช และสัตว์
- ความนำไฟฟ้า ค่าที่แนะนำ คือ น้อยกว่า 2,000 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร เท่ากับมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งลงทางน้ำชลประทาน ค่าความนำไฟฟ้าสามารถบ่งบอกได้ถึงความเค็มหรือเกลือในน้ำ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช เกลือที่ละลายน้ำได้และเคลื่อนย้ายไปกับน้ำ คุณภาพน้ำที่จะนำมาใช้เพื่อการเกษตรขึ้นกับปริมาณและชนิดของเกลือในน้ำ ยิ่งมีเกลือในน้ำที่ใช้ในการชลประทานมากก็จะยิ่งเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาดินเค็มมากขึ้น ซึ่งต้องพิจารณาร่วมกับอัตราโซเดียมที่ถูกดูดซับ (sodium adsorption ratio, SAR) เนื่องจากโซเดียมมีผลเสียทำให้ดินแข็งแน่น น้ำซึมผ่านได้ยาก เป็นอุปสรรคต่อการชะล้างเกลือออกจากดิน ปริมาณโซเดียมที่ละลายอยู่ในน้ำชลประทานจะถูกดินดูดซับไว้ได้มากน้อยเท่าไรนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณแคลเซียมที่ละลายได้ น้ำที่มีค่า เอสเออาร์ สูง ต้องใช้แคลเซียมที่ละลายได้ปริมาณมาก
- ความขุ่น สำหรับพืชรับประทานใบ และหัว ค่าที่แนะนำ คือ น้อยกว่า 5 NTU เนื่องจากน้ำอาจมีโอกาสสัมผัสพืชในส่วนที่นำมารับประทานโดยตรง ค่าความขุ่นที่ที่ปรึกษาฯ แนะนำมีค่าเท่ากับมาตรฐานน้ำประปา จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาคราบตะกอนตกค้าง และไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบท่อส่ง การตกตะกอนหรือลดประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัดเชื้อโรคซึ่งเป็นค่าที่มากกว่ามาตรฐานน้ำประปา ในกรณีพืชรับประทานผล หรือเมล็ด ค่าที่แนะนำ คือ น้อยกว่า 20 NTU เท่ากับมาตรฐานน้ำประปา (ค่าอนุโลมสูงสุด) ในขณะที่ไม่มีการกำหนดค่านี้สำหรับการปลูกพืชที่ไม่ใช้เป็นอาหาร
- ของแข็งแขวนลอย ค่าที่แนะนำ คือ น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับมาตรฐานน้ำทิ้งระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ในขณะที่ไม่มีการกำหนดค่านี้สำหรับการปลูกพืชที่ใช้เป็นอาหาร
- บีโอดี สำหรับพืชรับประทานใบ และหัว ค่าที่แนะนำ คือ น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับมาตรฐานการนำน้ำมาใช้ใหม่ของ USEPA และประเทศออสเตรเลีย ค่าบีโอดีควรจะมีไม่มากจนก่อให้เกิดปัญหาด้านกลิ่นและสีของน้ำ ในกรณีพืชรับประทานผล หรือเมล็ด ค่าที่แนะนำ คือน้อยกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับมาตรฐานน้ำทิ้งน้ำที่มีค่าบีโอดีสูง เมื่อให้น้ำทำให้ค่าความต้องการออกซิเจนในดินสูงขึ้น อีกทั้งสารอินทรย์ทำให้มีจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี ในขณะที่ ค่าที่แนะนำสำหรับการปลูกพืชที่ไม่ใช้เป็นอาหาร คือ น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร อนุโลมให้มีค่าเท่ากับมาตรฐานการนำน้ำทิ้งอาคารประเภท ข เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้อย่างกว้างขวาง แต่ไม่สูงจนทำให้ค่าความต้องการออกซิเจนในดินสูงขึ้น
- ไนเตรท-ไนโตรเจน สำหรับพืชรับประทานใบ และหัว ค่าที่แนะนำ คือ น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับ FAO แนะนำในกรณีไม่มีการจำกัดในการใช้น้ำ (น้อยกว่า 9.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรณีพืชรับประทานผล หรือเมล็ด และการปลูกพืชที่ไม่ใช้เป็นอาหาร ค่าที่แนะนำ คือ น้อยกว่า 35 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับค่าไนโตรเจนของมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ไนเตรท-ไนโตรเจน ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน
- คลอรีนอิสระ กำหนดเฉพาะกรณีพืชรับประทานใบ และหัวเท่านั้น เพราะต้องเข้มงวดในการใช้งาน โดยค่าที่แนะนำ คือ 0.7-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นค่าที่กำหนด ณ จุดปรับปรุงคุณภาพน้ำ ซึ่งควรมีคลอรีนตกค้างอิสระตกค้าง (Chlorine Residual) ที่เวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งวัดได้ที่ปลายท่อเมนจ่ายน้ำในจุดที่ไกลจากระบบผลิตมากที่สุด จะต้องมีความเข้มข้นประมาณ 0.2 - 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

- ฟีคัลโคลิฟอร์ม สำหรับพืชรับประทานใบ และหัว ค่าที่แนะนำ คือ ต้องไม่พบ เพราะผ่านกระบวนการกำจัดเชื้อโรคมาแล้ว เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพผู้ใช้ ในกรณีพืชรับประทานผล หรือเมล็ด ค่าที่แนะนำ คือ 1,000 โคโลนี ต่อ 100 มิลลิลิตร เท่ากับมาตรฐานคุณภาพน้ำนำกลับมาใช้ใหม่ ของ WHO ในขณะที่ ค่าที่แนะนำสำหรับการปลูกพืชที่ไม่ใช้เป็นอาหาร คือ น้อยกว่า 3,000 โคโลนี ต่อ 100 มิลลิลิตร เท่ากับเกณฑ์คุณภาพน้ำนำกลับมาใช้ใหม่ที่กระทรวงสาธารณะสุขแนะนำ
- ไข่พยาธิ ค่าที่แนะนำ คือ น้อยกว่า/เท่ากับ 1 ไข่ต่อลิตร เท่ากับมาตรฐานคุณภาพน้ำนำกลับมาใช้ใหม่ ของ WHO หากนำผักที่มีไข่พยาธิมารับประทานจะทำให้ไข่พยาธิเข้าไปเติบโตในร่างกายและส่งผลให้ผู้บริโภคเจ็บป่วยได้

นอกจากนี้ ในกรณีที่แหล่งน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ ที่อาจมีการปนเปื้อนโลหะหนัก ต้องทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพิ่มเติม โดยกำหนดชนิดโลหะหนักอ้างอิงตามมาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ทั้งนี้การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับการเกษตรเพาะปลูกพืช อาจมีผลให้เมื่อใช้น้ำติดต่อกันเป็นเวลานานโลหะหนักอาจเกิดการสะสมอยู่ในชั้นดิน ดังนั้นควรมีการตรวจสอบดัชนีโลหะหนักเพิ่มเติมด้วย (อ้างอิงจากศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 2556)

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์คุณภาพน้ำที่แนะนำสำหรับกิจกรรมที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัสและไม่มีโอกาสสัมผัส

ดัชนี	หน่วย	ค่าแนะนำ	
		มนุษย์มีโอกาสสัมผัส	มนุษย์ไม่มีโอกาสสัมผัส
สี	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ค่าความเป็นกรดด่าง	-	6-9	6-9
ความขุ่น	NTU	<5	<20
บีโอดี	มก./ล.	<10	<20
คลอรีนอิสระ	มก./ล.	0.7-1.0	0.7-1.0
โคลิฟอร์มทั้งหมด	โคโลนี/100 มล.	ไม่กำหนด	<5,000
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	โคโลนี/100 มล.	ตรวจไม่พบ	<3,000

หมายเหตุ: คลอรีนอิสระ ในกรณีที่มีการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์คุณภาพน้ำนำมาใช้ใหม่สำหรับเพาะปลูกพืชที่ใช้เป็นอาหารและไม่ได้ใช้เป็นอาหาร

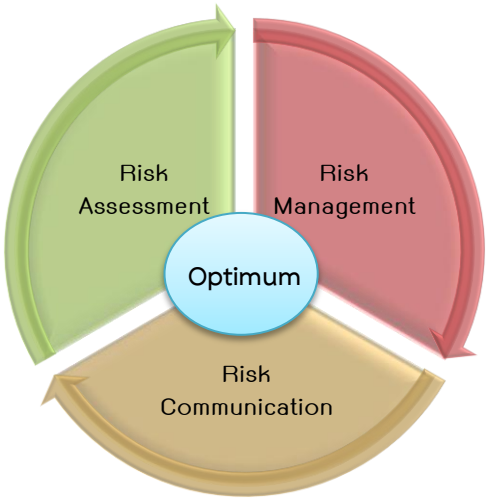
ดัชนี	หน่วย	ค่าแนะนำ [1/]		
		รับประทานใบ หรือหัว	รับประทานผล หรือเมล็ด [5/]	พืชที่ไม่ได้เป็นอาหาร
สี	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ค่าความเป็นกรด	-	6-9	6-9	6-9
ค่าความนำไฟฟ้า	ไมโครซีเมนส์/ซม.	<2,000	<2,000	<2,000
ความขุ่น	NTU	<5 [3/]	<20	ไม่กำหนด
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	<30
บีโอดี	มก./ล.	<10	<20	<30
ไนเตรทไนโตรเจน	มก./ล.	<10	<35	<35
คลอรีนอิสระ	มก./ล.	0.7-1 [4/]	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	โคโลนี/100 มล.	ไม่พบ	<1,000	<3,000
ไข่พยาธิ	ไข่/ล.	≤1	≤1	ไม่กำหนด

หมายเหตุ: 1/ คุณภาพน้ำที่แนะนำ ณ จุดปรับปรุงคุณภาพน้ำ 2/ พิจารณาร่วมกับค่า เอสเออาร์ 3/ ตรวจวัดค่าความขุ่นก่อนกระบวนการกำจัดเชื้อ 4/ คลอรีนอิสระที่ระยะเวลาสัมผัสไม่น้อยกว่า 30 นาที 5/ หากมีการรดน้ำแบบสเปรย์/สปริงเกลอร์ ต้องห่างจากพื้นที่มนุษย์เข้าถึงอย่างน้อย 30 เมตร

2.7 การประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในกิจกรรมด้านเกษตรและครัวเรือน

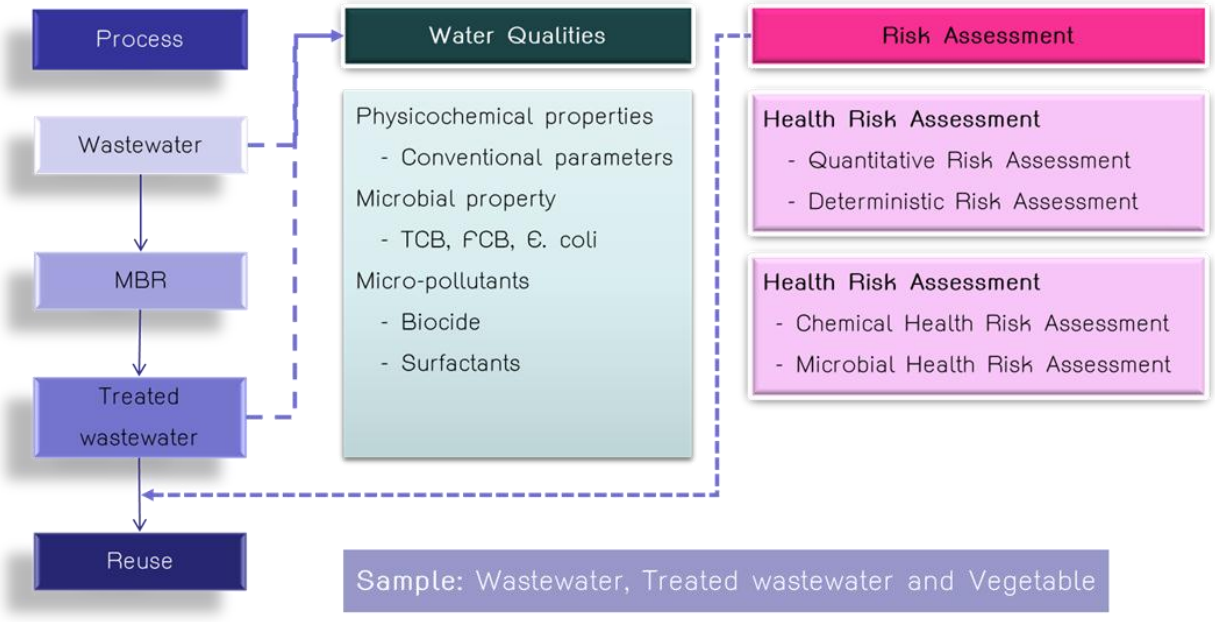
การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ นอกจากต้องคำนึงถึงลักษณะทางด้านกายภาพ-เคมี และชีวภาพแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ที่สัมผัสกับน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะสมบัติทางด้านกายภาพ-เคมี และชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยเทคโนโลยีถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน ดีกว่าคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยเทคโนโลยีอื่น รวมทั้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง แต่อย่างไรก็ตามในเกณฑ์มาตรฐานฯ ไม่ได้ระบุถึงสารมลพิษขนาดเล็ก (micro-pollutant) และเชื้อก่อโรค (pathogenic bacteria) ซึ่งส่วนมากจะมีความเป็นพิษเมื่อเกิดการสัมผัสเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นการนำข้อมูลสารปนเปื้อนมาประมวลและวิเคราะห์อย่างเป็นระบบสามารถลดระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ โดยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์นี้เรียกว่า การประเมินความเสี่ยง (risk assessment)

ในภาพรวมการประเมินความเสี่ยง (risk assessment) เป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ความเสี่ยง (risk analysis) ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการจัดการความเสี่ยง (risk management) และกระบวนการสื่อสารความเสี่ยง (risk communication) อยู่ในกรอบการทำงานเดียวกันและมีความเชื่อมโยงของข้อมูลระหว่างกัน (รูปที่ 2.5) เพื่อให้ได้มาซึ่งทางเลือกที่เหมาะสม (optimum) ซึ่งเป็นจุดดุลยภาพระหว่างผลประโยชน์ที่ได้รับและค่าใช้จ่าย ที่ต้องใช้เพื่อลดระดับความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้



รูปที่ 2.5 กรอบการทำงานของการวิเคราะห์ความเสี่ยง

การศึกษา “โครงการพัฒนาถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน เพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกิจกรรมของภาคชุมชนและภาคเกษตรกรรม” ครั้งนี้ได้ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (health risk assessment) 2 กรณี คือ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารเคมี (chemical health risk assessment) และการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสเชื้อก่อโรค (microbial health risk assessment) (รูปที่ 2.6) ความเสี่ยงที่ประเมินได้นั้นเป็นความเสี่ยงที่สะสมเพิ่มจากการสัมผัสเพิ่มเติมจากความเสี่ยงพื้นฐานจากกิจกรรมในชีวิตประจำวันที่ประเมินบนพื้นฐานในแนวคิดหลักอนุรักษ์นิยม (conservative) กล่าวคือ ผลจากการประเมินอาจไม่สมจริงแต่ปลอดภัยเพราะใช้ข้อมูลที่ทำให้เกิดผลร้ายที่สุดในการประเมิน (worst case scenario)



รูปที่ 2.6 กรอบการศึกษาการประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในกิจกรรมด้านเกษตรและครัวเรือน

สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ มีแนวคิดที่จะศึกษารูปแบบการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์สำหรับภาคชุมชนและภาคเกษตรกรรมเพื่อทดแทนน้ำที่ใช้จากชักโครก การปรับปรุงภูมิทัศน์ และการเกษตรกรรมด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน เนื่องจากระบบนี้ มีข้อได้เปรียบดีกว่าระบบบำบัดทางชีวภาพประเภทอื่นๆ ดังที่ได้กล่าวข้างต้น โดยที่น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียประเภท greywater ซึ่งเป็นปริมาณน้ำเสียส่วนมากที่ได้รับการยอมรับมากกว่าร้อยละ 83 สำหรับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงสามารถทำการบำบัดองค์ประกอบสารปนเปื้อนในน้ำเสีย ได้แก่ ความสกปรกของสารอินทรีย์ และสารลดแรงตึงผิว รวมถึงการปนเปื้อนของดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อก่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย ดังนั้น ในการศึกษาสภาวะที่ความเหมาะสมในการเดินระบบให้มีประสิทธิภาพจะทำการศึกษาความเสถียรของระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time: HRT) ที่ทำการออกแบบไว้ที่ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารปนเปื้อนที่สำคัญดังกล่าวลงได้อย่างเหมาะสมที่สุด และศึกษาความเหมาะสมในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์สำหรับภาคชุมชน ในการทดแทนน้ำที่ใช้จากชักโครก การปรับปรุงภูมิทัศน์ และทางภาคเกษตรกรรม ซึ่งจากการศึกษาก่อนหน้านี้ เป็นเพียงข้อแนะนำสำหรับการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์เท่านั้น แต่ยังไม่ได้มีการศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลดังกล่าวจริงเพื่อยืนยันความปลอดภัยของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาปัจจัยดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ที่เหมาะสมสำหรับภาคชุมชน และภาคเกษตรกรรม โดยเฉพาะการปลูกพืชสำหรับพืชที่ใช้เป็นอาหาร รวมถึงทำการประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และการศึกษาการยอมรับในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางสำหรับรูปแบบการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรกรรมอย่างเป็นรูปธรรม และเผยแพร่ผลการศึกษาที่ได้สู่หน่วยงานที่มีความสนใจ สำหรับเป็นวิธีการหนึ่งในการบริหารจัดการ การใช้น้ำอย่างยั่งยืนต่อไป

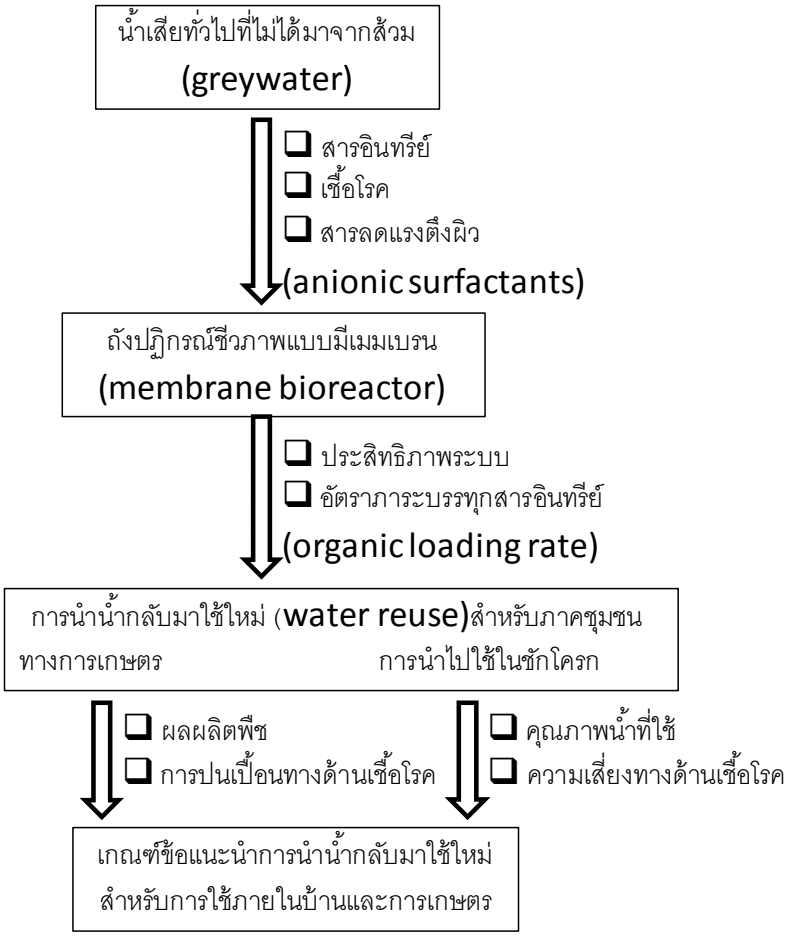
วัตถุประสงค์

1. พัฒนาการบำบัดน้ำเสียประเภท greywater รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารปนเปื้อนของระบบ MBR
2. ทดสอบและพัฒนารูปแบบระบบการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับภาคชุมชน และเกษตรกรรม
3. ศึกษาการประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่อผู้บริโภค
4. การศึกษาการยอมรับในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่
5. เผยแพร่รูปแบบการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ที่มีประสิทธิภาพอย่างเป็นรูปธรรม

กรอบแนวคิดของการวิจัย

การพัฒนารูปแบบการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์สำหรับภาคชุมชน สำหรับภาคชุมชนในการทดแทนการใช้น้ำในชักโครก การปรับปรุงภูมิทัศน์ และการใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรม ด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมนเบรน สำหรับน้ำเสียที่ไม่ได้มาจากส้วม (greywater) ได้แก่ น้ำใช้ทั่วไป ซึ่งมีองค์ประกอบหลักของสารปนเปื้อน ได้แก่ สารอินทรีย์ สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการซักล้าง และเชื้อก่อโรค จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในการบำบัดค่าการปนเปื้อนที่กล่าวข้างต้น ซึ่งควรที่จะสามารถทำการบำบัดให้อยู่ในระดับที่มีกำหนดไว้ในข้อแนะนำของน้ำที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ และควรมีการทดสอบการนำไปใช้จริง กับชนิดพืชที่ใช้เป็นอาหารและไม่เป็นอาหาร เพื่อศึกษาความเหมาะสม และปัจจัยที่เกี่ยวข้องว่าสามารถนำไปใช้

ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของการปนเปื้อนสารดังกล่าวด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมนเบรน และนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาทดสอบความเหมาะสมว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงสำหรับภาคชุมชน ในการนำไปใช้ทดแทนน้ำในชักโครก และการเพาะปลูกพืชทางการเกษตร เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่มีความปลอดภัย ตามเกณฑ์แนะนำที่ทางศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้ทำการศึกษาไว้ดังรูปที่ 2.7

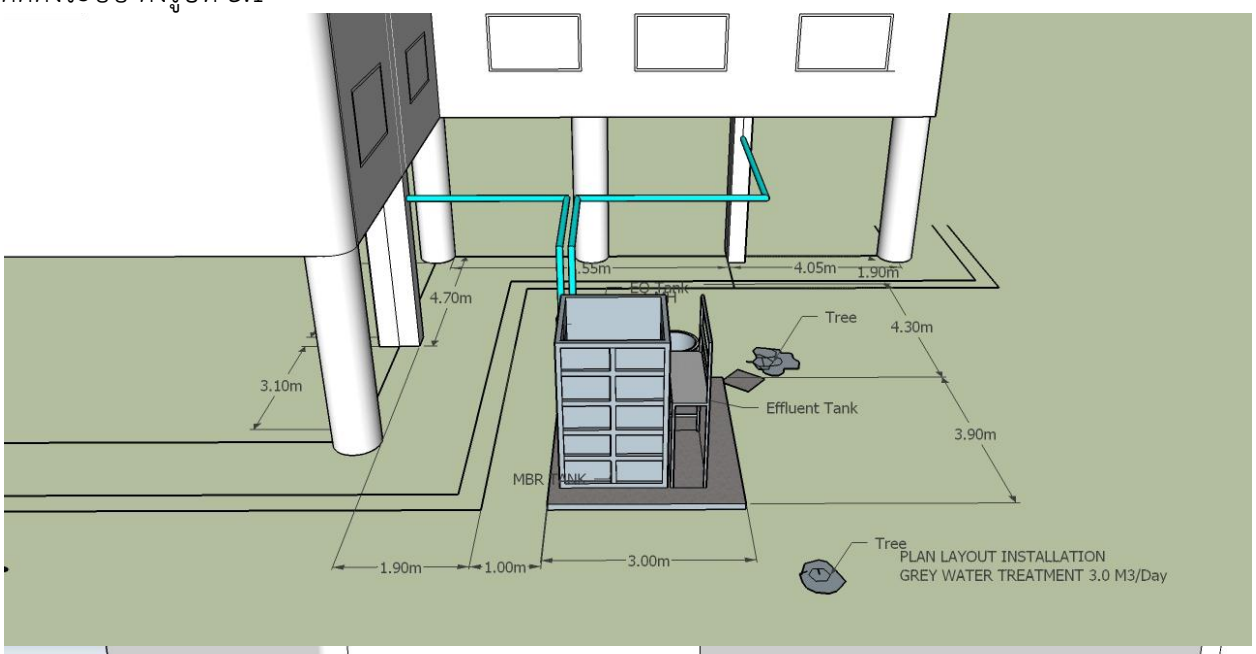


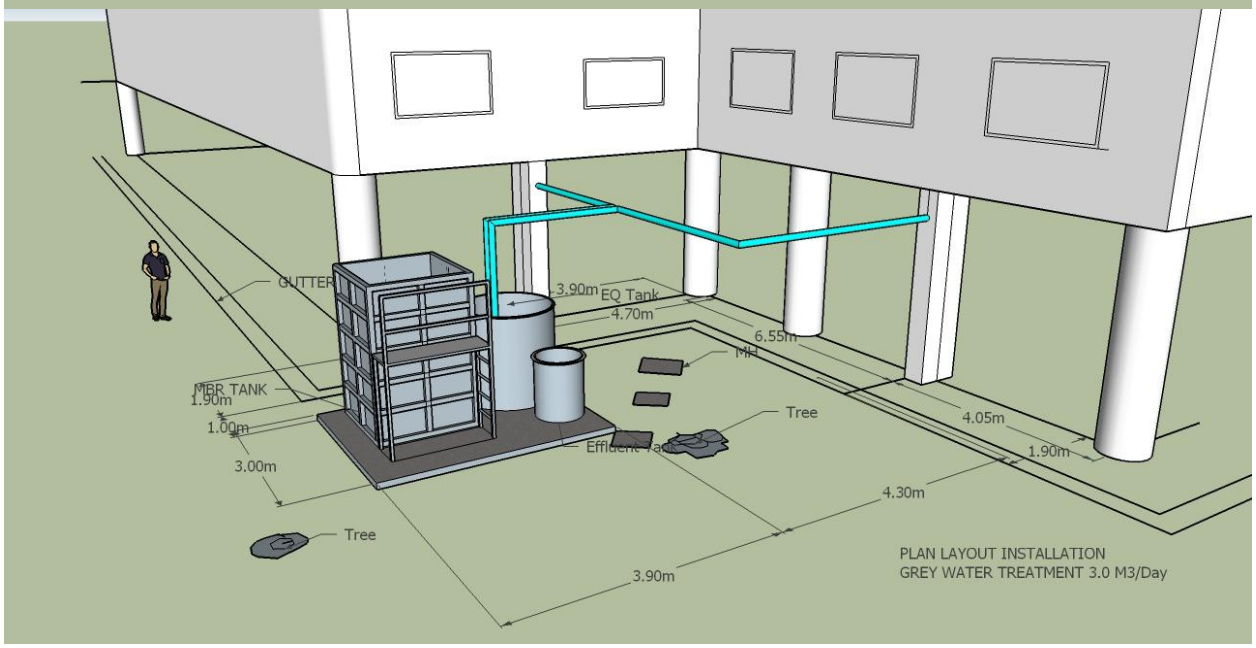
รูปที่ 2.7 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

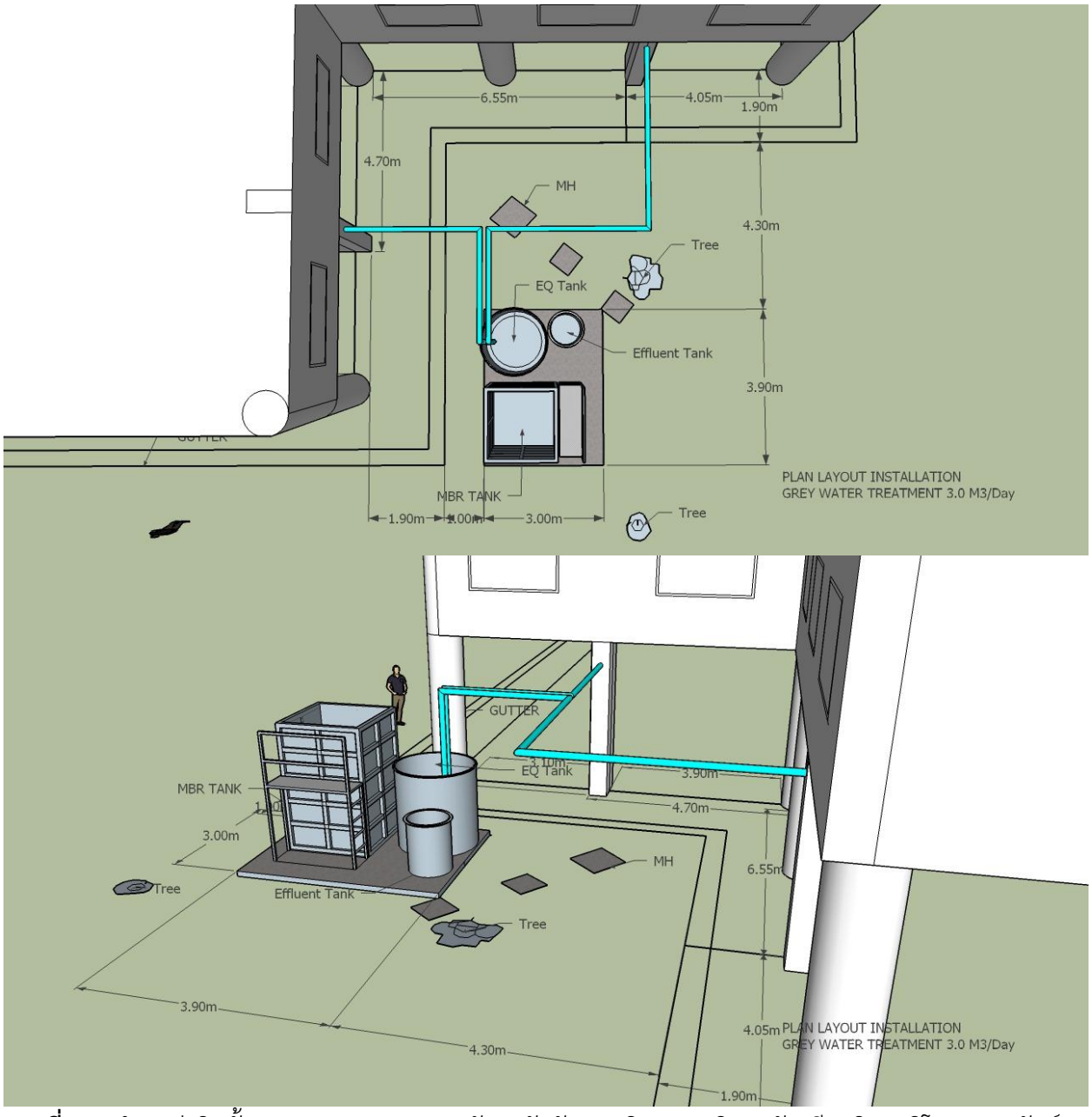
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 การสำรวจพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบ MBR

ทำการสำรวจพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบที่หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จังหวัดนครนายก โดยทำการติดตั้งระบบท่อรับน้ำเสียเฉพาะน้ำซักล้าง (greywater) ทั้งตึกที่มีทั้งหมด 8 ชั้น จำนวน 64 ห้อง เป็นห้องเดี่ยวจำนวน 48 ห้อง และห้องครอบครัวจำนวน 16 ห้อง และน้ำเสียจากเครื่องซักผ้าหยอดเหรียญ ที่ติดตั้งไว้ที่ชั้น 1 โดยไม่รวมน้ำเสียจากชั้น 1 ที่มีเฉพาะน้ำจากห้องน้ำ ซึ่งมีรูปแบบการเดินท่อและติดตั้งระบบ ดังรูปที่ 3.1







รูปที่ 3.1 ตำแหน่งติดตั้งระบบ MBR ณ อาคารพักอาศัยกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

3.2 การติดตั้งระบบ MBR ที่หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

ลักษณะการติดตั้งระบบ MBR สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งติดตั้งด้านข้างของตึกหอพักบุคลากรฯ

รูปที่ 3.2 การติดตั้งระบบ MBR ที่หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งได้แก่

- ประเภทของเมมเบรนที่ใช้ microfiltration membrane (submerged type) ทั้งแบบแผ่น Flat sheet, Kubota, Japan ขนาดรูพรุน 0.4 ไมครอน, พื้นที่ผิว 8 ตารางเมตร สามารถรองรับน้ำเสียได้ไม่น้อยกว่า 3 ลูกบาศก์เมตร/วัน และแบบเส้นใย Holow fiber, Sumitomo, Japan ขนาดรูพรุน 0.1 ไมครอน, พื้นที่ผิว 36 ตารางเมตร สามารถรองรับน้ำเสียได้ไม่น้อยกว่า 10 ลูกบาศก์เมตร/วัน
- ระบบ MBR เป็น mobile unit ที่เคลื่อนที่ได้ผลิตจากถังไฟเบอร์กลาส ขนาดกว้าง 1.50 x 1.50 เมตร สูง 2.50 เมตร พร้อมระบบท่อจ่ายอากาศภายในถัง
- ถังรวบรวมน้ำเสียจำนวน 3 ถัง ผลิตจากไฟเบอร์กลาส ขนาดถังละ 4 ลูกบาศก์เมตร
- ระบบสูบน้ำเสียเข้าระบบโดยใช้ Submersible Non-clog Pump ให้อัตราสูบไม่น้อยกว่า 0.1 ลบ.ม./ชั่วโมง TDH = 5.0 ม. ขนาดของมอเตอร์ 0.25 kW 380V/50Hz ในถังรวบรวมน้ำเสียสูบส่งเข้าถังเติมอากาศ MBR
- เครื่องเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศชนิด Air Blower อัตราจ่ายอากาศ 0.78 ลบ.ม./นาที ที่ความลึกน้ำ 3.0 ม. มอเตอร์ 0.40 kW 380V/50Hz
- ระบบสูบตะกอนสลัดจ์โดยใช้ Submersible Non-clog Pump ให้อัตราสูบไม่น้อยกว่า 0.1 ลบ.ม./ชั่วโมง TDH = 5.0 ม. ขนาดของมอเตอร์ 0.25 kW 380V/50Hz อยู่ภายในถังเติมอากาศ MBR

- ระบบสูบน้ำที่กรองแล้วจากถัง MBR โดยใช้เครื่องสูบน้ำชนิด Self-Priming Pump อัตราสูบ 0.1 ลบ.ม./นาที TDH = 5.0 ม. โดยใช้มอเตอร์ขนาด 0.37 kW 380V/50Hz ซึ่งติดตั้งตัว inverter ในการควบคุมกระแสให้สามารถปรับอัตราการไหลของน้ำที่สูบออกได้
- ตู้ไฟฟ้าควบคุม เป็นชนิด Outdoor Type จำนวน 1 ตู้ ควบคุมระบบด้วย PLC (Programmable Logic Control) โดยควบคุมการทำงานของระบบด้านการสูบน้ำเสียเข้าระบบ การดูดน้ำที่กรองแล้วออกจากระบบ การสูบตะกอนออกจากระบบ การเติมอากาศให้กับระบบ และระบบการล้างเมมเบรน ซึ่งระบบไฟฟ้าเป็นแบบสามเฟส

3.3 การติดตั้งระบบล้างเมมเบรนอัตโนมัติ

การติดตั้งระบบล้างเมมเบรนอัตโนมัติ สำหรับชุดเมมเบรนแบบเส้นใย (Hollow fiber) ที่มีรูพรุนขนาด 0.1 ไมครอน (Sumitomo, Japan) ด้วยการล้าง 2 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนที่ 1 สำหรับการล้างสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนบนผิวหน้าของเมมเบรน โดยการใช้สารไฮโปคลอไรท์ ที่ความเข้มข้น 10 % ในอัตราการไหลที่ 0.06 ลิตร/นาที และ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1 % ในอัตรการไหลที่เหมือนกัน คือ 0.06 ลิตร/นาที ร่วมกับน้ำเจือจางที่อัตราการไหล 5 ลิตร/นาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วแช่ไว้ 30 นาที จึงสูบออก จากนั้นต่อด้วยการล้างในขั้นตอนที่ 2 สำหรับการล้างสารอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนบนผิวหน้าของเมมเบรน ด้วยการใช้กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 30 % ในอัตราการไหลที่ 0.06 ลิตร/นาที ร่วมกับน้ำเจือจางที่อัตราการไหล 5 ลิตร/นาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วแช่ไว้ 30 นาที จึงสูบออก

3.4 การติดตั้งโรงเรือนสำหรับทดสอบการปลูกพืชไร้ดินและไม้ผล

3.4.1 โรงเรือนสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน (Hydroponics)

โรงเรือนสำหรับปลูกพืชไร้ดินเป็นระบบ NFT (Nutrient Film Technique) โดยรากพืชจะแช่อยู่ในสารอาหารโดยตรงเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร สารอาหารจะมีการไหลวนตลอดเวลาที่อัตราการไหล 1-2 ลิตร/นาที ซึ่งระบบที่ติดตั้ง จะมีขนาด 3x5 เมตร สามารถทำการปลูกได้ 3 ชุดๆ ละ 3 แถว โดยแต่ละแถว สามารถทำการปลูกทดสอบพืชได้ 24 ต้น และมีระบบการพ่นน้ำติดตั้งไว้ด้านบน ทำการฉีดน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว เป็นเวลา 10 วินาที ทุกๆ 15 นาที เพื่อลดความร้อนและรักษาความชื้นสามารถแสดงรูปการติดตั้งโรงเรือนได้ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 โรงเรือนในการทดสอบการปลูกพืชกินใบ

รูปที่ 3.4 โรงเรือนในการทดสอบการปลูกพืชกินผล

3.4.2 โรงเรือนทดสอบการปลูกพืชกินผล

โรงเรือนที่ทำการติดตั้งสำหรับการปลูกพืชกินผลได้แก่ การทดสอบการปลูกเมล่อน มีขนาด 5x6 เมตร ซึ่งสามารถปลูกได้จำนวน 54 ต้น มี 6 แถวๆละ 9 ต้น การให้น้ำเป็นระบบน้ำหยด มีอัตราการให้น้ำ ประมาณ 350-400 มิลลิลิตร/รอบ ซึ่งกำหนดการให้น้ำ 4 รอบต่อวัน ในทุกๆ 6 ชั่วโมง ซึ่งทำให้อัตราการให้น้ำอยู่ที่ประมาณ 1.5 ลิตร/วัน แสดงการติดตั้งโรงเรือนได้ดังรูปที่ 3.4

3.5 การทดสอบประสิทธิภาพการเดินระบบ MBR

เนื่องจากในเบื้องต้น ได้ทำการขนย้ายระบบ MBR จากการออกแบบไว้เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะขยะ เพื่อมาทดสอบกับน้ำซักล้าง ที่อัตราการบำบัดไม่เกิน 3 ลบ. ม./วัน ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 2 วัน ทำการเก็บวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดจำนวน 8 ครั้ง ได้แก่วันที่ 9 พฤษภาคม 2561, 22 พฤษภาคม 2561, 6 มิถุนายน 2561, 3 กรกฎาคม 2561, 17 กรกฎาคม 2561, 2 สิงหาคม 2561, 15 สิงหาคม 2561 และ 29 สิงหาคม 2561 ผลการเดินระบบพบว่าตะกอนจุลินทรีย์มีน้อยจนเกินไปไม่ถึง 3 กรัม/ลิตร อันเนื่องมาจากปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์มีน้อย ทำให้ไม่เพียงพอต่อเชื้อจุลินทรีย์ในการเจริญเติบโต สามารถดูผลการทดสอบได้ให้หัวข้อ ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล 4.1 จึงได้ทำการเปลี่ยนจากเมมเบรนแบบแผ่นเป็นเมมเบรนแบบเส้นใย ที่ขนาดรูพรุน 0.1 ไมครอน, พื้นที่ผิว 36 ตารางเมตร ที่สามารถรองรับน้ำเสียได้ไม่น้อยกว่า 10 ลูกบาศก์เมตร/วัน แทนในระบบเดิมซึ่งมีขนาดใหญ่เพียงพอต่อการรับเมมเบรนขนาดที่ใหญ่กว่าได้ โดยทำการทดสอบระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ที่ 1 วัน และ 12 ชั่วโมง

ตามลำดับ ลักษณะการเดินระบบเป็นแบบเดียวกันโดยทุก 1 ชั่วโมง จะทำการเดินระบบ 45 นาที และหยุดระบบ 15 นาที ซึ่งในรอบที่ระบบทำงาน จะมีการดูดน้ำบำบัดที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรน เป็นเวลา (working time) 9 นาที และหยุด (relaxation time) 1 นาที ทั้งนี้ เมมเบรนที่ทำการติดตั้งใหม่ต้องมีการล้างเมมเบรนแบบอัตโนมัติตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.3 ทุก 2 สัปดาห์ เพื่อป้องกันการอุดตันของเมมเบรน

3.6 การทดสอบการปลูกพืชกินใบและกินผล

การทดสอบการปลูกพืชกินใบ โดยทำการทดสอบกับผักบัตเตอร์เฮด (butter head) ทำการให้ปุ๋ย A และ B ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองสำหรับผักสลัด ที่อัตราการให้ปุ๋ย 5 มิลลิลิตร/น้ำ 1 ลิตร ในถังหมุนเวียนน้ำขนาด 30 ลิตร โดยชุดทดสอบทางด้านซ้ายมือ เป็นชุดควบคุมที่ให้น้ำประปา ส่วนชุดทดสอบตรงกลางและด้านขวามือเป็นชุดทดลอง โดยทดสอบการให้น้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR เริ่มต้นด้วยการเพาะเมล็ด และปลูกลงกระถางที่ใช้หินกรวดและหินเพอร์ไรต์ เป็นมีเดีย ซึ่งมีน้ำหนักเบา ดูดซับและกักเก็บน้ำได้ดี ทำการเติมปุ๋ยทุกๆ อาทิตย์ทีละ 5 มิลลิลิตร/น้ำ 1 ลิตร เนื่องจากการระเหยของน้ำ และวัดค่าความนำไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความชื้น และจดบันทึกการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ความกว้างและความยาวของใบ และความสูงของลำต้น โดยสุ่มเก็บข้อมูลชุดทดสอบละ **15** ต้น เมื่อค่าความนำไฟฟ้ามีค่ามากกว่า 4,000 µs/cm จะทำการเปลี่ยนน้ำและสารอาหารใหม่เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงมากเกินไป จะทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตต่อได้ เลี้ยงประมาณ 1.5 เดือน สามารถทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ นำผลการเจริญเติบโตของผักสลัดที่เก็บข้อมูลมาทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยโปรแกรม ANOVA

การทดสอบการปลูกพืชกินผล ทำการทดสอบโดยเลือกเมล่อนเป็นตัวแทนของพืชกินผล ที่มีมูลค่าและมีอายุการเก็บเกี่ยวระยะสั้น ในเวลา 90 วัน พันธุ์ที่นำมาทดสอบเป็นเมล่อนพันธุ์ princess ผลเป็นตาข่ายเนื้อเขียว ทำการเพาะในกระบะที่ใช้แกลบดำ และขุยมะพร้าวละเอียด เป็นเวลา 10 วัน ก่อนนำลงปลูกในโรงเรือน ซึ่งวัสดุที่ใช้ปลูกเป็นขุยมะพร้าวผสมปุ๋ยคอก ปุ๋ยที่ใช้ทดสอบเป็นปุ๋ยเม็ดละลายช้า ออสโมโค้ท สูตร 3 เดือน (13-13-13) และสูตร 6 เดือน (12-25-6+1 แมกเนเซียม) อย่างละ 40 กรัมต่อกระถาง เมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม 2562 โดยได้รับคำแนะนำจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ส่วนการทดสอบการให้น้ำ 3 แถวทางด้านขวามือจะเป็นชุดควบคุมด้วยการให้น้ำประปา ส่วน 3 แถว ทางด้านซ้ายมือ จะเป็นชุดทดสอบด้วยการให้น้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR ทำการสังเกตการเจริญเติบโตของเมล่อน ตรวจสอบการเป็นโรค อันเนื่องมาจากเชื้อโรคและแมลง หลังจากเลี้ยงในโรงเรือนเป็นเวลา 1 เดือน เมล่อนเริ่มเลื้อย และเริ่มออกดอก จึงทยอยผสมเกสรเพื่อให้เมล่อนติดผล เมื่อลูกเมล่อนมีขนาดเท่าลูกเทนนิสจึงแขวนลูกเพื่อช่วยต้นเมล่อนในการรับน้ำหนัก และทำการใส่ปุ๋ยเม็ดสูตร 8-24-24 เพื่อเพิ่มความหวานให้กับผลเมล่อน ให้ในอัตราประมาณ 20 กรัม/ต้น และเมื่อเมล่อนติดผลได้ระยะ 45-60 วัน ก่อนจะทำการเก็บเกี่ยวผลเมล่อนก่อน 1 อาทิตย์ จะทำการลดการให้น้ำลงเรื่อยๆ จนหยุดการให้น้ำ เพื่อให้ผลเมล่อนคงสภาพของความหวานไว้ ทำการชั่งน้ำหนัก และวัดความหวานของเมล่อนเปรียบเทียบระหว่างเมล่อนที่ให้น้ำประปาและน้ำที่ผ่านการบำบัด ทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.7 การติดตั้งระบบน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในชักโครก

ติดตั้งระบบน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในชักโครกบริเวณห้องน้ำชั้น 1 ซึ่งมีห้องน้ำจำนวน 2 ห้อง ได้แก่ ห้องน้ำหญิง 1 ห้อง และห้องน้ำชาย 1 ห้อง จดปริมาตรน้ำการใช้ในแต่ละเดือน สามารถแสดงการติดตั้งท่อน้ำที่ผ่านการบำบัดในห้องน้ำหญิงและชายดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 การติดตั้งท่อน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อนำไปใช้ในชักโครก

3.8 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบ และการเจริญเติบโตของพืช

3.8.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเข้าระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดทุก 1-2 สัปดาห์ โดยการวิเคราะห์ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD), ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solid: SS), สารที่ละลายได้ในน้ำ (Total Dissolved Solid :TDS) และดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค ได้แก่ โคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform) และอีโคไล (*E. coli*) ด้วย membrane filter ตามวิธิมาตรฐาน (APHA, 1995) ส่วนค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจน ทำการวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบของ HACH (HACH, USA) ไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC-L, Shimizu, Japan) ค่าออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำ (Dissolved oxygen: DO) (YSI Pro 20, USA) และวัดค่าความเป็น กรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิ, การนำไฟฟ้า และค่าของความเค็มในระบบ MBR ด้วยหัวรวมวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (YSI 60, USA) นอกจากนี้ วิเคราะห์ค่าตะกอนของสลัดจ์ (Mixed Liquor Suspended Solids: MLSS) ด้วยวิธีมาตรฐานของญี่ปุ่น (JSWA, 1997).

ส่วนการวิเคราะห์ค่าไนเตรทในผักสลัดที่ปลูกแบบไร้ดิน (hydroponics) จะทำการสกัดสารไนเตรทออกมาจากพืชด้วยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และนำมาชั่งน้ำหนักแห้งที่ 1 กรัม บดให้ละเอียด จากนั้นนำมาละลายน้ำ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วนำมาปั่นเหวี่ยงที่ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองก่อนนำไปวิเคราะห์ไนเตรทด้วย Ion Chromatoghaphy (Dionex) ต่อไป

นอกจากนี้ยังทำการเก็บวิเคราะห์โคลิฟอร์มและอีโคไล จากถักพักน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อดูการปนเปื้อนทางด้านเชื้อโรค สำหรับการนำไปใช้ในการทดสอบพืชและการทำไปใช้ในชักโครกทุกๆ 2 อาทิตย์

3.8.2 การวิเคราะห์สารซักล้าง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดของสารซักล้าง น้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดถูกนำมาสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction) โดยใช้ตัวดูดซับชนิด C18 ที่ขนาด 100 มิลลิกรัม ปริมาตร 6 มิลลิลิตร กระบวนการสกัดเริ่มจากการปรับสภาพตัวดูดซับดังกล่าวด้วยตัวทำละลายมีขั้ว คือ เมทานอลและไดคลอโรมีเทน ในสัดส่วน (1:9) จากนั้นปล่อยให้น้ำตัวอย่างไหลผ่านตัวดูซับที่อัตราการไหล 1-5 มิลลิลิตรต่อนาที ในปริมาตรที่เหมาะสม ทิ้งตัวดูดซับไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง จึงชะตัวดูซับด้วยสารละลายเมทานอลและไดคลอโรมีเทน ในสัดส่วน (1:9) ครั้งละ 5 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง เพื่อสกัดเอาสารอินทรีย์ซักล้างออกมา นำของเหลวที่ได้ไประเหยจนมีปริมาตร 2 มิลลิตร บรรจุลงในขวดเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปฉีดเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟีแมสสเปคโทรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณของสารอินทรีย์ซักล้างต่อไป

ส่วนการวิเคราะห์การตกค้างในพืชสำหรับพืชกินใบ หรือผักสลัดที่ทำการทดสอบ ได้ทำการเก็บวัดผักสลัดตอนเก็บเกี่ยวผลผลิต ทั้งชุดควบคุม และชุดทดสอบ ทำการสกัดเพื่อหาสารอินทรีย์ซักล้างตามวิธีมาตรฐานและนำไปวิเคราะห์วิธีเดียวกันกับที่วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

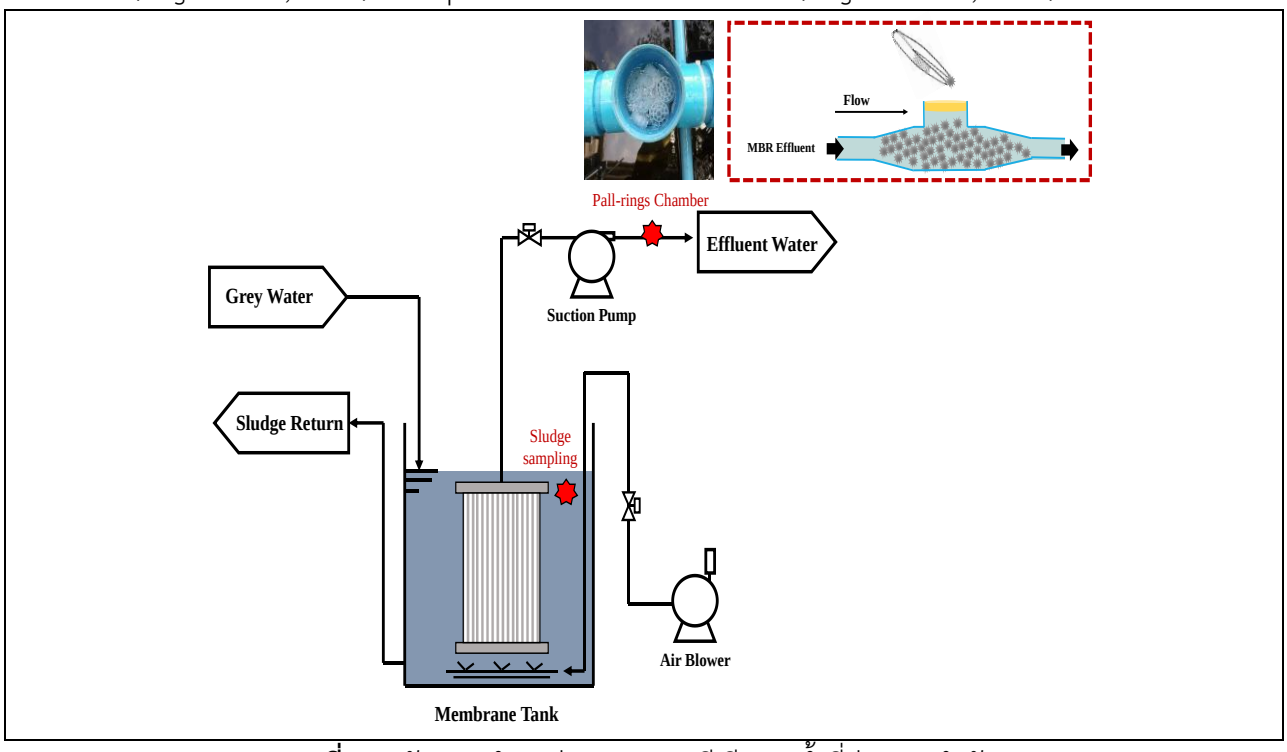
3.8.3 การวิเคราะห์ชนิดของสายพันธุ์จุลินทรีย์

การวิเคราะห์สายพันธ์จุลินทรีย์ ด้วยเทคนิคด้านอณูชีวโมเลกุลด้วย Next Generation Sequencing (NGS) จากตะกอนสลัดจ์ที่อยู่ในระบบ MBR และจากมีเดียที่ทดลองใส่ไว้ในท่อน้ำออกที่ผ่านการบำบัดแล้ว ดังรูปที่ 3.6 เพื่อศึกษาลักษณะของสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ regrowth และอาจส่งต่อการปนเปื้อนในถังเก็บน้ำในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ตัวอย่างที่เก็บเพื่อวิเคราะห์ แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่เดินระบบด้วยเมมเบรนแบบแผ่น ที่รองรับน้ำเสีย 2 ลบ.ม./วัน ซึ่งมีระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 2 วัน ทำการเก็บตัวอย่าง จำนวน 5 ตัวอย่าง ได้แก่ ตะกอนสลัดจ์เริ่มต้นที่ใส่เป็นหัวเชื้อ เมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2561 ตะกอนสลัดจ์ในระบบ MBR ของระยะเวลาที่เดินระบบไป 15 55 และ 98 วัน เมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม 3 กรกฎาคม และ 17 สิงหาคม 2561 ตามลำดับ ส่วนการทดสอบกับมีเดียที่ตำแหน่งน้ำที่ผ่านการบำบัด เก็บตัวอย่างหลังจากเดินระบบไป 79 วัน เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2561 ส่วนช่วงที่ 2 จะเป็นช่วงการเดินระบบด้วยเมมเบรนแบบเส้นใยที่อัตราการรองรับน้ำเสียที่ 10 ลบ.ม./วัน และมีระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่าง จำนวน 8 ตัวอย่าง ได้แก่ ตะกอนสลัดจ์เริ่มต้นที่ใส่เป็นหัวเชื้อ เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2562 ตะกอนสลัดจ์ในระบบ MBR ของระยะเวลาที่เดินระบบไป 42 78 107 และ 142 วัน เมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 19 มิถุนายน 18 กรกฎาคม และ 22 สิงหาคม 2562 ตามลำดับ ส่วนการทดสอบกับมีเดียที่ตำแหน่งน้ำที่ผ่านการบำบัด เก็บตัวอย่างหลังจากเดินระบบไป 78 107 และ 142 ในวันเดียวกับที่เก็บตะกอนสลัดจ์ในระบบ

ขั้นตอนการวิเคราะห์สายพันธุ์จุลินทรีย์ เริ่มจากทำการสกัดดีเอ็นเอจากตะกอนสลัดจ์ และจากผิวบนมีเดีย ด้วยชุดสกัดของ Taco (TacoTMTotal DNA Extraction Kit) (GeneReach Biotechnology Corp., Taiwan) และวิเคราะห์ปริมาณดีเอ็นดีที่สกัดได้ด้วยเครื่องนาโนสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Nanodrop 2000, Themo Fisher, USA) จากนั้นจึงเพิ่มปริมาณของยีน 16S rRNA บริเวณ V3 and V4 hypervariable region ที่primer 341F and 805R ด้วยปฏิกิริยา Polymerase Chain Reaction (PCR) โดยมีสภาวะการวิเคราะห์ ดังนี้ initial denaturation step 3 นาที ที่ 94 ^{O}C, ตามด้วย 25 รอบของ 98 ^{O}C เป็นเวลา 20 วินาที, 55 ^{O}C เป็นเวลา 30 วินาที และ 72 ^{O}C เป็นเวลา 30 วินาที หลังจากนั้น ตามด้วย final extension ที่ 72 ^{O}C เป็นเวลา 5 นาที เมื่อได้ผลิตผล PCR ที่ต้องการแล้วจึงทำการวิเคราะห์สายพันธุ์จุลินทรีย์ด้วย Illumina Miseg โดยใช้เทคนิค NGS หลังจากนั้นจึงทำการจัดกลุ่มสาย

พันธุ์ของจุลินทรีย์ ด้วย FASTQC software ส่วน chimeras ถูกลบออกจากผลวิเคราะห์ด้วยวิธีของ UCHIME method (Edgar et al., 2011) as implemented in vsearch1.1.1 (Rognes et al., 2016)



รูปที่ 3.6 ลักษณะตำแหน่งการทดสอบมีเดียจากน้ำที่ผ่านการบำบัด

3.8.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะของสารอินทรีย์

การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบทั้งหมด (DOC) ในน้ำตัวอย่างจะดำเนินการด้วยเครื่องวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC-L, Shimadzu, Japan) ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Non-purgeable ขณะที่ปริมาณสารไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำตัวอย่างนั้นจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TOC-L, Shimadzu, Japan) เช่นกัน ค่าดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตรของน้ำที่จะทำการทดสอบได้ดำเนินการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (U-2700, Shimadzu, Japan) และ สัดส่วนระหว่าง ค่าดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตรและปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบทั้งหมด จะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าดูดกลืนแสงจำเพาะที่ 254 นาโนเมตร (Specific Ultraviolet absorbance at 254 nm: SUVA254) เพื่อบ่งบอกคุณลักษณะของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่อยู่ในน้ำตัวอย่าง อาทิ เช่น ประเภทที่ชอบน้ำ (Hydrophilicity) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) นอกจากนี้ น้ำเสียจากการซักล้างและน้ำที่ผ่านกระบวนปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยผงถ่านกัมมันต์ (ที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรน 0.45 ไมโครเมตร) จะนำมาทดสอบหาปริมาณสารอินทรีย์ที่เรืองแสง (Fluorescent DOM) ด้วยเครื่องมือ Spectrofluorescent

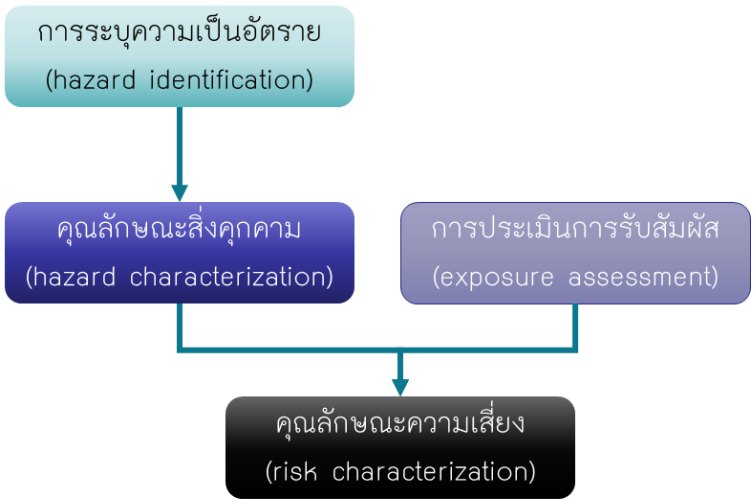
3.9 การประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยสำหรับการบริโภค

การประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยจากผู้บริโภค แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารเคมี และการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสเชื้อก่อโรค โดยที่การประเมินแต่ละกรณีมีรายละเอียดดังนี้

3.9.1 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารเคมี

กระบวนการการประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีพัฒนาขึ้นโดย National Academy of Science และ U.S. EPA. ของประเทศสหรัฐอเมริกา ประกอบด้วย 4 กระบวนการ (รูปที่ 3.7) ดังต่อไปนี้

1. การระบุความเป็นอันตราย (hazard identification) คือ ระบุประเภทและธรรมชาติของการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ คัดกรอง และจัดลำดับความเป็นอันตราย
2. คุณลักษณะสิ่งคุกคาม (hazard characterization) คือ อธิบายถึงศักยภาพสิ่งคุกคาม ที่มีโอกาสเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ
3. การประเมินการรับสัมผัส (exposure assessment) ประเมินความเข้มข้น หรือ ปริมาณของสิ่งคุกคามที่มีโอกาสเข้าสู่ร่างกาย
4. คุณลักษณะความเสี่ยง (risk characterization) กำหนดความอันตราย และให้ข้อเสนอแนะในการตัดสินใจ



รูปที่ 3.7 กระบวนการประเมินความเสี่ยง

3.9.2 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสเชื้อก่อโรค

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสเชื้อก่อโรคได้เลือกใช้วิธีการ Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) ในการประเมินความเสี่ยงของโรคติดเชื้อต่อผู้ปฏิบัติงาน และประชาชนทั่วไป วิธีการ QMRA นี้เป็นวิธีการหนึ่งที่ WHO และ USEPA ให้การยอมรับ และมีการใช้กันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะอย่างยิ่ง

ในงานวางแผนความเสี่ยง เพราะเป็นวิธีการที่ได้ผลเร็ว ใช้ข้อมูลน้อย และมีค่าใช้จ่ายน้อย เมื่อเทียบกับวิธีการทางระบาดวิทยา (WHO, 2006; U.S.EPA., 2010) วิธีการประเมินความเสี่ยงของโรคติดเชื้อ โดยวิธี QMRA เป็นวิธีที่หาผลของการได้รับเชื้อของการสัมผัสที่เกิดจริงหรือการสัมผัสที่คาดว่าจะมี โดยผลของการติดเชื้ออาจจะแสดงในรูปที่เกิดเป็นโรคหรือไม่ก็ได้ (Haas *et al.,* 1999) วิธีการประเมินแบบ QMRA มีอยู่ 4 ขั้นตอนเช่นเดียวกับการประเมินความเสี่ยงของการได้รับสารเคมี

3.10 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่

หลายปีที่ผ่านมาได้มีการดำเนินโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการนำน้ำเกรย์กลับมาใช้ใหม่ อาศัยความทั้งร่วมมือของผู้เชี่ยวชาญทั้งในภายรัฐและเอกชน ทั้งภายในและต่างประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการนำน้ำเกรย์ที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ในพื้นที่เขตร้อน อย่างไรก็ตามแม้ว่าเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียจะอยู่ในระดับสูงเพียงใด แต่การนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ในภาคการเกษตรยังได้รับการยอมรับเพียงบางส่วนเท่านั้น และไม่ได้รับการยอมรับอย่างสิ้นเชิงในการนำกลับมาใช้ใหม่ในภาคประชาชน ดังนั้นเพื่อให้ได้แนวทางในการกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาด และการพัฒนาเทคโนโลยีให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค จึงจำเป็นต้องที่จะต้องศึกษาพฤติกรรม การยอมรับ และทัศนคติของผู้บริโภคต่อน้ำเสียที่บำบัดแล้วและต้องการนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประกอบการวางแผนทางการตลาดและศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนเชิงเศรษฐศาสตร์การเงินต่อไป

การศึกษาเรื่องการยอมรับสำหรับการใช้น้ำทิ้งอาคารหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ กรณีศึกษามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการรับรู้และการยอมรับ ของผู้บริโภคในพื้นที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) ต่อการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ การวิจัยครั้งนี้เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลเป็นแบบสอบถามปลายปิด (Close-ended Questionnaire) จำนวน 420 ชุด (ภาคผนวกที่ 1) คิดเป็นอัตราการตอบกลับ 100% มีค่าความเที่ยงของตัวแปรแต่ละด้าน มีค่าเท่ากับ 0.8519 – 0.9822 อยู่ในเกณฑ์ดี – ดีมาก จึงสามารถนำผลลัพธ์ไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป สถิติเชิงพรรณนาที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คิอ

1. การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
2. การวิเคราะห์ข้อมูลการรับรู้ของประชาชน เรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่
3. การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกและการตัดสินใจใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับประกอบกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน
4. การวิเคราะห์การยอมรับการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประกอบกิจกรรมในชีวิตประจำวัน

<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยมีลักษณะคำตอบให้เลือกตอบประกอบด้วยคำถาม 8 ข้อ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรระดับการวัดข้อมูลและเกณฑ์การแบ่งกลุ่มคำตอบ สำหรับข้อมูลทั่วไป

	ตัวแปร	ระดับการวัด	เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม
1.	เพศ	Nominal	1 = ชาย 2 = หญิง
2.	อายุ	Ordinal	1 = ต่ำกว่า 18 ปี 2 = 18 – 24 ปี 3 = 25 – 34 ปี 4 = 35 – 44 ปี 5 = 45 – 54 ปี 6 = 55 ปีขึ้นไป
3.	อาชีพ	Nominal	1 = นิสิต 2 = บุคลากรของ มศว 3 = บุคคลทั่วไป
4.	คณะ / วิทยาลัย	Nominal	1 = วิทยาศาสตร์ - เทคโนโลยี 2 = การแพทย์ - สาธารณสุข 3 = ศึกษาทั่วไป
5.	ระดับการศึกษา	Ordinal	1 = ปริญญาตรี 2 = ปริญญาโท 3 = ปริญญาเอก
6.	ชั้นปี (สำหรับนิสิตปริญญาตรี)	Ordinal	1 = ปี 1 2 = ปี 2 3 = ปี 3 4 = ปี 4 5 = มากกว่าปี 4
7.	สายการปฏิบัติงาน	Nominal	1 = บุคลากรสายวิชาการ 2 = บุคลากรสายสนับสนุน
8.	อาชีพ	Nominal	1 = ข้าราชการ พนักงานลูกจ้างของรัฐ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ 2 = พนักงาน/ลูกจ้างเอกชนรายเดือน 3 = พนักงาน/ลูกจ้าง

ตัวแปร	ระดับการวัด	เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม
		เอกชนรายวัน 4 = ค้าขาย/ประกอบธุรกิจส่วนตัว 5 = เกษตรกร 6 = รับจ้างทั่วไป 7 = แม่บ้าน/พ่อบ้าน 8 = นักเรียน/นักศึกษา 9 = กรรมกร 10 = ขับรถรับจ้าง (มอเตอร์ไซด์รับจ้าง รถตู้แท็กซี่) 11 = อื่นๆ

<u>ส่วนที่ 2</u> การรับรู้เรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และนำกลับมาใช้ใหม่ของผู้บริโภคในพื้นที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) โดยวัดระดับความสำคัญเป็นมาตรประมาณค่า (Rating Scale) ของลิเคอร์ท (Likert) 3 ระดับ โดยแบ่งการรับรู้ออกเป็น 2 ด้าน ดังนี้

(1) การรับรู้สถานการณ์น้ำเสียในพื้นที่ โดยแสดงเกณฑ์ในการวัดระดับออกเป็น 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

(2) การรับรู้คำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย และการบำบัดน้ำเสีย โดยแสดงเกณฑ์ในการวัดระดับออกเป็น 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์ในการจัดระดับ สำหรับการรับรู้สถานการณ์น้ำเสียในพื้นที่

	คำถาม	ระดับการวัด	เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม
1.	ท่านมีการพูดคุยเกี่ยวกับสถานการณ์น้ำเสียของมหาวิทยาลัยกับบุคคลรอบข้างบ่อยเพียงใด	Interval	1 = ไม่เคยเลย 2 = นานๆ ครั้ง 3 = บ่อยครั้ง
2.	ท่านมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการต่างๆในการบำบัดน้ำเสียมากน้อยเพียงใด	Interval	1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก
3.	ท่านรู้จักการบำบัดน้ำเสียเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ หรือไม่	Interval	1 = ไม่รู้จักเลย 2 = เคยได้ยินมาเล็กน้อย 3 = รู้จักเป็นอย่างดี

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์ในการจัดระดับ สำหรับการรับรู้คำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย และการบำบัดน้ำเสีย

	คำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย และการบำบัดน้ำเสีย	ระดับการวัด	เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม
1.	น้ำเสีย (Wastewater)	Interval	1 = ไม่เคยได้ยินมาก่อน 2 = เคยได้ยินแต่ไม่ทราบความหมาย 3 = ทราบความหมาย
2.	น้ำเกรย์ (Greywater)	Interval	1 = ไม่เคยได้ยินมาก่อน 2 = เคยได้ยินแต่ไม่ทราบความหมาย 3 = ทราบความหมาย
3.	น้ำโสโครก (Sewage)	Interval	1 = ไม่เคยได้ยินมาก่อน 2 = เคยได้ยินแต่ไม่ทราบความหมาย 3 = ทราบความหมาย
4.	การบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Wastewater Reuse)	Interval	1 = ไม่เคยได้ยินมาก่อน 2 = เคยได้ยินแต่ไม่ทราบความหมาย 3 = ทราบความหมาย
5.	การบำบัดน้ำเสียแบบติดที่ (On-site Treatment)	Interval	1 = ไม่เคยได้ยินมาก่อน 2 = เคยได้ยินแต่ไม่ทราบความหมาย 3 = ทราบความหมาย
6.	กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (Advanced Wastewater Treatment)	Interval	1 = ไม่เคยได้ยินมาก่อน 2 = เคยได้ยินแต่ไม่ทราบความหมาย 3 = ทราบความหมาย
7.	มาตรฐานน้ำทิ้ง (Effluent Standards)	Interval	1 = ไม่เคยได้ยินมาก่อน 2 = เคยได้ยินแต่ไม่ทราบความหมาย 3 = ทราบความหมาย

<u>ส่วนที่ 3</u> ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับการใช้งานในกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน โดยวัดระดับความสำคัญเป็นมาตรประมาณค่า (Rating Scale) ของลิเคอร์ท (Likert) 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด โดยมีเกณฑ์การแปลความหมายดังตารางที่ 3.4

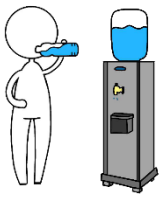
ตารางที่ 3.4 เกณฑ์ในการจัดระดับ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับการใช้งานในกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว		ระดับการวัด	เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม
1.	แหล่งที่มาของน้ำเสีย	Interval	1 = น้อยที่สุด 2 = น้อย 3 = ปานกลาง 4 = มาก 5 = มากที่สุด
2.	หน่วยงานที่รับผิดชอบการบำบัด (ผู้ผลิต)	Interval	1 = น้อยที่สุด 2 = น้อย 3 = ปานกลาง 4 = มาก 5 = มากที่สุด
3.	กระบวนการบำบัดน้ำเสีย	Interval	1 = น้อยที่สุด 2 = น้อย 3 = ปานกลาง 4 = มาก 5 = มากที่สุด
4.	ลักษณะทางกายภาพ (สี / กลิ่น / รส)	Interval	1 = น้อยที่สุด 2 = น้อย 3 = ปานกลาง 4 = มาก 5 = มากที่สุด
5.	ปราศจากสารเคมีตกค้าง (เช่น ผงซักฟอก และอื่นๆ)	Interval	1 = น้อยที่สุด 2 = น้อย 3 = ปานกลาง 4 = มาก 5 = มากที่สุด
6.	ปราศจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ และเชื้อก่อโรค	Interval	1 = น้อยที่สุด 2 = น้อย 3 = ปานกลาง 4 = มาก 5 = มากที่สุด
7.	ผ่านการรับรองมาตรฐาน	Interval	1 = น้อยที่สุด 2 = น้อย

ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว	ระดับการวัด	เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม
		3 = ปานกลาง 4 = มาก 5 = มากที่สุด 1 = น้อยที่สุด 2 = น้อย
8. กิจกรรมที่นำน้ำไปใช้ประโยชน์	Interval	3 = ปานกลาง 4 = มาก 5 = มากที่สุด 1 = น้อยที่สุด 2 = น้อย
9. ราคา	Interval	3 = ปานกลาง 4 = มาก 5 = มากที่สุด

<u>ส่วนที่ 4</u> การยอมรับการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประกอบกิจกรรมในชีวิตประจำวัน แบบสอบถามเป็นแบบกำหนดคำตอบให้เลือกตอบ เพื่อทราบระดับการยอมรับของการนำน้ำเสียที่บำบัดมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ ผู้จัดทำได้ทำเป็นภาพกิจกรรมต่างๆ เพื่อให้เข้าใจได้ตรงกันมากขึ้น โดยแสดงเกณฑ์ในการวัดเป็นมาตรประมาณค่า ออกเป็น 5 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

กิจกรรมในภาคประชาชน 7 กิจกรรม



(1) ใช้ดื่ม

(2) ใช้ประกอบอาหาร

(3) ใช้ชำระล้างร่างกาย

(4) ใช้ซักผ้า

(5) ใช้ฟลัดชักโครก

(6) ใช้ล้างรถยนต์

(7) ใช้ทำความสะอาดพื้น

กิจกรรมในภาคการเกษตร 5 กิจกรรม

(1) ใช้รดน้ำผักสดกินใบ

(2) ใช้รดน้ำพืชกินส่วนหัว (หัวอยู่ใต้ดิน)

(3) ใช้รดน้ำพืชดอก

(4) ใช้ตกแต่งสวนสาธารณะ

(5) ใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ตารางที่ 3.5 เกณฑ์ในการจัดระดับ สำหรับระดับการยอมรับของการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน

กิจกรรมต่างๆ	ระดับการวัด	เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม
1. ใช้ดื่ม	Interval	1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด 2 = ไม่ยอมรับ 3 = เฉยๆ 4 = ยอมรับ 5 = ยอมรับมาก
2. ใช้ประกอบอาหาร	Interval	1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด 2 = ไม่ยอมรับ 3 = เฉยๆ 4 = ยอมรับ 5 = ยอมรับมาก
3. ใช้ชำระล้างร่างกาย	Interval	1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด 2 = ไม่ยอมรับ 3 = เฉยๆ 4 = ยอมรับ 5 = ยอมรับมาก
4. ใช้ซักผ้า	Interval	1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด

	กิจกรรมต่างๆ	ระดับการวัด	เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม
			2 = ไม่ยอมรับ
			3 = เฉยๆ
			4 = ยอมรับ
			5 = ยอมรับมาก
			1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด
			2 = ไม่ยอมรับ
5.	ใช้ฟลัดชักโครก	Interval	3 = เฉยๆ
			4 = ยอมรับ
			5 = ยอมรับมาก
			1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด
			2 = ไม่ยอมรับ
6.	ใช้ล้างรถยนต์	Interval	3 = เฉยๆ
			4 = ยอมรับ
			5 = ยอมรับมาก
			1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด
			2 = ไม่ยอมรับ
7.	ใช้ทำความสะอาดพื้น	Interval	3 = เฉยๆ
			4 = ยอมรับ
			5 = ยอมรับมาก
			1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด
			2 = ไม่ยอมรับ
8.	ใช้รดน้ำผักสดกินใบ	Interval	3 = เฉยๆ
			4 = ยอมรับ
			5 = ยอมรับมาก
			1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด
			2 = ไม่ยอมรับ
9.	ใช้รดน้ำพืชกินส่วนหัว (หัวอยู่ใต้ดิน)	Interval	3 = เฉยๆ
			4 = ยอมรับ
			5 = ยอมรับมาก
			1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด
			2 = ไม่ยอมรับ
10.	ใช้รดน้ำพืชดอก	Interval	3 = เฉยๆ
			4 = ยอมรับ
			5 = ยอมรับมาก

กิจกรรมต่างๆ	ระดับการวัด	เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม
11. ใช้ตกแต่งสวนสาธารณะ	Interval	1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด 2 = ไม่ยอมรับ 3 = เฉยๆ 4 = ยอมรับ 5 = ยอมรับมาก
12. ใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	Interval	1 = ไม่ยอมรับเด็ดขาด 2 = ไม่ยอมรับ 3 = เฉยๆ 4 = ยอมรับ 5 = ยอมรับมาก

3.11 การทดสอบการบำบัดสารอินทรีย์จากน้ำซักล้างด้วยผงถ่านกัมมันต์

ผงถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมาก มีรูพรุนสูง มีประสิทธิภาพของการกำจัดกลิ่นสารอินทรีย์ได้หลากหลายประเภท ได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดสารดังกล่าวในระยะเวลารวดเร็ว (Khan et al., 2009; Oh et al., 2007) ประกอบกับการนำผงถ่านกัมมันต์ไปใช้ร่วมในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำนั้นสามารถทำได้ง่าย ไม่มีความซับซ้อน และใช้พลังงานน้อย ทำให้ผงถ่านกัมมันต์เป็นที่นิยมสำหรับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ จึงได้ทำการศึกษาการใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับในการบำบัดสารอินทรีย์จากน้ำซักล้าง นอกจากการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ MBR

3.11.1 การเตรียมผงถ่านกัมมันต์

ผงถ่านกัมมันต์ทางการค้า (Commercial powdered activated carbon) ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ ก่อนผงถ่านกัมมันต์มาใช้ในการทดลอง ผงถ่านกัมมันต์ได้ถูกนำมาล้างสิ่งปนเปื้อนออกก่อน ด้วยการล้างด้วยน้ำกลั่น ประมาณ 20–30 ลิตร หลังจากนั้นนำวัสดุดูดซับดังกล่าวไปอบเพื่อให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นผงถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการนี้จะถูกเก็บไว้ในขวดแก้วแบบฝาเกลียว ก่อนนำมาใช้ในการทดลอง

3.11.2 การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ด้วยผงถ่านกัมมันต์

การบำบัดสารอินทรีย์ด้วยผงถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียจากการซักล้างได้ดำเนินการทดสอบ ซึ่งลักษณะการทดลองเป็นแบบกะ (Batch experiment) โดยวิธีหนึ่งขวดหนึ่งตัวอย่าง (Bottle-point-method). เพื่อหาปริมาณของมวลผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากการซักล้าง และหาความสัมพันธ์ของระยะเวลาการดูดซับกับประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์

การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ที่ส่งผลมาจากปริมาณผงถ่านกัมมันต์ จะดำเนินการทดลองโดยชั่งปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 5–300 มิลลิกรัม เทใส่ลงไป ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ที่มีน้ำเสียจากการซักล้างปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปวางในตู้เขย่าด้วยอัตรา 220 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็น

ระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการเข้าภาวะสมดุลการดูดซับ เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด สารละลายดังกล่าวจะถูกกรองด้วยเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปแบบของค่าดูดกลืน UV254 เพื่อบ่งบอกปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพสูงสุดต่อการบำบัดสารอินทรีย์

ระยะเวลาการดูดซับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสัมผัสระหว่างมวลสารและวัสดุดูดซับ การศึกษานี้ได้ดำเนินการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาในการดูดซับ ระหว่าง 0, 3, 5, 10, 20, 30, 60, 120 นาที และ 48 ชั่วโมง โดยจะกำหนดสภาวะของการดูดซับอื่นๆ คงที่ โดยกำหนดให้มีปริมาณผงถ่ากัมมันต์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น และปริมาตรของน้ำเสียจากการซักล้าง 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ อัตราการเขย่า 220 รอบต่อนาที เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดนั้น สารละลายดังกล่าวจะถูกกรองด้วยเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน และนำมาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปแบบของ DOC และ UV254 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด สารอินทรีย์ที่เรืองแสง (Fluorescent DOM)

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการเดินระบบสำหรับเมมเบรน Flat sheet

ในการเดินระบบด้วยการใช้เมมเบรน แบบแผ่น Flat sheet เป็นระยะเวลา 4 เดือน ที่อัตราน้ำเข้าระบบไม่เกิน 3 m^3/d สามารถแสดงค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำที่เข้าระบบและที่ผ่านการบำบัดของเมมเบรนแบบแผ่น ดังตารางที่ 7 พบว่า ค่าเฉลี่ยซีโอดีเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 149 mg/L ทำให้ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate: OLR) อยู่ที่ 0.073 kg-COD/m^3-d โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำเข้าระบบอยู่ที่ 2.2 m^3/d มีระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ที่ 2 วัน ส่วนค่าเฉลี่ยของ Flux ในระบบ อยู่ที่ 0.27 m^3/m^2-d ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่แผ่นเมมเบรนสามารถรองรับได้ ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของตะกอนสลัดจ์ เท่ากับ 1.8 mg/L ซึ่งมีค่าไม่สูงมากเมื่อเทียบกับความสามารถในการรองรับความเข้มข้นของตะกอนสลัดจ์ในระบบได้สูงถึง 15 mg/L ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์นานถึง 2 วัน ทั้งๆ ที่ค่าซีโอดีที่เข้าระบบมีค่าน้อย จึงทำให้อาหารมีไม่เพียงพอในการเลี้ยงให้ตะกอนจุลินทรีย์เจริญเติบโต ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดและด่างของระบบ เท่ากับ 7.3 ซึ่งมีความเป็นกลาง ส่วนค่าเฉลี่ยของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เท่ากับ 5.3 mg/L ซึ่งมากกว่าเกณฑ์ที่ระบบออกแบบไว้ที่ไม่น้อยกว่า 2 mg/L ในขณะที่อุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 29.6 $^{\circ}C$ ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 426 µS/cm และค่าความเค็ม มีค่าเท่ากับ 0.2 ppt ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียประเภทซักล้างมีความสกปรกไม่มาก ทำให้ระบบสามารถรองรับความสกปรกทั้งคุณภาพและปริมาณได้มากกว่าระบบเดิมที่ทำการออกแบบไว้สำหรับการบำบัดน้ำชะขยะที่มีความเข้มข้นของความสกปรกค่อนข้างสูง สามารถแสดงคุณลักษณะของตะกอนสลัดจ์ น้ำที่ผ่านการบำบัด และลักษณะน้ำเสียที่เข้าระบบ ได้ดังรูปที่ 4.1-4.3

รูปที่ 4.1 ลักษณะของสลัดจ์ในระบบ MBR

รูปที่ 4.2 น้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR

รูปที่ 4.3 น้ำเสียก่อนเข้าระบบ(ซ้าย) และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด(ขวา)

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี, ตะกอนแขวนลอย, แอมโมเนีย และดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค ได้แก่ โคลิฟอร์มทั้งหมด และอีโคไล มีค่ามากกว่าร้อยละ 99 ส่วนค่าเฉลี่ยการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี สามารถบำบัดได้ร้อยละ 91 ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นระบบเติมอากาศ ทำให้ไม่สามารถบำบัดสารประกอบไนโตรเจนอย่างไนเตรท และไนโตรเจนทั้งหมดได้ รวมถึงสารที่ละลายน้ำ และฟอสฟอรัสทั้งหมดด้วย โดยตารางที่ 4.1 ได้แสดงการสรุปค่าความเข้มข้นของแต่ละพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำที่เข้าระบบ และที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำที่เข้าระบบและที่ผ่านการบำบัดของเมมเบรนแบบแผ่น

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	น้ำเสียก่อนเข้าระบบ	น้ำที่ผ่านการบำบัด
สารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี	มก./ล.	62	0.4
สารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี	มก./ล.	149	13
แอมโมเนีย	มก./ล.	4.5	0
ไนเตรท	มก./ล.	8.0	10.5
ไนโตรเจนทั้งหมด	มก./ล.	12.3	11.0
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	75	0
สารที่ละลายน้ำ	มก./ล.	254	304
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	3.9	3.2
โคลิฟอร์ม	CFU/100 mL	4.7×10^4	4
อีโคไล	CFU/100 mL	351	0.1

ผลการการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ประเภทสารซักล้าง พบการปนเปื้อนของ Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) และ Sodium Lauryl Sulfate (SLS) ซึ่งเป็นสาร surfactant ประเภทประจุลบ จากน้ำเสียก่อนเข้าระบบ อยู่ที่ 0.14 และ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และน้ำที่ผ่านการบำบัด อยู่ที่ 0.02 และ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งระบบ MBR มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารดังกล่าวได้ร้อยละ 87.8 และ 47.5 ตามลำดับ ส่วนสารฆ่าเชื้อโรค (biocides) พบสารไตรโคลซาน (Triclosan) และ สารไตรโคลคาร์บาน (Triclocarban) โดยมีความเข้มข้นในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ เท่ากับ 1.24 ไมโครกรัมต่อลิตรและ 0.07 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งระบบสามารถทำการบำบัดสารไตรโคลซานได้ถึงร้อยละ 84.3 และ 42.9 ตามลำดับ โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าความเข้มข้นของสารไตรโคลซาน (Triclosan) และ สารไตรโคลคาร์บาน (Triclocarban) เท่ากับ 0.20 และ 0.04 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ประเภทสารซักล้างที่เข้าระบบและที่ผ่านการบำบัด (n=1)

สารซักล้าง	หน่วย	น้ำเสียก่อน	น้ำที่ผ่านการบำบัด
Linear Alkylbenzene Sulfonates	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.14	0.02
Sodium Lauryl Sulfate (SLS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.08	0.04
สารไตรโคลซาน (TCS)	ไมโครกรัมต่อลิตร	1.24	0.20
สารไตรโคลคาร์บาน (TCC)	ไมโครกรัมต่อลิตร	0.07	0.04

4.2 ผลการเดินระบบสำหรับเมมเบรน hollow fiber

ทำการทดสอบการเดินระบบหลังจากเปลี่ยนชุดเมมเบรนเพื่อรองรับน้ำเสียได้มากกว่า 10 ลูกบาศก์เมตร/วัน เป็นเมมเบรนแบบ hollow fiber, Sumitomo, Japan โดยทำการทดสอบค่าการเดินระบบที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ (Hydraulic retention time: HRT) ที่ 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำเข้าระบบเฉลี่ยอยู่ที่ 3.5 ลูกบาศก์เมตร/วัน เป็นเวลา 2.5 เดือน ค่าความเข้มข้นของตะกอนสลัดจ์ เท่ากับ 1.5 กรัม/ลิตร ซึ่งค่าที่ได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่เป็นข้อแนะนำในการเดินระบบ MBR ซึ่งควรมีค่าอยู่ในช่วง 3-15 กรัม/ลิตร ค่าอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เข้า และออกจากระบบ มีค่าเท่ากับ 28.6 และ 28.9 $^{\circ}$C 6.7 และ 7.0 0.7 และ 4.8 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัด พบว่าการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี ตะกอนแขวนลอย และดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค ได้แก่โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และอีโคไล ได้มากกว่าร้อยละ 99 ส่วนการบำบัดซีโอดี และแอมโมเนีย ได้มากกว่าร้อยละ 89 และ 95 ตามลำดับ และเนื่องจากเป็นระบบการเติมอากาศ การบำบัดไนโตรเจนจึงเป็นการเปลี่ยนฟอร์มจากแอมโมเนียเป็นไนเตรท ดังตารางที่ 4.3

ผลการการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ประเภทสารซักล้าง พบการปนเปื้อนของ Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) และ Nonylphenol Ethoxylate (NEPs) ซึ่งเป็นสาร surfactant ประเภทประจุลบ และไม่มีประจุ จากน้ำเสียก่อนเข้าระบบ อยู่ที่ 5.27 และ 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และน้ำที่ผ่านการบำบัด อยู่ที่ 0.02 และ 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งระบบ MBR มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารดังกล่าวได้ร้อยละ 99.6 และ 39.4 ตามลำดับ ส่วนสารฆ่าเชื้อโรค (biocides) พบสารไตรโคลซาน (Triclosan) และ สารไตรโคลคาร์บาน (Triclocarban) โดยมีความเข้มข้นในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ เท่ากับ 0.63 ไมโครกรัมต่อลิตรและ 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งระบบสามารถทำการบำบัดสารไตรโคลซานได้ถึงร้อยละ 90.6 ในขณะที่ไม่พบการลดลงของสารไตรโคลคาร์บาน โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าความเข้มข้นของสารไตรโคลซาน (Triclosan) และ สารไตรโคลคาร์บาน (Triclocarban) เท่ากับ 0.06 และ 0.03 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MBR สำหรับเมมเบรนแบบเส้นใย ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 24 ชั่วโมง และรับน้ำเสียที่ 3.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำที่ผ่านการบำบัด	ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด
pH		6.7	7.0	
ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	0.7	4.8	
อุณหภูมิ	^{o}C	28.6	28.9	
บีโอดี	มก./ล.	74	0.3	99
ซีโอดี	มก./ล.	129	14	89
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	26	0.1	99
แอมโมเนีย	มก./ล.	7.5	0.4	95
ไนเตรท	มก./ล.	0.6	6.1	
สารละลายได้ทั้งหมด	มก./ล.	269	269	
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	2.0	0.6	70
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	CFU/100mL	$1.6x10^{7}$	725	100
อีโคไล	CFU/100mL	$7.0 x10^{4}$	5	100

ตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ประเภทสารซักล้างที่เข้าระบบและที่ผ่านการบำบัด (n=4)

สารซักล้าง	หน่วย	น้ำเสียก่อนเข้าระบบ	น้ำที่ผ่านการบำบัด
Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	5.27	0.02
Nonylphenol Ethoxylate (NEPs)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.30	0.18
สารไตรโคลซาน (TCS)	ไมโครกรัมต่อลิตร	0.63	0.06
สารไตรโคลคาร์บาน (TCC)	ไมโครกรัมต่อลิตร	0.02	0.03

หลังจากนั้น ได้ทำการปรับระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ (Hydraulic retention time: HRT) ที่ 12 ชั่วโมง ซึ่งน้ำเข้าระบบเฉลี่ยอยู่ที่ 9.0 ± 3.3 ลบ.ม./วัน ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัด เป็นเวลาเกือบ 5 เดือน (140 วัน) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 การบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีและแอมโมเนียได้ร้อยละ 96 และ 95 ตามลำดับ ส่วนการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี ตะกอนแขวนลอย ฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 99 98 และ 63 ตามลำดับ และดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค ได้แก่โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และอีโคไล ได้มากกว่าร้อยละ 99

เช่นเดียวกัน เนื่องจากเป็นระบบการเติมอากาศ การบำบัดไนโตรเจนจึงเป็นการเปลี่ยนฟอร์มจากแอมโมเนียเป็นไนเตรท ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MBR สำหรับเมมเบรนแบบเส้นใย ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง และรับน้ำเสียที่ 9 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำที่ผ่านการบำบัด	ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด
pH		7.0 ± 0.3	7.1 ± 0.4	-
ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	1.1 ± 0.5	6.4 ± 1.2	-
อุณหภูมิ	^{o}C	30.1 ± 1.4	30.4 ± 1.5	-
บีโอดี	มก./ล.	74.4 ± 18.7	0.7 ± 0.5	99
ซีโอดี	มก./ล.	123.1 ± 33.2	5.0 ± 6.5	96
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	27.7 ± 11.3	0.6 ± 0.8	98
แอมโมเนีย	มก./ล.	5.0 ± 2.6	0.3 ± 0.7	95
ไนเตรท	มก./ล.	0.2 ± 0.1	5.9 ± 1.3	-
สารละลายได้ทั้งหมด	มก./ล.	289 ± 90	335 ± 130	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	1.8 ± 0.6	0.7 ± 0.4	63
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	CFU/100mL	$1.2x10^{7}$	346 ± 314	100
อีโคไล	CFU/100mL	$4.1x10^{4}$	ตรวจไม่พบ	100

ผลการการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ประเภทสารซักล้าง พบการปนเปื้อนของ Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) และ Sodium Lauryl Sulfate (SLS) ซึ่งเป็นสาร surfactant ประเภทประจุลบ และ Benzalkonium Chloride (BKC) ซึ่งเป็นสาร surfactant ประเภทประจุบวก จากน้ำเสียก่อนเข้าระบบ อยู่ที่ 0.61 11.56 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นของสารซักล้าง LAS และ SLS อยู่ที่ 0.02 และ 1.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ Benzalkonium Chloride (BKC) ตรวจไม่พบในน้ำที่ผ่านการบำบัด ซึ่งระบบ MBR มีประสิทธิภาพในการบำบัดสาร LAS SLS และ BKC ได้ร้อยละ 96.8 88.8 และ 100 ตามลำดับ ส่วนสารฆ่าเชื้อโรค (biocides) พบสารไตรโคลซาน (Triclosan) และสารไตรโคลคาร์บาน (Triclocarban) โดยมีความเข้มข้นในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ เท่ากับ 0.09 และ 0.04 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งระบบสามารถทำการบำบัดสารไตรโคลซานและไตรโคลคาร์บานได้ถึงร้อยละ 77.8 และ75 ตามลำดับ โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าความเข้มข้นของสารไตรโคลซาน (Triclosan) และ สารไตรโคลคาร์บาน (Triclocarban) เท่ากับ 0.02 และ 0.01 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งผล

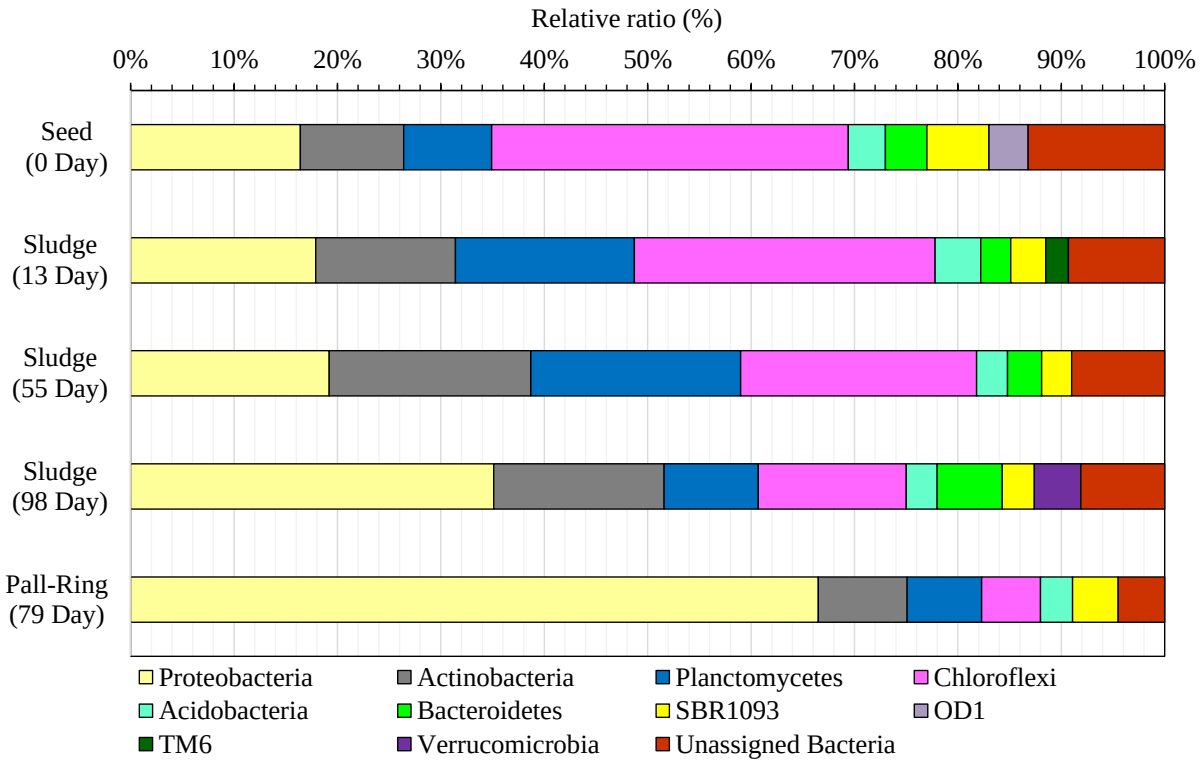
การศึกษามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al., 2007 และ Merz et al., 2007 ที่ระบบ MBR มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้างได้ โดยค่าซีโอดี และบีโอดี มีค่าน้อยกว่า 15 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และสามารถบำบัดสารซักล้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ประเภทสารซักล้างที่เข้าระบบและที่ผ่านการบำบัด (n=3)

สารซักล้าง	หน่วย	น้ำเสียก่อนเข้าระบบ	น้ำที่ผ่านการบำบัด
Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.61	0.02
Sodium Lauryl Sulfate (SLS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	11.56	1.29
Benzalkonium Chloride (BKC)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.11	ตรวจไม่พบ
สารไตรโคลซาน (TCS)	ไมโครกรัมต่อลิตร	0.09	0.02
สารไตรโคลคาร์บาน (TCC)	ไมโครกรัมต่อลิตร	0.04	0.01

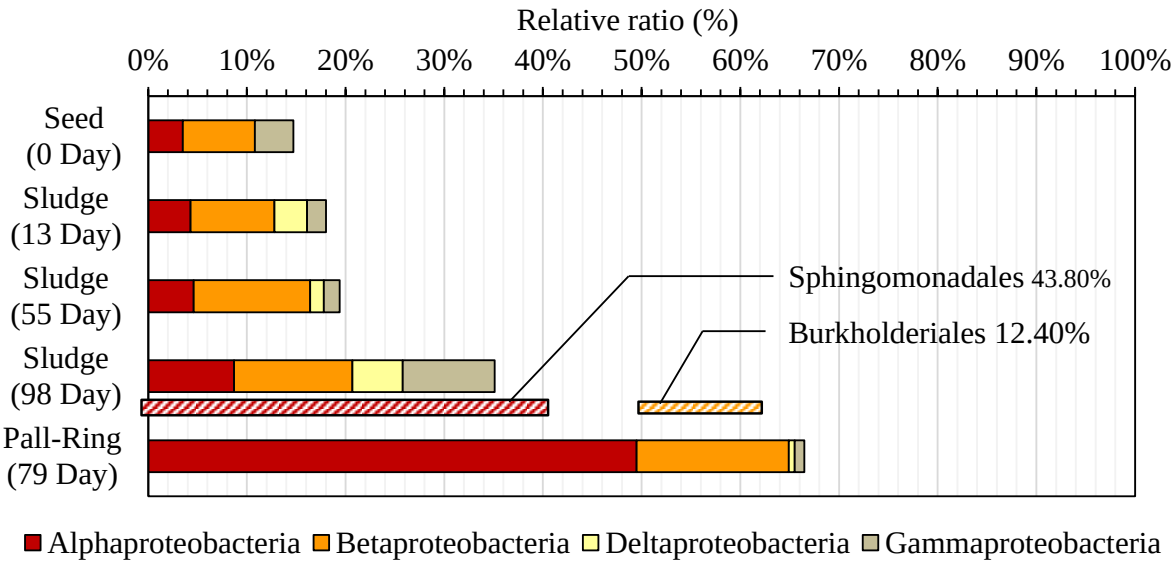
4.3 คุณลักษณะสังคมแบคทีเรียในระบบ

ผลการวิเคราะห์กลุ่มสายพันธุ์แบคทีเรียที่มีอยู่ในระบบ MBR ที่ใช้เมมเบรนแบบแผ่นที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 2 วัน ด้วยเทคนิค NGS พบว่า สามารถจำแนกสายพันธุ์แบคทีเรียได้มากกว่าร้อยละ 87 โดยกลุ่มไฟลัมหลักของแบคทีเรียที่พบในระบบเป็น Proteobacteria, Actinobacteria, Plantomycetes และ Chloroflexi โดยที่ไฟลัม Proteobacteria ที่พบใน seed และในระบบ MBR ที่เลี้ยงเป็นระยะเวลา 13, 55, 98 วัน มีค่าร้อยละ 16.4, 17.9, 19.2 และ 35.1 ตามลำดับ ในขณะที่พบบนมีเดียจากน้ำที่ผ่านการบำบัดมีมากถึงร้อยละ 66.5 ส่วนไฟลัม Actinobacteria และ Plantomycetes มีปริมาณไม่แตกต่างกันมากทั้งจากที่พบใน seed และในระบบ MBR ที่เลี้ยงเป็นระยะเวลา 13, 55, 98 วัน รวมถึงที่พบบนมีเดีย โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 8.6-19.5 และ 7.2-20.3 ตามลำดับ และสำหรับไฟลัม Chloroflexi ที่พบใน seed และในระบบ MBR ที่เลี้ยงเป็นระยะเวลา 13, 55, 98 วัน และที่พบบนมีเดียมีค่าร้อยละ 34, 29, 23, 14 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ชัดว่าไฟลัม Proteobacteria เมื่อเลี้ยงในระบบ MBR จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่พบบนมีเดียจะมีปริมาณมากกว่าที่พบในระบบ 2-3 เท่า ในขณะที่ไฟลัม Chloroflexi มีลักษณะที่ตรงกันข้าม คือเมื่อเจริญอยู่ในระบบ MBR เป็นเวลานาน จะมีปริมาณน้อยลง อาจเป็นไปได้ว่า การเดินระบบแบบ MBR ส่งเสริมให้ Proteobacteria เจริญเติบโตได้ดี ในขณะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของ ไฟลัม Chloroflexi



รูปที่ 4.4 ลักษณะสังคมแบคทีเรียในระดับไฟลัม (Phylum)

เมื่อพิจารณากลุ่มหลักของไฟลัม Proteobacteria ที่พบบนมีเดียจากน้ำที่ผ่านการบำบัดถึงร้อยละ 66.5 พบว่า Class Alphaproteobacteria และ Betaproteobacteria เป็นกลุ่มเด่นที่พบเจริญโดยเกาะติดที่ผิวของมีเดียถึงร้อยละ 49.5 และ 15.4 ตามลำดับ ในขณะที่พบแขวนลอยในระบบ MBR อยู่ในช่วงร้อยละ 4.3-8.7 และ 8.5-12.0 ตามลำดับ โดย Order ที่พบเกาะติดบนมีเดียมากที่สุดใน Class Alphaproteobacteria และ Betaproteobacteria จะเป็น Sphingomonadales และ Burkholderiales ถึงร้อยละ 43.8 และ 12.4 ตามลำดับ โดยที่ Faminly Burkholderiales สามารถบ่งบอกได้ถึงระดับ genus ซึ่งมี *Methylibium sp.* ถึงร้อยละ 6.8 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นไปได้ว่าแบคทีเรียกลุ่มเด่นนี้เป็นพวกที่ชอบเกาะติดบนวัสดุมากกว่าการเจริญแบบแขวนลอยในระบบ MBR



รูปที่ 4.5 ลักษณะสังคมแบคทีเรียระดับ Class ในไฟลัม Proteobacteria

4.4 ผลการทดสอบการปลูกพืชกินใบและกินผล

4.4.1 ผลการทดสอบการปลูกผักสลัดซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินใบ

เมื่อพิจารณาผลคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในการทดสอบการปลูกพืชกินใบจากเกณฑ์การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมที่ผ่านการพิจารณาจากนักวิชาการผู้ทรงคุณวุฒิ ดังตารางที่ 4.7 พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ MBR ไม่มีสีหรือกลิ่นที่น่ารังเกียจ ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงกลาง ค่าการนำไฟฟ้า น้อยกว่า 2,000 µS/cm โดยมีค่าเฉลี่ยเพียง 900 µS/cm และไม่พบตะกอนแขวนลอยในน้ำที่ผ่านการบำบัด ค่าสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 2 มก./ล ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์แนะนำที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่เกิน 10 มก./ล ส่วนค่าไนเตรทมีค่าน้อยกว่า 10 มก./ล ซึ่งอยู่ในเกณฑ์แนะนำที่กำหนดไว้ โคลิฟอร์มทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 378 CFU/100mL ในขณะที่เกณฑ์แนะนำไม่ได้กำหนดค่าดัชนีชี้วัดนี้ โดยพิจารณาเพียงแค่ฟีคัลโคลิฟอร์ม ซึ่งน้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการปลูกพืชกินใบหรือหัว ซึ่งพบว่าตรวจไม่พบฟีคัลโคลิฟอร์มปนเปื้อน

ส่วนผลการทดสอบผักสลัดบัตเตอร์เฮด ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งทำการเลี้ยงเป็นเวลา 37 วัน ในสภาวะอุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยที่ 32.1^{O}C และความชื้นเฉลี่ยที่ 60% โดยการจดบันทึกลักษณะการเจริญเติบโต **3** แบบ ได้แก่ ความกว้างและความยาวของใบ และความสูงของลำต้น พบว่าค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นระหว่างน้ำประปาซึ่งเป็นชุดควบคุมและน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าเท่ากับ 2.4 ± 0.5 และ 2.1 ± 0.4 ซม. ตามลำดับ ในขณะที่ลักษณะความกว้างของใบระหว่างน้ำประปาซึ่งเป็นชุดควบคุมและน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าเท่ากับ 5.6 ± 0.5 และ 5.0 ± 0.4 ซม. ตามลำดับ ส่วนลักษณะความยาวของใบระหว่างน้ำประปาซึ่งเป็นชุดควบคุมและน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าเท่ากับ 10.3 ± 0.5 และ 10.3 ± 0.7 ซม. ตามลำดับ สามารถแสดงผลการเจริญเติบโตได้ดังรูปที่ 4.7-4.9 ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ระหว่างน้ำประปาและน้ำที่ผ่านการบำบัด ด้วย ANOVA พบว่า ค่าเฉลี่ยของความกว้างและความยาวของใบ และความสูงของลำต้นของผักสลัดบัต

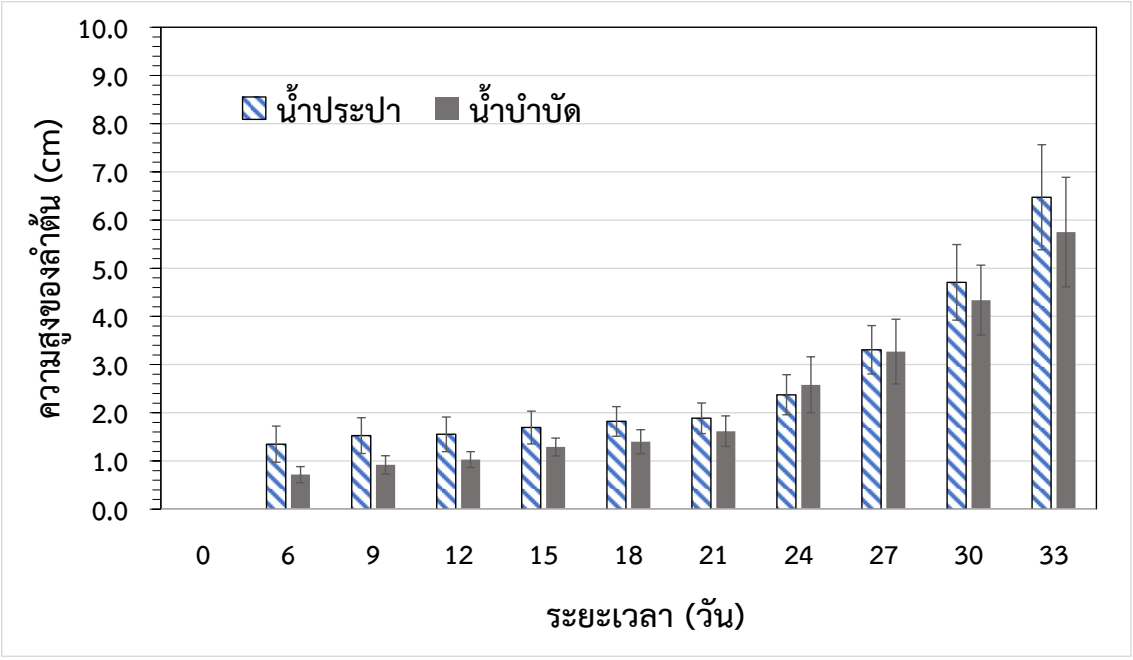
เตอร์เฮด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญแสดงให้เห็นว่า ในการให้น้ำประปาและน้ำที่ผ่านการบำบัดไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดบัตเตอร์เฮดซึ่งเป็นตัวแทนของผักกินใบ

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR และเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับพืชกินใบหรือหัว

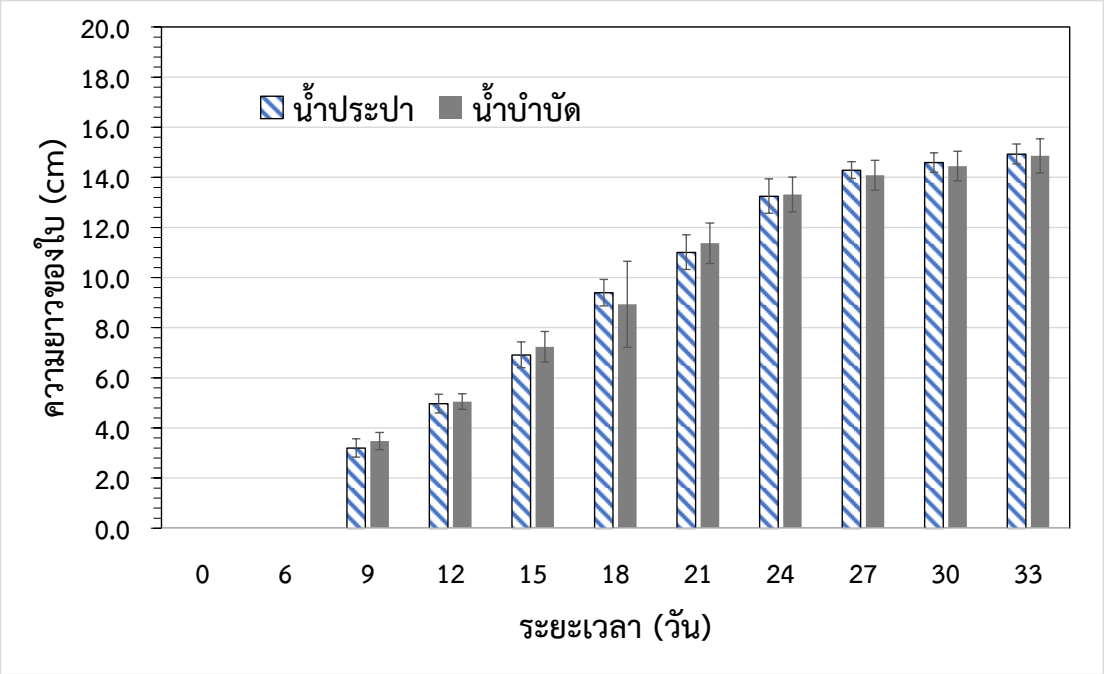
ดัชนี	หน่วย	ค่าแนะนำ: รับประทานใบหรือหัว	ค่าที่วัดได้ จากน้ำที่ผ่านการบำบัด
สี	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรดด่าง	-	6-9	6.8
ค่าความนำไฟฟ้า	ไมโครซีเมนส์/ซม.	<2,000	900
ความขุ่น	NTU	<5	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	ไม่กำหนด	ตรวจไม่พบ
บีโอดี	มก./ล.	<10	0.7
ไนเตรทไนโตรเจน	มก./ล.	<10	6.1
คลอรีนอิสระ	มก./ล.	0.7-1.0	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	โคโลนี/100มล.	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ
ไข่พยาธิ	ไข่/ล.	≤1	-

นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์การสะสมของธาตุอาหารไนเตรท มีค่าต่ำกว่าระดับความปลอดภัยต่อการบริโภคของสหภาพยุโรปอยู่ที่ ไม่เกิน 3,500 มก./กก. โดยผักสลัดที่เลี้ยงด้วยน้ำประปา และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเท่ากับ 581 มก./กก. และ 1,356 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนการสะสมของสารซักล้าง พบว่าทั้งที่ปลูกด้วยน้ำประปา (n=3) และน้ำที่ผานการบำบัด (n=4) ตรวจพบสาร Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) เฉลี่ยอยู่ที่ 2.29 และ 2.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผักสด ตามลำดับ ในขณะที่พบการสะสมของสารไตรโคลซานอยู่ที่ 20.05 และ 18.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผักสด ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบความปลอดภัยของผู้บริโภคจะกล่าวในหัวข้อ 4.6

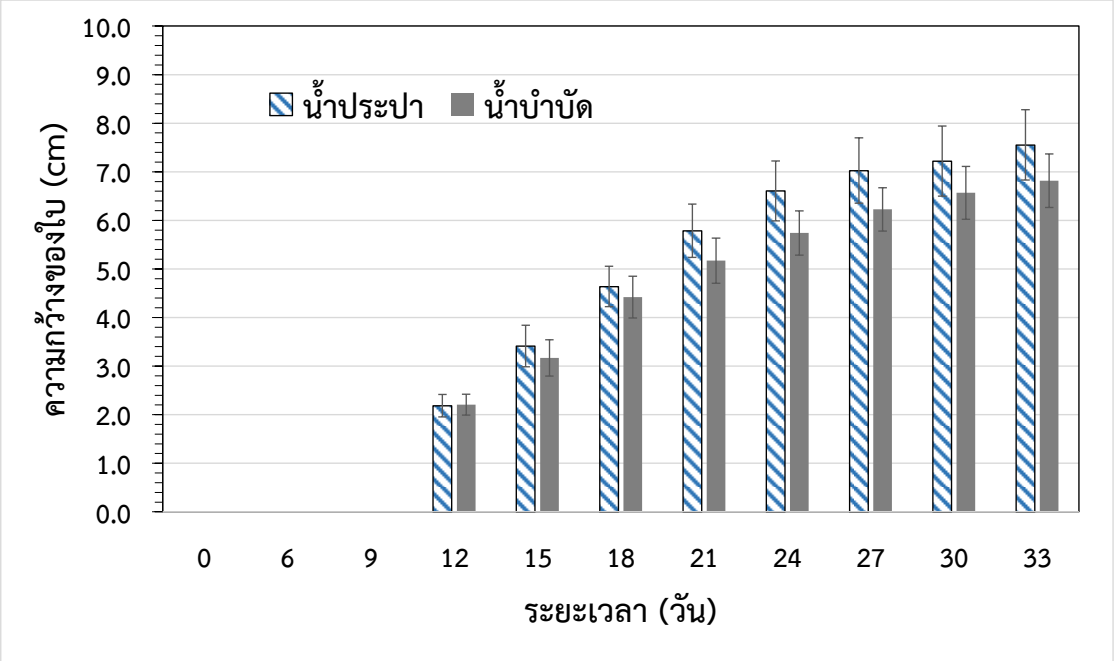
รูปที่ 4.6 การปลูกผักสลัดซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินใบ



รูปที่ 4.7ลักษณะความสูงของลำต้นผักบัตเตอร์เฮด



รูปที่ 4.8 ลักษณะความยาวของใบผักบัตเตอร์เฮด



รูปที่ 4.9 ลักษณะความกว้างของใบผักบัตเตอร์เฮด

4.4.2 ผลการทดสอบการปลูกเมล่อนซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินผล

เมื่อพิจารณาผลคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในการทดสอบการปลูกพืชกินผล ตารางที่ 4.8 พบว่าคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่กำหนด โดยเกณฑ์แนะนำที่กำหนดไว้สำหรับค่าสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี ต้องไม่เกิน 20 มก./ล ส่วนค่าไนเตรทมีค่าไม่เกิน 35 มก./ล. และฟีคัลโคลิฟอร์มสามารถมีได้โดยมีค่าไม่เกิน 1,000 CFU/100 mL

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR และเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับรับประทานผลหรือเมล็ด

ดัชนี	หน่วย	ค่าแนะนำ: รับประทานผลหรือเมล็ด	ค่าที่วัดได้ จากน้ำที่ผ่านการบำบัด
สี	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรดด่าง	-	6-9	6.8
ค่าความนำไฟฟ้า	ไมโครซีเมนส์/ซม.	<2,000	900
ความขุ่น	NTU	<5	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	ไม่กำหนด	ตรวจไม่พบ
บีโอดี	มก./ล.	<20	0.7
ไนเตรทไนโตรเจน	มก./ล.	<35	6.1
คลอรีนอิสระ	มก./ล.	ไม่กำหนด	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	โคโลนี/100มล.	<1,000	ตรวจไม่พบ
ไข่พยาธิ	ไข่/ล.	≤1	-

ผลการปลูกเมล่อนซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินผล ในระยะเวลา 105 วัน พบว่าเมล่อนมีการติดเชื้อโรค โดยวันที่ 25 มิถุนายน 2562 หลังจากเลี้ยงอยู่ในโรงเรือนได้ประมาณ 1 เดือน พบใบเมล่อนหยิกที่ยอด ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นระยะเริ่มต้นของการติดไวรัสทำให้เกิดโรคใบด่าง จึงทำการรื้อต้นที่มีอาการดังกล่าวออก 3 ต้นทั้งจากแถวที่ทดสอบด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัดและแถวที่เป็นชุดควบคุม และใช้ยาป้องกันรวมทั้งการฉีดพ่นไตรโคเดอร์ม่าร่วมด้วย หลังจากนั้นประมาณเกือบ 1 เดือน พบว่าต้นเมล่อนมีลำต้นแตก และบางต้นมีอาการต้นเหี่ยวและตายลงในที่สุด อาการที่เกิดขึ้น คาดว่าน่าจะมาจากการติดเชื้อราทางราก จากเชื้อ *Fusarium oxysporum f.sp. melonis* ทำให้เป็นโรคเหี่ยว เนื่องจากในช่วงเวลานั้นมีฝนตกเป็นประจำ ไม่ค่อยมีแดด จึงทำให้โรงเรือนมีความชื้นสูง จึงเกิดการติดเชื้อขึ้น จึงจำเป็นต้องถอนและรื้อต้นเมล่อนที่มีอาการดังกล่าวอย่างเห็นได้ชัดออกอีก 7 ต้น และได้ทำการใช้สารประกอบคอปเปอร์ในการยับยั้งการกระจายของเชื้อรา ด้วยการฉีดพ่นด้วยสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ระดับความเข้มข้น 2,000 มก./ล ทั่วแปลง สังเกตอาการต้นเมล่อนไม่พบว่ามีลำต้นแตกเพิ่มขึ้น แต่ยังแสดงอาการของต้นเมล่อนเหี่ยวเกิดขึ้นอีก และในระยะเวลาต่อมาเมล่อนก็มีใบเหลืองและมีสปอร์ราเกิดขึ้นที่ใบอันเนื่องมาจาก

การเกิดโรคราน้ำค้างจากเชื้อรา *Pseudoperonospora cubersis* (Berk&Curt.) Rost ทั้งนี้ ผลเมล่อนใกล้จะเก็บเกี่ยวแล้ว จึงไม่มีการใช้ยาฆ่าเชื้อแต่อย่างใด เพียงแค่ฉีดน้ำจากใบยาสูบเป็นระยะๆ เพื่อชะลอการเกิดโรคเท่านั้น สามารถแสดงการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนได้ดังรูปที่ 4.10 และลักษณะการเกิดโรคในเมล่อนได้ดังรูปที่ 4.11

หลังจากครบอายุที่เมล่อนติดผลเป็นระยะเวลา 2.5 เดือน โดยก่อนเก็บเกี่ยวได้ทำการลดการให้น้ำก่อนเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า ผลเมล่อนจากการเลี้ยงในโรงเรือนเหลือ 35 ลูก จากการปลูกทั้งหมด 54 ต้น โดยเป็นผลเมล่อนจากการให้น้ำที่ผ่านการบำบัด จำนวน 18 ลูก และจากการให้น้ำประปาซึ่งเป็นชุดควบคุมจำนวน 17 ลูก น้ำหนักเฉลี่ยของผลเมล่อนที่เลี้ยงด้วยน้ำประปา และน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าเท่ากับ 2.4 ± 0.5 กก. และ 1.9 ± 0.3 กก. ตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบทางสถิติด้วย T-test พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนความหวานของผลเมล่อน พบว่า ผลเมล่อนที่เลี้ยงด้วยน้ำประปา และน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันเท่ากับ 10 บริกซ์ ซึ่งความหวานที่เหมาะสมควรเป็น 14 บริกซ์ อาจเป็นเพราะการใส่ปุ๋ยเพิ่มความหวานให้กับเมล่อนไม่เพียงพอเท่าที่ควร และเมื่อทำการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารซักล้างในผลเมล่อนจากการเลี้ยงด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัดเปรียบเทียบกับน้ำประปา พบว่าทั้งที่ปลูกด้วยน้ำประปา (n=1) และน้ำที่ผานการบำบัด (n=1) ตรวจพบสาร Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) อยู่ที่ 14.57 และ 20.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลเมล่อน ตามลำดับ ในขณะที่พบการสะสมของสารไตรโคลซานอยู่ที่ 13.36 และ 12.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลเมล่อน ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ตรวจพบในผลเมล่อนที่เลี้ยงด้วยน้ำประปาและน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ประเด็นที่น่าสงสัยคือน้ำประปาก็มีการตรวจพบสารปนเปื้อนจากการซักล้างด้วยนั้น ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเกิดจากอะไร ซึ่งควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมในลำดับต่อไป

รูปที่ 4.10 การปลูกเมล่อนซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินผล

รูปที่ 4.11 ลักษณะการเกิดโรคในเมล่อน ได้แก่ โรคใบเหี่ยวจากเชื้อไวรัส (ซ้าย)และโรคราน้ำค้างจากเชื้อรา (ขวา)

4.5 ผลการนำไปใช้สำหรับชักโครก

ปริมาณการใช้น้ำในชักโครกเฉลี่ย 90.2 ลิตร/วัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัสที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้ทำการศึกษาไว้ ดังรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.9 พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR มีค่าดีกว่าเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่กำหนด ซึ่งงานวิจัยของ Li et al., 2009 ได้สนับสนุนให้น้ำเสียจากการซักล้างที่ผ่านการบำบัดมีศักยภาพในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยเฉพาะน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR **มีความน่าสนใจในการนำไปใช้ในเขตเมืองชุมชน**

รูปที่ 4.12 ลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดในชักโครก

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR และเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัส

ดัชนี	หน่วย	ค่าแนะนำ: มนุษย์มีโอกาสสัมผัส	ค่าที่วัดได้ จากน้ำที่ผ่านการบำบัด
สี	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรดด่าง	-	6-9	6.8
ความขุ่น	NTU	<5	-
บีโอดี	มก./ล.	<10	0.7
คลอรีนอิสระ	มก./ล.	0.7-1.0	-
โคลิฟอร์มทั้งหมด	โคโลนี/100มล.	ไม่กำหนด	34
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	โคโลนี/100มล.	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ

4.6 ผลการทดสอบความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

4.6.1 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารเคมี

4.6.1.1การระบุความเป็นอันตราย (hazard identification)

จากการตรวจวัดการปนเปื้อนสารเคมีกลุ่มสารยับยั้งแบคทีเรีย (biocide) และสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ในตัวอย่างน้ำเสีย น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว และผักบัตเตอร์เฮด พบสารเคมีปนเปื้อน 3 ชนิด ได้แก่ Triclosan (TCS) สารไตรโคลคาร์บาน (Triclocarban) (TCC) และ Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.10 ซึ่งความเข้มข้นของสารเคมีที่ระบุเป็นความเข้มข้นสูงสุดที่ตรวจพบ จากผลการวิเคราะห์พบว่า LAS มีความเข้มข้นสูงที่สุด ทั้งในตัวอย่างน้ำเสีย น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว และผักบัตเตอร์เฮด โดยเฉพาะในผักพบสูงถึง 81.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้พบว่าสารทุกชนิดที่ปรากฏในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วตรวจพบในผักทุกชนิด โดยมีแนวโน้มของปริมาณสารเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าผักสามารถดูด (uptake) สารพิษจากน้ำเข้าไปเก็บไว้ในเนื้อเยื่อ (translocation) ได้

ตารางที่ 4.10 ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีกลุ่มสารยับยั้งแบคทีเรีย (biocide) และสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่ตรวจพบในตัวอย่าง

สารมลพิษขนาดเล็ก (micro-pollutants)			ความเข้มข้นสูงสุด ($C_{i\ max}$)		
กลุ่ม	ชื่อสารเคมี	ชื่อย่อ	น้ำเสีย (mg/L)	น้ำผ่านการบำบัด (mg/L)	ผัก (mg/kg)
Biocide	Triclosan	TCS	2.21×10^{-4}	4.57×10^{-5}	3.71×10^{-1}
	Triclocarban	TCC	1.13×10^{-4}	2.55×10^{-5}	1.73×10^{-1}
Surfactants	Linear Alkylbenzene Sulfonates	LAS	2.62×10^{-1}	2.34×10^{-3}	81.9
	Sodium lauryl sulfate	SLS	ND	ND	ND
	Benzalkonium Chloride	BAC	ND	ND	ND

จากข้อมูลความเป็นอันตรายของสารเคมีที่ตรวจพบในตัวอย่างตามระบบ GHS (Globally Harmonised System for Classification and labeling of Chemicals) แสดงดังตารางที่ 4.11 จัดให้ TCC และ TCS เป็นสารที่อยู่ในระดับ “ระวัง” และ LAS อยู่ในระดับ “อันตราย” ซึ่งทั้ง TCC และ TCS นอกจากจะมีผลระคายเคืองต่อผู้สัมผัสแล้ว ยังเป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และมีผลกระทบระยะยาวอีกด้วย

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลความเป็นอันตรายของสารเคมีที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำ และผักบัตเตอร์เฮด

สารมลพิษขนาดเล็ก		Classification of the substance or mixture	ข้อมูลความเป็นอันตรายตามระบบ GHS	
ชื่อ	ชื่อย่อ		คำสัญญาณ	ความเป็นอันตราย
Triclosan	TCS	Skin and Eye irritation, Category 2 Hazardous to the aquatic environment Category Acute 1 Category Chronic 1	ระวัง (Warning)	■ ระคายเคืองต่อดวงตาอย่างรุนแรง ■ ระคายเคืองต่อผิวหนังมาก ■ เป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และมีผลกระทบระยะยาว
Triclocarban	TCC	Hazardous to the aquatic environment Category Acute 1 Category Chronic 1	ระวัง (Warning)	■ เป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ■ เป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และมีผลกระทบระยะยาว
Linear Alkylbenzene Sulfonates	LAS	Acute toxicity - Oral, Category 4 Skin corrosion, Category 1B	อันตราย (Danger)	■ เป็นอันตราย เมื่อกลืนกินเข้าไป ■ การกัดกร่อนและการระคายเคืองต่อผิวหนัง

4.6.1.2 คุณลักษณะสิ่งคุกคาม (hazard characterization)

คุณลักษณะสิ่งคุกคาม เป็นการพิจารณาการเกิดพิษในร่างกายทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง รวมถึงการเกิดมะเร็งด้วย ซึ่งผลกระทบต่อสุขภาพในช่องทางที่เข้าสู่ร่างกายก็แตกต่างกันด้วย

การประเมินความเป็นพิษของสารเคมีจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) สารเคมีที่เป็นอันตรายเรื้อรังแบบไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogen) หรือ การเกิดโรคอื่นที่ไม่ใช่มะเร็ง (Non cancer endpoint) มีแนวคิดเรื่องขีดจำกัดการรับสัมผัส (Threshold Concepts) ว่าสารเคมีทุกชนิดสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพแบบไม่ก่อมะเร็ง เมื่อมีความเข้มข้นสูงในระดับหนึ่ง (Threshold) จะใช้ค่า Reference Dose (*RfD*) เป็นค่าเปรียบเทียบ ซึ่ง *RfD* หมายถึงปริมาณสารเคมีที่มนุษย์รับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวันโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพอนามัย

2) สารเคมีที่เป็นอันตรายเรื้อรังแบบก่อมะเร็ง (Carcinogen) หรือ การเกิดโรคมะเร็ง (Cancer endpoint) สำหรับสารก่อมะเร็งเป็นกลุ่มที่ไม่มีค่าขีดจำกัดการรับสัมผัส (Non threshold) ความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสสารและการเกิดมะเร็งแสดงเป็นความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น (excess risk) เนื่องจากการรับสัมผัสสารเคมีและความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเพิ่มขึ้นแบบเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการรับสัมผัสสารที่เพิ่มขึ้น ค่าที่แสดงถึง

ศักยภาพในการก่อมะเร็งของสารเคมีคือค่าความชันในการก่อมะเร็ง (carcinogenic potency slope) ใช้อักษรย่อ *SF*

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าสารเคมีทั้ง 3 ชนิดที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำเสีย น้ำที่ผ่านการบำบัดและและผักบัตเตอร์เฮด ถูกจัดเป็น “สารเคมีที่เป็นอันตรายเรื้อรังแบบไม่ก่อมะเร็ง” โดยได้แสดงค่า *RfD* ซึ่งเป็นปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสารเคมีต่อน้ำหนักตัวผู้บริโภคต่อวัน ส่วนใหญ่เป็นค่าที่สืบค้นมาจากฐานข้อมูล IRIS (Integrated Risk Information System) จากค่าทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าสารเคมีกลุ่มสารยับยั้งแบคทีเรีย ทั้ง TCC และ TCS มีความเป็นพิษมากกว่าสารจำพวกลดแรงตึงผิว เพราะมีค่า *RfD* ต่ำกว่า กล่าวคือ TCC และ TCS แนะนำให้บริโภคได้ไม่เกินวันละ 0.047 และ 0.024 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวผู้บริโภค ในขณะที่สามารถบริโภค LAS ได้ถึงวันละ 0.50 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวผู้บริโภค โดยไม่เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังแสดงค่า LOAEL ย่อมาจาก lowest-observed-adverse-effect level หมายถึงปริมาณของสารเคมีที่น้อยที่สุด ซึ่งได้รับทุกวันแล้วทำให้เกิดความเป็นพิษหรือผลเสียต่อร่างกาย (adverse effect) อย่างใดอย่างหนึ่งขึ้น สารเคมีทั้ง 3 ชนิดที่ตรวจพบ TCC มีแนวโน้มว่ามีความเป็นพิษสูงที่สุด รองลงมาคือ TCS ซึ่งเป็นสารกลุ่มยับยั้งแบคทีเรียทั้งคู่ แต่อย่างไรก็ตามทั้งค่า *RfD* และ LOAEL มีการศึกษาเพิ่มเติมและปรับปรุงอยู่เสมอ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องตรวจสอบข้อมูลให้ถูกต้องและสมบูรณ์ที่สุด

ตารางที่ 4.12 การประเมินขนาดการรับสัมผัสและการตอบสนองของสารเคมี

Group	Micropollutants Name	Syn.	Non-carcinogen	Carcinogen	LOAEL (mg/kg-day)	*RfD* (mg/kg-day)
Biocide	Triclosan	TCS	√	X	1.0×10^{1}	4.7×10^{-2}
	Triclocarban	TCC	√	X	7.5×10^{1}	2.4×10^{-2}
Surfactants	Linear Alkylbenzene Sulfonates	LAS	√	X	2.5×10^{2}	5.0×10^{-1}
	n-Dodecyl Sulfonate	SLS	NA	NA	NA	NA
	Benzalkonium Chloride	BAC	√	X	5.0×10^{1}	4.4×10^{-1}
	4-Nonylphenol	-	√	X	1.0×10^{2}	1.0×10^{-1}

หมายเหตุ: NA คือ ไม่มีข้อมูล ที่มา: http://www.epa.gov/iris/

4.6.1.3 การประเมินการรับสัมผัส (exposure assessment)

การประเมินระดับการสัมผัสที่แต่ละบุคคล ได้รับว่ามากน้อยเพียงใด โดยคำนึงถึง ขนาดการสัมผัส (dose) ระยะเวลาที่สัมผัส (duration) ช่องทางการสัมผัส (routes of exposure) เส้นทางการฟุ้งกระจายของสิ่งคุกคามจากในสิ่งแวดล้อมผ่านตัวกลาง (medias) มาสู่คนด้วย นอกจากนี้ต้องรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ประกอบด้วย เช่น กิจกรรมในชีวิตประจำวัน ความถี่ของการเข้าไปสัมผัสสารเคมี กลุ่มประชากรที่มีความอ่อนไหวเป็นพิเศษ

ในการประเมินการสัมผัสสารเคมีตามแนวทางของ U.S. EPA. คำนวณจากตัวแปร 3 กลุ่ม คือ

1) ตัวแปรที่เกี่ยวกับสารเคมี คือ ความเข้มข้นที่สัมผัส
2) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประชากรที่สัมผัสสารเคมี คือ อัตราสัมผัสสารพิษ ความถี่การสัมผัส ระยะเวลาที่สัมผัส และ น้ำหนักตัว
3) ตัวแปรที่ใช้ในการประเมิน คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นสารที่สัมผัส

การประเมินการรับสัมผัสจากการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนมาใช้ประโยชน์ในการเกษตร ซึ่งเป็นการประเมินการนำไปใช้ประโยชน์ในกรณีร้ายแรงที่สุด คือ การบริโภคน้ำที่ผ่านการบำบัด และการบริโภคผักสด เปรียบเทียบกับกรณีที่น้ำเสียไม่ได้รับการบำบัด โดยคำนวณหาความเข้มข้นของสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake) จากการได้รับสารผ่านการกิน (I_{oral}) จากสมการ

$$ADI_{Oral} = \frac{C_{Oral} \times IR \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

โดย ADI_{Oral} = ปริมาณสารที่ร่างกายได้รับโดยเฉลี่ยต่อวัน (mg/kg-weight/day)

C_{Oral} = ความเข้มข้นของสารในตัวกลาง (mg/l, mg/kg)

IR = อัตราการรับประทาน (l/day หรือ kg/meal)

FI = สัดส่วนการดื่มกินเทียบเท่ากับอาหารทั้งหมด

EF = ความถี่ของการสัมผัส (day/year)

ED = ระยะเวลาที่สัมผัส (year)

BW = น้ำหนักของร่างกาย (kg)

AT = ระยะเวลาเฉลี่ย (day)

สำหรับตัวแปรที่แนะนำโดย ทีมา: U.S. EPA. (1989) สำหรับกรณีต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าแนะนำสำหรับคำนวณหาความเข้มข้นของสารมีที่เข้าสู่ร่างกาย

ตัวแปร	หน่วย	ค่าแนะนำ
IR	L/day kg/meal	น้ำดื่ม : 2 L/day (ค่าเฉลี่ยในผู้ใหญ่) ผัก : 0.08 kg/meal (สำหรับพืชใบ)
FI	-	Oral bioavailability; 0.4 (สำหรับเด็ก) และ 0.1 (สำหรับผู้ใหญ่)
EF	day/year meal/year	น้ำดื่ม : 365 day/year ผัก : 365 day/yr x 3 meal/day
ED	year	70 year (ค่าทั่วไปตลอดอายุไข) 30 year (สำหรับอาศัยอยู่ที่ใดที่หนึ่ง)
BW	kg	70 kg (สำหรับผู้ใหญ่) 29 kg (เด็กอายุ 6-12 ปี) 16 kg (เด็กอายุ 2-6 ปี)
AT	day	กรณีความเป็นอันตรายแบบเรื้อรังจากสารไม่ก่อมะเร็ง = ED x 365 day/year

ที่มา: U.S. EPA. (1989)

ผลการการประเมินการรับสัมผัสปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ร่างกาย กรณีสารที่ไม่ก่อมะเร็ง แสดงดังตารางที่ 4.14 ในกรณีที่ใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดในการบริโภคจะได้รับปริมาณ LAS สูงสุด คือ 6.67×10^{-6} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน เช่นเดียวกับการบริโภคผักสด ได้รับ LAS สูงสุดเช่นกัน คือ 2.81×10^{-2} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ผลจากการประเมินการรับสัมผัสแสดงให้เห็นเพียงปริมาณที่ผู้สัมผัสได้รับสารเคมีในปริมาณเท่าใดเข้าสู่ร่างกายไม่สามารถบอกความเป็นพิษต่อร่างกายได้

ตารางที่ 4.14 ผลการการประเมินการรับสัมผัสปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ร่างกาย กรณีสารที่ไม่ก่อมะเร็ง

Micro-pollutants			ADI_{oral} (mg/kg-day)		
Group	**Name**	**Syn.**	**Wastewater**	**Treated WW**	**Vegetable**
Biocide	Triclosan	TCS	6.31×10^{-7}	1.30×10^{-7}	1.27×10^{-6}
	Triclocarban	TCC	3.24×10^{-7}	7.28×10^{-8}	5.93×10^{-5}
Surfactants	Linear Alkylbenzene Sulfonates	LAS	7.49×10^{-4}	6.67×10^{-6}	$2.81\ 10^{-2}$

4.6.1.4 คุณลักษณะความเสี่ยง (risk characterization)

ในกรณีประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดโรคกรณีที่ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง (Non cancer hazard) โดยคำนวณหาค่าดัชนีอันตราย (Hazard Quotient; *HQ*) ได้จากการนำค่าปริมาณที่ได้รับสัมผัส (ADI) มาเปรียบเทียบกับค่า Reference Dose (*RfD*) ดังสมการ

$$HQ = \frac{ADI}{RfD}$$

โดย HQ = ดัชนีอันตราย (Hazard Quotient)

ADI = ปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ร่างกาย (mg/kg-day)

RfD = ปริมาณสารเคมีที่รับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวัน (mg/kg-day)

การแปลผล หากค่า HQ < 1แสดงว่าปริมาณสารที่ได้รับมีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

หากค่า HQ > 1 แสดงว่าปริมาณสารที่ได้รับอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเสี่ยงเกินเกณฑ์ปกติ

จากผลการประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในกิจกรรมด้านเกษตรและครัวเรือนครั้งนี้ (ตารางที่ 4.15) สารเคมีที่ตรวจพบในตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด **มีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (*HQ* < 1)** กล่าวคือ ในน้ำเสียที่ยังไม่มีการบำบัด มีค่าดัชนีความอันตราย ตั้งแต่ 1.50×10^{-3} - 1.34×10^{-5} หลังจากทำการบำบัดแล้วดัชนีความอันตรายของสารเคมีลดลงทุกชนิด เหลือ 1.33×10^{-5}- 3.03×10^{-6} หรือดัชนีความอันตรายของสารกลุ่มยับยั้งแบคทีเรียลดลง 4-5 เท่า ส่วนดัชนีความอันตรายของ LAS ลดลงถึง 112 เท่า ในกรณีที่รับประทานผักสด ค่าดัชนีความอันตราย ตั้งแต่ 5.61×10^{-2} - 2.70×10^{-3} จะเห็นได้ว่าดัชนีความเป็นอันตรายของการรับประทานผักสดสูงกว่าการบริโภคน้ำ เป็นผลมาจากความเข้มข้นของสารเคมีในผักสูงกว่าในตัวอย่างน้ำ ทั้งนี้เนื่องมาจากความสามารถในการสะสมสารเคมีในเนื้อเยื่อของผัก (biomagnification)

กรณีที่ร่างกายได้รับสารพิษมากกว่า 1 ชนิด สามารถนำค่า HQ มารวมกันได้ (Raider, 1994) ซึ่งเป็นค่าดัชนีอันตรายรวม (Hazard Index: *HI*) จากผลการประเมิน พบว่า **มีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (*HI* < 1)** อย่างไรก็ตามการรวมกันในลักษณะนี้ควรใช้ในกรณีที่สารพิษให้ผลยุติทางพิษวิทยาเหมือนกัน (toxicity endpoint) หรือมีกลไกที่ทำให้เกิดพิษที่เหมือนกันเท่านั้น

ตารางที่ 4.15 ค่าดัชนีความเป็นอันตรายของสารเคมี

Micro-pollutants			Hazard Quotient : HQ		
Group	Name	Syn.	Wastewater	Treated WW	Vegetable
Biocide	Triclosan	TCS	1.34×10^{-5}	2.78×10^{-6}	2.70×10^{-3}
	Triclocarban	TCC	1.35×10^{-5}	3.03×10^{-6}	2.47×10^{-3}
Surfactants	Linear Alkylbenzene Sulfonates	LAS	1.50×10^{-3}	1.33×10^{-5}	5.61×10^{-2}
Hazard Index : HI			1.53×10^{-3}	1.91×10^{-5}	6.13×10^{-2}

4.6.2 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสเชื้อก่อโรค

4.6.2.1 การระบุความเป็นอันตราย (hazard identification)

การบ่งชี้ชนิดของเชื้อโรคในการประเมินความเสี่ยงเป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญในการหาค่าความเสี่ยง โดยทั่วไปแล้วชนิดของเชื้อโรคที่ใช้ในการหาค่าความเสี่ยงขึ้นกับลักษณะที่พบเจอจากสิ่งแวดล้อมของเหตุการณ์นั้นๆ หรือชนิดของเชื้อที่ทำให้เกิดโรคในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งประกอบด้วย ไวรัส แบคทีเรีย โปรโตซัว และไข่พยาธิ นอกจากนี้จะมีการตรวจสอบแนวทางการติดเชื้อ และกลุ่มของผู้ที่มีโอกาสได้รับเชื้อ ซึ่งในการประเมินอาจจะประเมินกับจำนวนประชากรทั่วไป หรือเฉพาะกลุ่มผู้ที่มีความเสี่ยงสูง ในการศึกษานี้ เชื้อ *E. coli* ได้ถูกเลือกใช้สำหรับหาค่าความเสี่ยงของการติดเชื้อทางทางเดินอาหาร เนื่องจากพบว่าในประเทศไทยมีผู้ป่วยจากโรคทางเดินอาหารที่มีสาเหตุมาจากเชื้อ *E. coli*

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์เชื้อ *E. coli* ในน้ำตัวอย่าง ได้แก่ น้ำเสียจากหอพักบุคลากร น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำที่กักเก็บไว้ในถังเพื่อใช้ในการเกษตร พบว่า ตรวจพบเชื้อ *E. coli* เฉพาะในน้ำตัวอย่างน้ำเสียเท่านั้น ซึ่งมีปริมาณสูงที่สุด คือ 2.1×10^{6} CFU/100 มิลลิลิตร ส่วนในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วตรวจไม่พบเชื้อ *E. coli* ถึงแม้ว่าไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรค เนื่องจากระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน มีช่องผ่านขนาดเล็กถึง 0.1 ไมโครเมตร สามารถกรองเชื้อโรคบางชนิดได้

ตารางที่ 4.16 ผลของการวิเคราะห์เชื้อ *E. coli* ในน้ำที่นำกลับไปใช้

แหล่งของน้ำที่จะนำมาใช้ประโยชน์	**ปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่ตรวจพบสูงสุด (CFU/100mL)**	**จำนวนการวิเคราะห์**
น้ำเสียจากหอพักบุคลากร	$2.1x10^6$	4
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบ MBR	ND	4
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบ MBR ที่เก็บไว้ในถังเพื่อใช้ในการเกษตร	ND	4

หมายเหตุ: ND คือ ตรวจไม่พบ

4.6.2.2 คุณลักษณะสิ่งคุกคาม (hazard characterization)

ค่าความสัมพันธ์ของระดับปริมาณเชื้อโรคที่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ได้รับสัมผัส เป็นค่าที่มีการศึกษากันไว้แล้วจากห้องปฏิบัติทางการแพทย์ โดยเฉพาะระดับความเสี่ยงจากการได้รับเชื้อหนึ่งครั้ง ปกติค่าความสัมพันธ์ของระดับปริมาณเชื้อโรคกับผลกระทบ จะแสดงเป็นรูปแบบโมเดล โดยมี 2 โมเดลที่เข้าได้กับเชื้อโรคต่างๆ คือ โมเดล Exponential และโมเดล Beta Poisson ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ เชื้อ *E. coli* มาประเมินความเสี่ยง เนื่องจากเป็นเชื้อที่มักจะพบจากน้ำเสีย ค่าสัมประสิทธิ์ และโมเดล ของ เชื้อ *E. coli* ได้แสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าสัมประสิทธิ์ ของเชื้อต่างๆ ในการประเมินความเสี่ยงของการติดเชื้อ

Organism	Exponential k	Beta Poisson		References
		N_{50}	α	
Poliovirus I (Minor)	109.87	6.17	0.2531	Minor *et al*, 1981
Rotavirus				Haas *et al*. 1993; Ward *et al*. 1986
Hepatitis A virus[(a)]	1.8229			Ward *et al*. 1958
Adenovirus 4	2.397			Couch *et al*. 1966
Echovirus 12	78.3			Akin 1981
Coxsackie[(b)]	69.1			Couch *et al*. 1965; Suptel, 1963
Salmonella[(c)]		23,600	0.3126	Haas *et al*. 1999
Salmonella typhosa		3.60×10^6	0.1086	Hornick *et al*. 1966
Shigella[(d)]		1120	0.21	Haas *et al*. 1999
Escherichia coli[(e)]		8.60×10^7	0.1778	Haas *et al*. 1999
Campylobacter jejuni		896	0.145	Medema *et al*. 1996
Vibrio cholera		243	0.25	Haas *et al*. 1999
Entamoeba coli		341	0.1008	Rendtorff 1954
Cryptosporidium parvum	238			Haas *et al*. 1996; Dupont *et al*. 1995
Giardia lamblia		50.23		Rose *et al*. 1991

หมายเหตุ :(a) Dose in grams of feces (of excreting infected individuals) (b) B4 and A21 strains pooled (c) Multiple (non-typhoid) pathogenic strains (*S. pullorum* excluded) (d) Flexnerii and dysenteriae pooled (e) Nonenterohaemorrhagic strains (except O111)

ที่มา: Haas & Eisenberg (2001)

โดยค่าความเสี่ยง *(Pi)* ของเชื้อ *E. coli* สามารถประเมินได้ดังแสดงในสมการ

$$Pi = 1 - [1 + \frac{D\left(2^{1/\alpha}-1\right)}{N_{50}}]^{-\alpha}$$

โดย *Pi* = ความน่าจะเป็นที่ติดเชื้อโรคจากการสัมผัส

D = จำนวนเชื้อที่เข้าสู่ร่างกายจากการบริโภค

α = ค่าคงที่ จาก Beta-Poisson model

N_{50} = จำนวนเชื้อโรคที่ 50% ที่ทำให้เกิดโรค

ความเสี่ยงสูงสุดต่อปีของเชื้อ *E. coli* สามารถประเมินได้ดังแสดงในสมการ

$$Pi_{\text{yearly}} = 1 - (1 - Pi)^{n}$$

4.6.2.3 การประเมินการรับสัมผัส (exposure assessment)

การหาปริมาณการได้รับเชื้อ เป็นขั้นตอนที่ต้องการทราบว่าผู้ที่มีโอกาสได้รับเชื้อจากตัวกลางใด อาทิ เช่น ทางอาหาร ผัก ผลไม้ หรือน้ำ ปริมาณเท่าไหร่ และมีปริมาณเชื้อที่ปนเปื้อนอยู่เท่าไหร่ ทั้งนี้ปริมาณการได้รับโดยการกิน ดื่ม หรือการได้รับจากกิจกรรมที่ไม่ได้ตั้งใจ จะทำให้ทราบถึงปริมาณเชื้อที่เข้าสู่ร่างกายต่อครั้ง ทั้งนี้ในการประเมินปริมาณการได้รับ จะรวมไปถึงระยะเวลาและความถี่ของการได้รับ ซึ่งค่อนข้างยากต่อการประเมินเป็นตัวเลข ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้ค่าที่ได้จากงานวิจัยที่ทำมาก่อนหน้านี้ ดังตารางที่ 4.18 ซึ่งสามารถนำมาหาค่าความเสี่ยงสูงสุดต่อปีของเชื้อ *E coli (Pi)* ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 โอกาส ปริมาณ และความถี่ที่จะได้รับเชื้อโรคจากกิจกรรมการใช้น้ำไปใช้ประโยชน์

กิจกรรม	**โอกาสได้รับเชื้อจากการสัมผัส**	**ปริมาณที่ได้รับต่อครั้ง/ จำนวนครั้งต่อปี**
การล้างพื้น ล้างรถ	มีการสัมผัสโดยตรง	1 - 5 มล./ 100 – 300 ครั้ง
การใช้น้ำในการชักโครก	ไม่มีการสัมผัสโดยตรง	0.1 – 0.5 มล./ 200 – 365 ครั้ง
รดน้ำต้นไม้	มีการสัมผัสโดยตรง	1 - 5 มล. / 100 – 300 ครั้ง
นันทนาการในสวนสาธารณะ เดิน วิ่ง พักผ่อน	ไม่มีการสัมผัสโดยตรง	0.1 – 0.5 มล./ 50 – 300 ครั้ง

ที่มา: Steyn *et al.* (2004)

ตารางที่ 4.19 ค่าความเสี่ยง *(Pi)* ในการสัมผัสเชื้อ *E. coli* จากการใช้น้ำ

แหล่งของน้ำที่จะนำมาใช้ประโยชน์	**ปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่ตรวจพบสูงสุด (CFU/100mL)**	P_i
น้ำเสียจากหอพักบุคลากร	2.1×10^{6}	1.29×10^{-1}
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว	ND	0
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว ที่เก็บไว้ในถังเพื่อใช้ในการเกษตร	ND	0

หมายเหตุ: ND คือ ตรวจไม่พบ

4.6.2.4 คุณลักษณะความเสี่ยง (risk characterization)

ค่าความเสี่ยงและการแปลผล คือความเสี่ยงที่มีความเป็นไปได้ ที่จะเกิดขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ปกติจะแสดงผลสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคคลเดียว หรือกลุ่มของตัวอย่างต่อปี โดยมากมักจะนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (acceptable risk) ซึ่งถ้ามีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงว่ามีความเสี่ยงน้อย และถ้ามีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้แสดงว่ามีความเสี่ยงสูง ในกรณีนี้จะมีการเสนอแนะมาตรการของกระบวนการลดความเสี่ยงต่อไป ในการหาค่าความเสี่ยงสามารถกระทำได้สองทางเลือกคือ การประเมินแบบเป็นค่า (point estimation) และการประเมินแบบเชิงความสัมพันธ์ (probability density function, PDFs) สำหรับการศึกษานี้ได้เลือกใช้การประเมินแบบเป็นค่า ซึ่งสามารถใช้ได้ดีในกรณีที่จำนวนข้อมูลมีน้อย โดยจะให้ผลเป็นค่าความเสี่ยงที่น้อยที่สุด และค่าความเสี่ยงที่มากที่สุด

ผลของการประเมินจากกิจกรรมต่างๆ และค่าที่ยอมรับได้

ประเทศไทยยังไม่มีเกณฑ์ค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้หรือเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับในการประเมินความเสี่ยงจากเชื้อโรค ปัจจุบันเกณฑ์ค่าที่ยอมรับได้ (acceptable risk) ขึ้นกับ ความเข้มของกฎหมายระเบียบข้อบังคับของแต่ละพื้นที่และแต่ละกิจกรรมของแต่ละประเทศ โดยค่าที่ใช้อยู่มีอยู่ 3 ระดับ(U.S.EPA., 2010) คือ

- เกณฑ์ทั่วไป 10/100,000
- เกณฑ์ที่เข้มมากขึ้น 1/100,000
- เกณฑ์เข้มสูงสุด 0.1/100,000

ในกรณีเกณฑ์ความเสี่ยงทั่วๆไป ค่า 10/100,000 หมายถึงมี 10 คนที่ติดเชื้อจากกลุ่มตัวอย่าง 100,000 คน ที่มีการสัมผัสเชื้อจากกิจกรรมการ 1 ครั้ง หรือสามารถแปลผลในทางกลับกันคือ มีคนหนึ่งคนที่ติดเชื้อ 10 ครั้งจากการสัมผัสหรือเกิน 100,000 ครั้ง ในรอบ 1 ปี ทั้งนี้ได้เลือกใช้เกณฑ์ความเสี่ยงทั่วไป สำหรับกิจกรรมทั่วไป ไม่รวมน้ำดื่ม โดยผลของความเสี่ยงจะหมายถึงความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ ซึ่งอาจจะแสดงผลต่อการเกิดโรคหรือไม่ก็ได้ (Symptom and Asymptom) (Gerba *et al*., 1996)

ผลการประเมินค่าความเสี่ยงสูงสุดของการได้รับเชื้อโรค *E. coli* จากกิจกรรมต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.20 กรณีที่ใช้น้ำเสียทำกิจกรรมต่างๆ พบว่า มีความเสียงสูงสุด เท่ากับ 1 ในทุกกิจกรรม ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย ไม่ผ่านเกณฑ์ทั่วไป ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน พบว่า ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพเนื่องจากเชื้อก่อโรค อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ในกระบวนการประเมินความเสี่ยงไม่ได้ครอบคลุมเชื้อทุกตัว จึงแนะนำว่า เมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำตามเทคโนโลยีข้างต้นแล้ว ในการนำไปใช้จริงควรมีการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพสำหรับผู้ที่ได้รับการสัมผัสหรือใช้งานโดยวิธีการติดตามทางระบาดวิทยาควบคู่ไปด้วย

ตารางที่ 4.20 ค่าความเสี่ยงสูงสุดของการได้รับเชื้อโรค *E. coli* จากกิจกรรมต่างๆ

กิจกรรม	ความเสี่ยงสูงสุดต่อปี ($P_{i\ yearly}$)		
	น้ำเสีย	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเก็บในถังเพื่อใช้ในการเกษตร
การล้างพื้น ล้างรถ	1.00	ND	ND
การใช้น้ำในการชักโครก	1.00	ND	ND
การทำงานสำหรับรดน้ำต้นไม้	1.00	ND	ND
นันทนาการในสวนสาธารณะ เดิน วิ่ง พักผ่อน	1.00	ND	ND

4.7 ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่

4.7.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ เพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ซึ่งประกอบด้วย เพศ อายุ อาชีพ สำหรับนิสิตแบ่งเพิ่มเติมเป็น คณะ/วิทยาลัย ระดับการศึกษา ชั้นปีที่ศึกษาอยู่สำหรับนิสิตปริญญาตรี สำหรับบุคลากรแบ่งเพิ่มเติมเป็น สายการปฏิบัติงาน คณะ/วิทยาลัย/หน่วยงาน ระยะเวลาที่ทำงานในหน่วยงานของมหาวิทยาลัย ที่พักอาศัย และสำหรับบุคคลทั่วไปแบ่งเพิ่มเติมเป็น อาชีพ ความถี่ในการเดินทางเข้ามายังมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ข้อมูลจากส่วนส่งเสริมและบริการการศึกษามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ระบุว่าในปีการศึกษาพ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) มีนิสิตภายใต้คณะต่างๆ ทั้งสิ้น 6,787 ราย ทั้งยังมีบุคลากรในคณะและหน่วยงานต่างๆ 889 ราย ผลรวมประชากรนิสิตและบุคลากรในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทั้งหมด 7,676 ราย ได้กำหนดขนาดของตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Taro Yamane ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้เป็นจำนวน 384 ราย โดยได้ทำการแจกแบบสอบถามรวมทั้งหมดจำนวน 420 ราย สำหรับนิสิต บุคลากร และบุคคลทั่วไป ตารางที่ 4.21 แสดงจำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามรายการข้อมูลทั่วไป ผลการศึกษาพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 260 ราย คิดเป็นร้อยละ 61.9 รองลงมาคือ เพศชาย จำนวน 160 ราย คิดเป็นร้อยละ 38.1 สำหรับอายุ พบว่าผู้ตอบส่วนใหญ่มีช่วงอายุ 18 -24 ปี ซึ่งมีจำนวน 264 ราย คิดเป็นร้อยละ 62.9 รองลงมาคือ อายุต่ำกว่า 18 ปี จำนวน 56 ราย คิดเป็นร้อยละ 13.3 อายุ 35 – 44 ปี จำนวน 40 ราย คิดเป็นร้อยละ 9.5 อายุ 25 – 34 ปี จำนวน 28 ราย คิดเป็นร้อยละ 6.7 อายุ 45 – 54 ปี จำนวน 16 ราย คิดเป็นร้อยละ 3.8 อายุ 55 ปีขึ้นไป จำนวน 16 ราย คิดเป็นร้อยละ 3.8 ตามลำดับ เมื่อพิจารณากลุ่มอาชีพของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ผู้ตอบส่วนใหญ่ คือ นิสิต มีจำนวน 248 ราย คิดเป็นร้อยละ 59.0 รองลงมาคือ บุคลากร จำนวน 88 ราย คิดเป็นร้อยละ 21.0 และ บุคคลทั่วไป จำนวน 84 ราย คิดเป็นร้อยละ 20.0 ตามลำดับ

การศึกษาได้ศึกษาข้อมูลของแต่ละกลุ่มอาชีพ สำหรับกลุ่มนิสิต เมื่อจำแนกตามระดับการศึกษา พบว่าผู้ตอบส่วนใหญ่อยู่ระดับปริญญาตรี ซึ่งมีจำนวน 240 ราย คิดเป็นร้อยละ 96.8 รองลงมา ปริญญาโท จำนวน 8

ราย คิดเป็นร้อยละ 3.2 และไม่มีนิสิตในระดับปริญญาเอก ในกลุ่มของนิสิตระดับปริญญาตรี เมื่อจำแนกตามชั้นปี พบว่า มีนิสิตชั้นปีที่ 1 -4 ในระดับใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 44 – 68 คน และมีนิสิตในชั้นปีที่มากกว่า 4 ปี จำนวน 8 ราย คิดเป็นร้อยละ 3.3 ของผู้ตอบแบบสอบถามในระดับปริญญาตรีทั้งหมด นอกจากนั้น ได้จำแนกเป็นคณะ/วิทยาลัย เพื่อให้มีกลุ่มตัวอย่างที่ใกล้เคียงกัน

จากการสำรวจได้จำนวนบุคลากร 88 คน แบ่งตามสายปฏิบัติงานพบว่า ผู้ตอบส่วนใหญ่คือ บุคลากรสายสนับสนุน ซึ่งมีจำนวน 44 ราย คิดเป็นร้อยละ 55.0 และรองลงมาคือ บุคลากรสายวิชาการ จำนวน 36 ราย คิดเป็นร้อยละ 45.0 ตามลำดับ และกลุ่มบุคคลทั่วไป ผู้ตอบส่วนใหญ่มีอาชีพเป็นนักเรียนหรือนักศึกษา ซึ่งมีจำนวน 68 ราย คิดเป็นร้อยละ 81.0 รองลงมา คือ ข้าราชการ พนักงาน ลูกจ้างของรัฐหรือพนักงาน จำนวน 8 ราย คิดเป็นร้อยละ 9.5 อาชีพพนักงานหรือลูกจ้างเอกชนรายเดือน จำนวน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 4.8 และอาชีพค้าขายหรือประกอบธุรกิจส่วนตัว จำนวน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.21 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม

รายการข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
หญิง	260	61.9
ชาย	160	38.1
ช่วงอายุ		
ต่ำกว่า 18 ปี	56	13.3
18 – 24 ปี	264	62.9
25 – 34 ปี	28	6.7
35 – 44 ปี	40	9.5
45 – 54 ปี	16	3.8
55 ปีขึ้นไป	16	3.8
อาชีพ		
นิสิต	248	59.0
บุคลากร	88	21.0
บุคคลทั่วไป	84	20.0
คณะ / วิทยาลัย (สำหรับนิสิต)		
วิทยาศาสตร์ – เทคโนโลยี	80	32.3
การแพทย์ – สาธารณสุข	92	37.1
ศึกษาทั่วไป	76	30.6
ระดับการศึกษา (สำหรับนิสิต)		
ปริญญาตรี	240	96.8
ปริญญาโท	8	3.2
ปริญญาเอก	0	0.0

รายการข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
ชั้นปี (สำหรับนิสิต)		
ปี 1	48	20.0
ปี 2	68	28.3
ปี 3	44	18.3
ปี 4	72	30.0
มากกว่าปี 4	8	3.3
สายการปฏิบัติงาน (สำหรับบุคลากร)		
บุคลากรสายวิชาการ	36	45.0
บุคลากรสายสนับสนุน	44	55.0
อาชีพ (สำหรับบุคคลทั่วไป)		
ข้าราชการ พนักงาน ลูกจ้างของรัฐ/พนักงาน	8	9.5
พนักงาน/ลูกจ้างเอกชนรายเดือน	4	4.8
พนักงาน/ลูกจ้างเอกชนรายวัน	0	0.0
ค้าขาย/ประกอบธุรกิจส่วนตัว	4	4.8
เกษตรกร	0	0.0
รับจ้างทั่วไป	0	0.0
แม่บ้าน/พ่อบ้าน	0	0.0
นักเรียน/นักศึกษา	68	81.0
กรรมกร	0	0.0
ขับรถรับจ้าง (มอเตอร์ไซด์รับจ้าง รถตู้ แท็กซี่)	0	0.0
อื่นๆ	0	0.0

4.7.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการรับรู้ของประชาชน เรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวนความถี่ ร้อยละ และการแปลผลเมื่ออธิบายถึงข้อมูลการวิเคราะห์ การรับรู้ ของประชาชน เรื่องน้ำเสียการบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ในด้านการทราบสถานการณ์ การรับทราบข้อมูล และคำศัพท์ สรุปเป็นผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์ข้อมูลการรับรู้สถานการณ์ และรับทราบข้อมูล พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีการพูดคุยเกี่ยวกับสถานการณ์น้ำเสียกับบุคคลอื่นๆ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.90 โดยมีผู้ตอบแบบสอบถามที่มีการพูดคุยเกี่ยวกับสถานการณ์น้ำเสียกับบุคคลรอบข้างเป็นประจำ จำนวน 96 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 22.87 มีการพูดคุยนานๆครั้ง จำนวน 188 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 44.76 และไม่เคยพูดคุยเรื่องดังกล่าวเลย จำนวน 136 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 32.38 ด้านความรู้เกี่ยวกับกระบวนการต่างๆในการบำบัดน้ำเสียของผู้ตอบแบบสอบถาม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.71 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง และผู้ตอบแบบสอบถามเคยพบเห็นการบำบัดน้ำเสียเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.08 คิดเป็นระดับปานกลาง โดยมีจำนวน และร้อยละของกลุ่มตัวอย่างแสดงไว้ในตารางที่ 4.22 สำหรับสถานที่ที่ผู้ตอบแบบสอบถามพบเจอการบำบัดน้ำเสียเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่มากที่สุดคือ ห้างสรรพสินค้า

มีผู้พบเจอ จำนวน 196 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 74.24 รองลงมาเป็นอาคารสำนักงาน และโรงแรม จำนวน 96 คน และ 78 คน คิดเป็นร้อยละ 36.36 และ 29.55 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.13

สำหรับการรับทราบคำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ จากการวิเคราะห์ค่าการรับรู้ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความรู้เกี่ยวกับคำศัพท์คำว่าน้ำเสีย โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.85 ตามลำดับ ตารางที่ 4.24 และ รูปที่ 4.14 แสดงจำนวน และร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามในระดับการรับรู้ต่างๆ ต่อคำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า จำนวนผู้ที่ทราบความหมายสามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย จากคำศัพท์พื้นฐาน เช่น น้ำเสีย การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ น้ำโสโครก (มากกว่าร้อยละ 50) ไปจนกระทั่งคำศัพท์เทคนิค ได้แก่ มาตรตฐานน้ำทิ้ง น้ำเกรย์ การบำบัดน้ำเสียขั้นสูง และการบำบัดแบบติดที่ ตามลำดับ

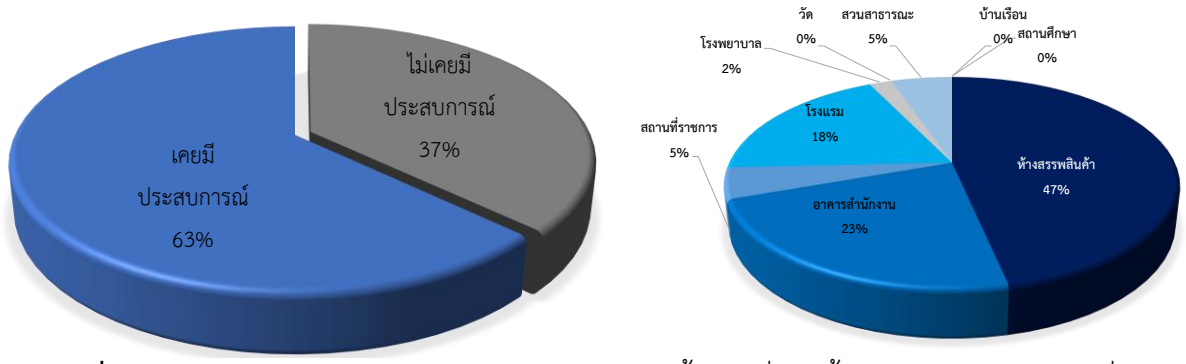
ตารางที่ 4.22 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างต่อการรับรู้เรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

	การรับรู้	เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1.	ท่านมีการพูดคุยเกี่ยวกับ สถานการณ์น้ำเสียของมหาวิทยาลัย กับบุคคลรอบข้างบ่อยเพียงใด	บ่อยครั้ง	96	22.87
		นานๆครั้ง	188	44.76
		ไม่เคยเลย	136	32.38
2.	ท่านรู้จักการบำบัดน้ำเสียเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่มากน้อยเพียงใด	รู้จักเป็นอย่างดี	76	18.09
		เคยได้ยินมาเล็กน้อย	300	71.42
		ไม่รู้จักเลย	44	10.47
3.	ท่านเคยพบเห็นการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่หรือไม่	เคย	264	62.80
		ไม่เคย	156	37.14

ตารางที่ 4.23 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างที่เคยพบเห็นการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาในสถานที่ต่างๆ

	การรับรู้	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1.	บ้านเรือน	0	0.00
2.	สถานศึกษา	0	0.00
3.	ห้างสรรพสินค้า	196	74.24
4.	อาคารสำนักงาน	96	36.36
5.	สถานที่ราชการ	20	7.58
6.	โรงแรม	78	29.55
7.	โรงพยาบาล	8	3.03

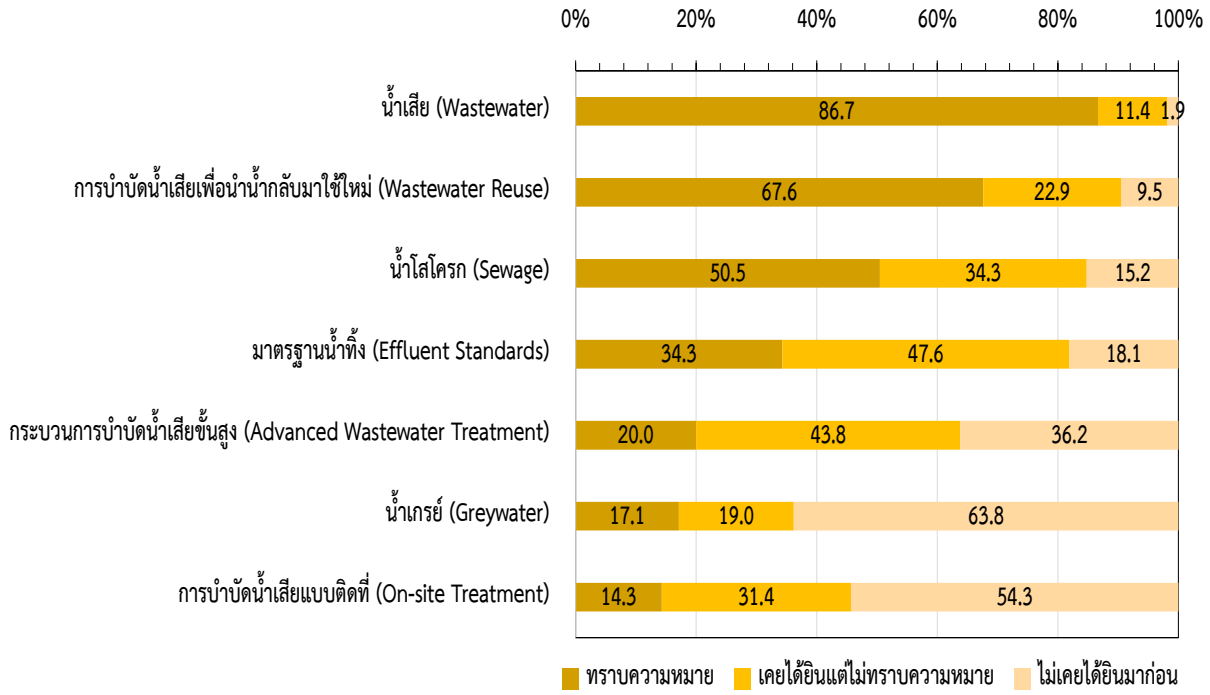
8.	วัด	0	0.00



รูปที่ 4.13 สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างต่อพบเห็นการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในสถานที่ต่างๆ

ตารางที่ 4.24 จำนวนและร้อยละ ของกลุ่มตัวอย่างต่อคำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

	คำศัพท์	ทราบความหมาย		เคยได้ยินแต่ไม่ทราบความหมาย		ไม่เคยได้ยินมาก่อน	
		จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1.	น้ำเสีย (Wastewater)	364	86.6%	48	11.4%	8	1.9%
2.	การบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Wastewater Reuse)	284	67.6%	96	22.8%	40	9.5%
3.	น้ำโสโครก (Sewage)	212	50.4%	144	34.2%	64	15.2%
4.	มาตรฐานน้ำทิ้ง (Effluent Standards)	144	34.2%	200	47.6%	76	18.1%
5.	น้ำเกรย์ (Greywater)	72	17.1%	80	19.0%	268	63.8%
6.	กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (Advanced Wastewater Treatment)	84	20.0%	184	43.8%	152	36.1%
7.	การบำบัดน้ำเสียแบบติดที่ (On-site Treatment)	60	14.2%	132	31.4%	228	36.1%



รูปที่ 4.14 ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างต่อคำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

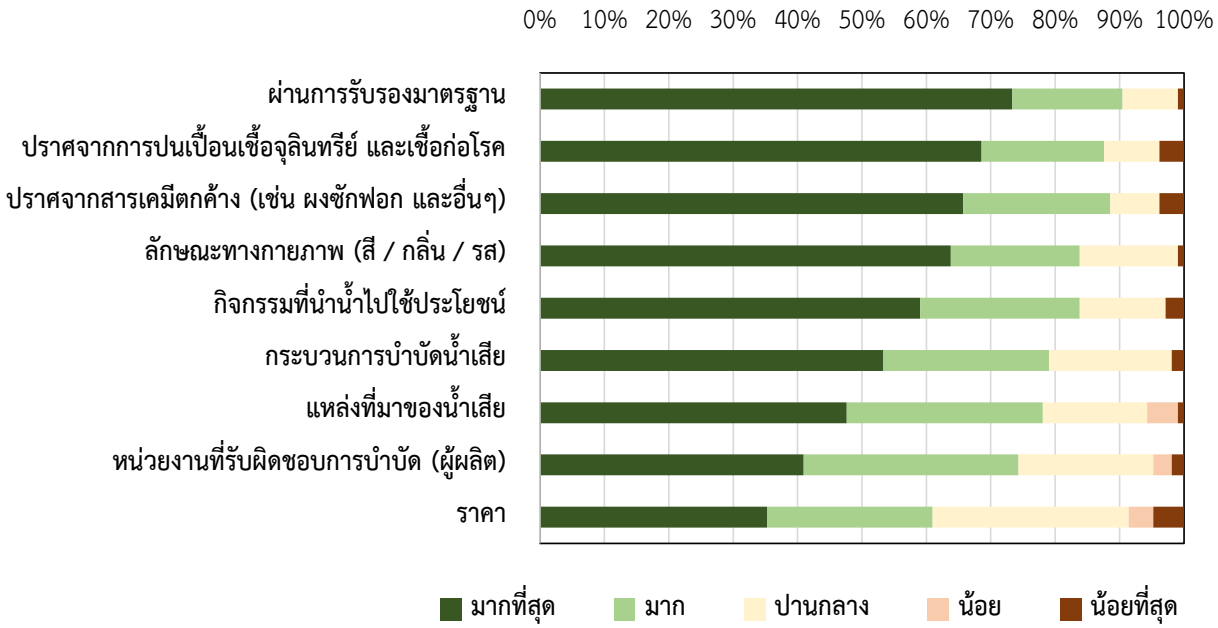
4.7.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกและการตัดสินใจใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับประกอบกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน

การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการแปลผลเมื่ออธิบายถึงข้อมูลการวิเคราะห์ การเลือกและการตัดสินใจใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับประกอบกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน สรุปเป็นผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นด้วยมากที่สุดกับปัจจัยด้านการผ่านการรับรองมาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 รองลงมาคือ การปราศจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อก่อโรค โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 การปราศจากสารเคมีตกค้าง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 ลักษณะทางกายภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 กิจกรรมที่นำน้ำไปใช้ประโยชน์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 แหล่งที่มาของน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.19 หน่วยงายที่รับผิดชอบการบำบัด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.09 และราคา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.83 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.25 สำหรับสัดส่วนผู้ตอบแบบสอบถามต่อการปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแสดงในรูปที่ 4.15 จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ความสะอาด ปราศจากสารปนเปื้อนของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเลือกและตัดสินใจใช้น้ำผ่านการบำบัด และได้รับการยอมรับมากยิ่งขึ้น เมื่อน้ำผ่านการรับรองมาตรฐาน ทั้งนี้ พบอีกด้วยว่า กิจกรรมการใช้น้ำไปใช้ประโยชน์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งรองจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ที่มีผลต่อการเลือกและตัดสินใจใช้น้ำที่ผ่านการบำบัด ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4.25 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้น้ำที่ผ่านการบำบัด

	ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความคิดเห็น
1.	แหล่งที่มาของน้ำเสีย	4.19	0.94	มาก
2.	หน่วยงานที่รับผิดชอบการบำบัด (ผู้ผลิต)	4.09	0.95	มาก
3.	กระบวนการบำบัดน้ำเสีย	4.46	0.82	มากที่สุด
4.	ลักษณะทางกายภาพ (สี / กลิ่น / รส)	4.35	0.92	มากที่สุด
5.	ปราศจากสารเคมีตกค้าง (เช่น ผงซักฟอก และอื่นๆ)	4.47	0.93	มากที่สุด
6.	ปราศจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อก่อโรค	4.49	0.94	มากที่สุด
7.	ผ่านการรับรองมาตรฐาน	4.62	0.72	มากที่สุด
8.	กิจกรรมที่นำน้ำไปใช้ประโยชน์	4.27	0.90	มากที่สุด
9.	ราคา	3.83	1.10	มาก
	รวม	4.31	0.95	

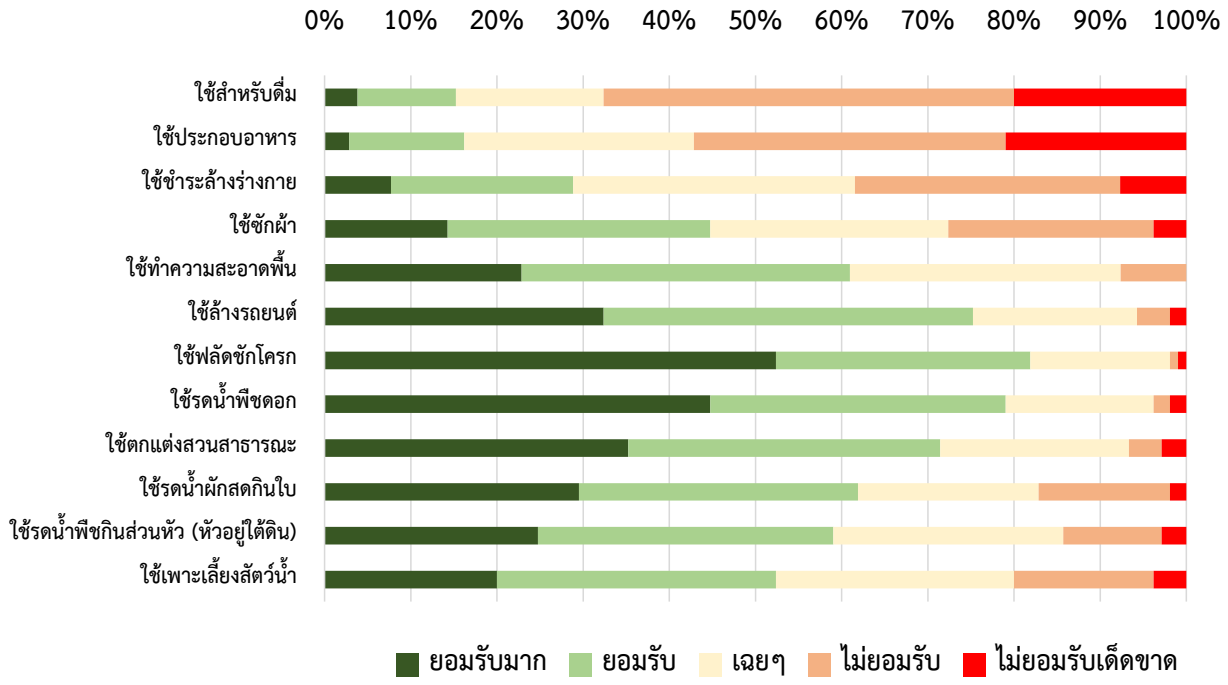


รูปที่ 4.15 ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างต่อปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกและการตัดสินใจใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับประกอบกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน

4.7.4 การวิเคราะห์การยอมรับการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประกอบกิจกรรมในชีวิตประจำวัน

การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการแปลผลเพื่ออธิบายถึง การยอมรับการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่

สำหรับผลการวิเคราะห์การยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ในกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันในภาคประชาชน พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามยอมรับมากที่สุดในการใช้ฟลัดชักโครก โดยมีผู้ยอมรับจำนวน 220 คน คิดเป็นร้อยละ 52.4 รองลงมาคือ การใช้ล้างรถยนต์ ใช้ทำความสะอาดพื้น ใช้ซักผ้า ใช้ประกอบอาหาร และใช้สำหรับดื่ม โดยมีผู้ยอมรับจำนวน 136 96 60 32 12 และ 16 คน คิดเป็นร้อยละ 32.38 22.85 14.28 7.6 2.8 และ 3.8 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความกังวลของผู้ใช้น้ำต่อความสะอาดของน้ำ เห็นได้จาก กิจกรรมการใช้น้ำที่มีการสัมผัสต่อร่างกายน้อยกว่า จะได้รับการยอมรับมากกว่ากิจกรรมที่มีการสัมผัสน้ำมากกว่า หรือกิจกรรมที่มีการเข้าสู่ร่างกาย เช่น การประกอบอาหาร และการดื่ม สำหรับการฟลัดชักโครก แม้ว่าอาจมีการสัมผัสมากกว่าบางกิจกรรม เช่น การใช้ล้างรถยนต์ และการใช้ล้างทำความสะอาดพื้น อาจเนื่องมาจากผู้ตอบแบบสอบถามมีการรับรู้ รับทราบ การใช้ประโยชน์ในรูปแบบดังกล่าวจากสถานที่อื่นๆมาก่อน จึงทำให้มีการยอมรับกิจกรรมดังกล่าวมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.16 ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างต่อการยอมรับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่างๆ

สำหรับผลการวิเคราะห์การยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ในกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันในภาคการเกษตร พบว่า กิจกรรมที่ได้รับการยอมรับสูงที่สุด คือ สำหรับรดน้ำพืชดอก รองลงมาเป็นการใช้น้ำหลังการบำบัดเพื่อตกแต่งสวน สำหรับพืชที่นำมารับประทาน สังเกตได้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความกังวลต่อการสะสมของสารพิษ ส่งผลให้การยอมรับในผักกินใบ สูงกว่าใช้รดน้ำพืชกินหัว และเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามลำดับ

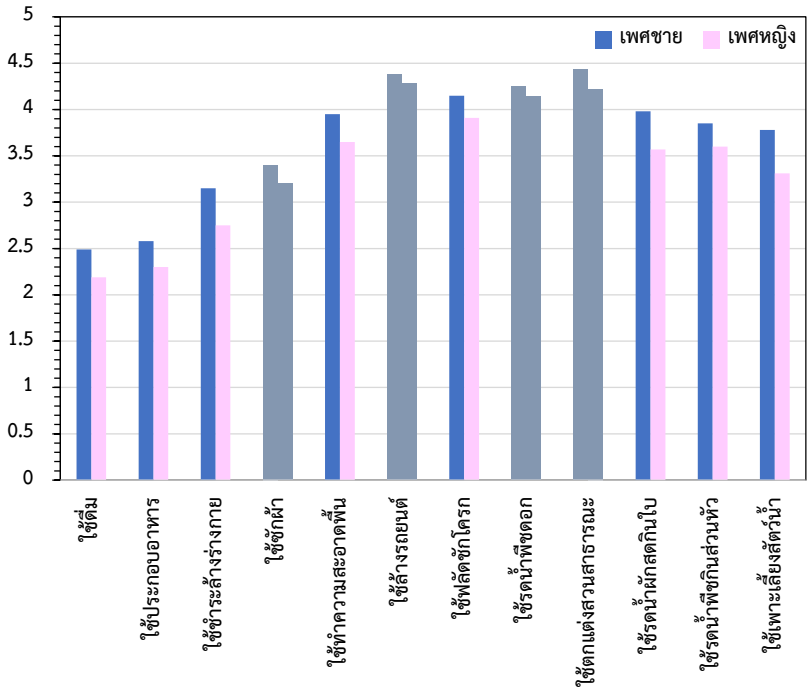
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามต่อการยอมรับการนำน้ำเสียกลับมาใช้ในชีวิตประจำวันด้วยวิธีทางสถิติ โดยใช้ค่าเชิงปริมาณอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองทาง ผลการวิเคราะห์ พบว่า เพศ กลุ่มอาชีพ กลุ่มคณะของนิสิต และสายปฏิบัติงานของบุคลากร มีความสัมพันธ์ต่อการยอมรับการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประกอบกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 0.05

เมื่อพิจารณาผลของเพศ ต่อการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดในกิจกรรมต่างๆ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามเพศหญิง มีการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดน้อยกว่าผู้ตอบแบบสอบถามเพศชาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 0.05 ดังแสดงใน รูปที่ 4.17 ได้แก่ การใช้ดื่ม การใช้ชำระล้างร่างกาย ใช้ทำความสะอาด ใช้ฟลัดชักโครก การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ใช้ประกอบอาหาร ใช้ตกแต่งสวน และใช้รดน้ำผักกินใบ อาจเนื่องมาจากเพศหญิง มักมีความกังวลเรื่องสุขภาพมากกว่าเพศชาย จึงส่งผลต่อการยอมรับการใช้น้ำที่แตกต่างกัน

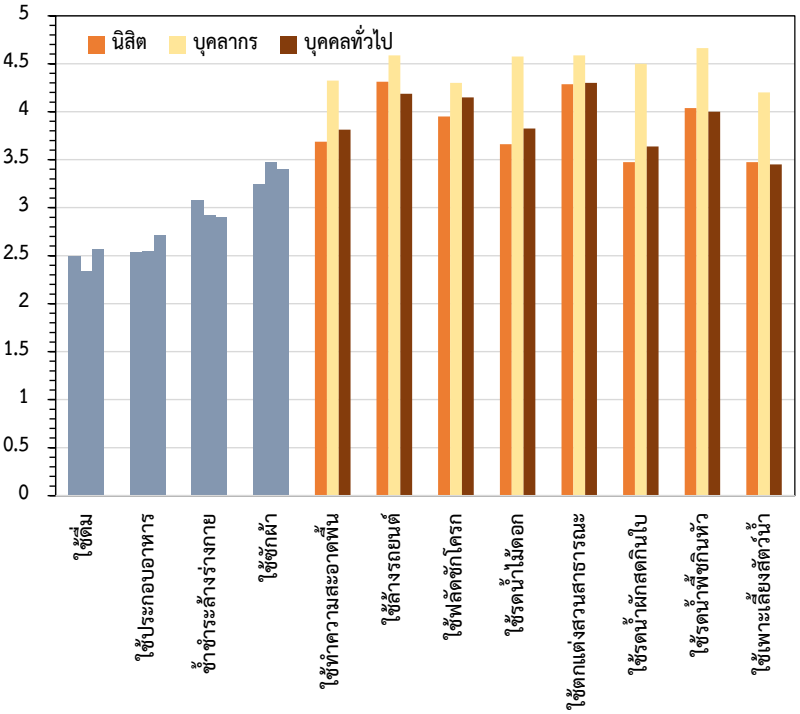
เมื่อพิจารณาผลของกลุ่มอาชีพ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามกลุ่มบุคลากร มีการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดสูงกว่า กลุ่มนิสิตและบุคคลทั่วไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 0.05 ดังแสดงในรูปที่ 4.18 อาจเนื่องมาจากประสบการณ์ และการรับรู้ที่มากกว่า ส่งผลต่อการยอมรับการใช้น้ำหลังบำบัดในกิจกรรมต่างๆที่มากกว่าตามไปด้วย ในขณะที่กลุ่มนิสิต และบุคคลทั่วไปที่ยังมีความกังวลต่อน้ำหลังการบำบัด

เมื่อพิจารณาผลของศาสตร์สาขาวิชา จากกลุ่มคณะ / วิทยาลัย ของนิสิตระดับปริญญาตรี พบว่า นิสิตกลุ่มแพทย์-สาธารณสุข มีการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 0.05 รองลงมาเป็นนิสิตกลุ่มวิทยาศาสตร์ – เทคโนโลยี และกลุ่มศึกษาทั่วไปตามลำดับ ดังแสดงใน รูปที่ 4.19 เนื่องมาจากการรับรู้ รับทราบข้อมูล ด้านความเสี่ยงที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มสาขาวิชา ซึ่งส่งผลต่อความกังวลต่อการใช้น้ำหลังการบำบัด

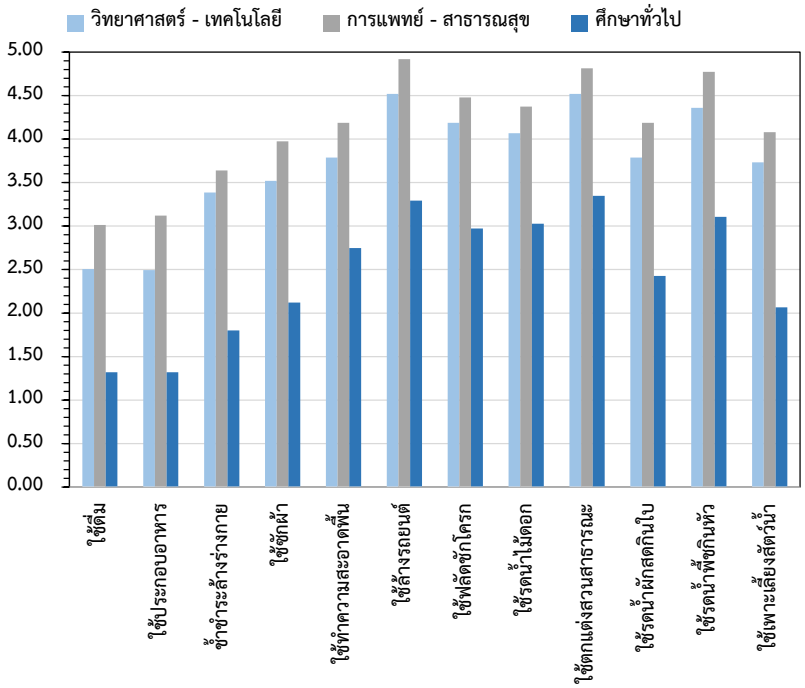
เมื่อพิจารณาระหว่างกลุ่มบุคลากร สายวิชาการ ซึ่งประกอบด้วย อาจารย์และนักวิจัย และสายสนับสนุน พบว่า มีการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 0.05 สำหรับกิจกรรมที่มีการสัมผัสต่อร่างกาย 4 กิจกรรม ได้แก่ การดื่ม การใช้เพื่อประกอบอาหาร การชำระร่างกาย และการใช้ซักผ้า อาจเนื่องมาจากพื้นความรู้ การรับทราบและประสบการณ์ด้านเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อความกังวลในการเลือกใช้น้ำหลังบำบัดในกิจกรรมดังกล่าว บุคลากรสายสนับสนุนจึงมีความกังวลมากกว่าบุคลากรสายวิชาการ รูปที่ 4.20



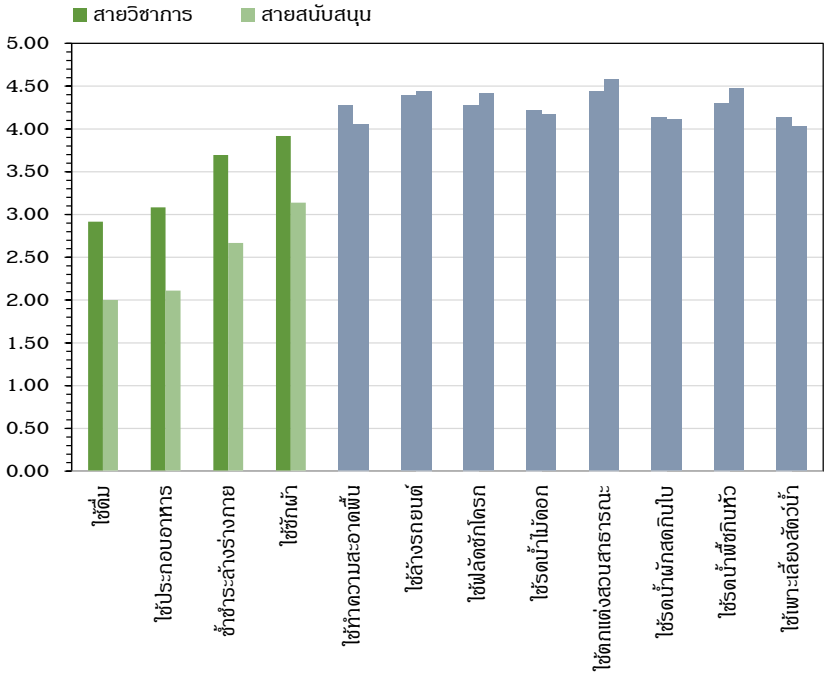
รูปที่ 4.17 ผลของเพศของผู้ตอบแบบสอบถามต่อการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดในกิจกรรมต่างๆ



รูปที่ 4.18 ผลของกลุ่มอาชีพของผู้ตอบแบบสอบถามต่อการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดในกิจกรรมต่างๆ



รูปที่ 4.19 ผลของศาสตร์สาขาวิชาของผู้ตอบแบบสอบถามกลุ่มนิสิตต่อการใช้น้ำหลังการบำบัดในกิจกรรมต่างๆ



รูปที่ 4.20 ผลของสายปฏิบัติงานของผู้ตอบแบบสอบถามกลุ่มบุคลากรต่อการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดในกิจกรรมต่างๆ

4.8 ผลการบำบัดสารอินทรีย์ของน้ำเสียจากการซักล้างด้วยผงถ่านกัมมันต์

4.8.1 คุณลักษณะของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากการซักล้าง

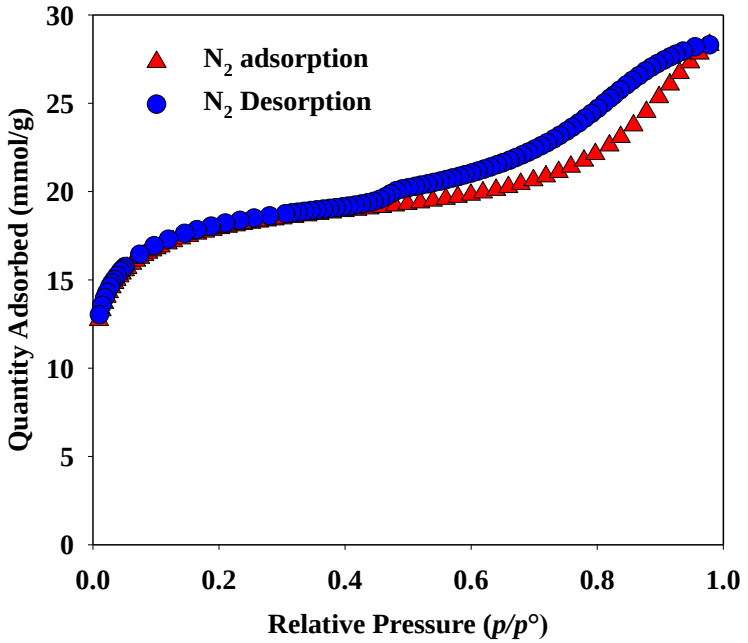
คุณภาพน้ำเสียจากการซักล้าง อาทิ ค่าพีเอช ของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตร (UV254) ค่าการดูดกลืนแสงจำเพาะที่ 254 นาโนเมตร (SUVA254) และปริมาณไนโตเจนทั้งหมด (total Nitrogen) แสดงดังตารางที่ 4.26 จากผลการวิเคราะห์พบว่า น้ำเสียจากการซักล้างมีค่าพีเอชที่ค่อนข้างเป็นด่าง ซึ่งค่าพีเอชดังกล่าวอยู่ในช่วงของน้ำเสียจากการซักล้าง ระหว่าง 7.2 และ 8.3 (Bani-Melhem and Smith, 2012) ค่าพีเอชของน้ำเสียจากการซักล้างในงานวิจัยนี้สูงกว่าน้ำชะขยะ (pH4.3±1.3) (Ittisupornrat et al., 2019) และแหล่งน้ำผิวดินในเขตร้อน (pH 7.53–7.96) (Phetrak et al., 2016). ทั้งนี้เหตุผลที่เป็นไปได้ที่อาจจะส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำเสียจากการซักล้างมีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของแหล่งน้ำอื่นๆ คือสารชะล้าง อาทิเช่น สบู่ ผงซักฟอก ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากการซักล้าง นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากการซักล้างและค่าดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตร (UV254) มีค่าเท่ากับ 6.74±0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.1112±0.0002 cm-1 ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงจำเพาะที่ 254 นาโนเมตร (SUVA254) มีค่าเท่ากับ 1.65 ลิตรต่อเมตร.มิลลิกรัม (ซึ่งน้อยกว่า 3 ลิตรต่อเมตร.มิลลิกรัม) จากข้อมูลงานวิจัยอื่นๆพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงจำเพาะที่ 254 นาโนเมตร ที่ค่าสูงมากกว่า 3 ลิตรต่อเมตร.มิลลิกรัมนั้นบ่งบอกถึงคุณลักษณะของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) หากแต่พบค่าดังกล่าวน้อยกว่า 3 ลิตรต่อเมตร.มิลลิกรัม จะแสดงให้เห็นว่า คุณลักษณะของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแบบชอบน้ำ (Hydrophilicity) เนื่องจากน้ำเสียจากการซักล้างที่ใช้ในการศึกษานี้มีค่าการดูดกลืนแสงจำเพาะที่ 254 นาโนเมตร น้อยกว่า 3 ลิตรต่อเมตร.มิลลิกรัม แสดงให้เห็นว่า สารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างมีคุณลักษณะแบบชอบน้ำ (Hydrophilicity) แบบโซ่ตรง ซึ่งอาจจะทำให้ขาดประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยการใช้กระบวนการโคแอกลูเลชั่นและรวมตะกอน (Coagulation-flocculation) ดังนั้นการบำบัดสารอินทรีย์เหล่านี้ในน้ำเสียจากการซักล้างด้วยการใช้วัสดุดูดซับจึงเป็นเทคโนโลยีทางเลือกที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.26 คุณภาพน้ำของน้ำเสียจากการซักล้าง (Greywater quality)

พารามิเตอร์ (Parameter)	หน่วย (Unit)	ค่าคุณภาพน้ำเสียจากการซักล้าง (Greywater quality)
พีเอช (pH)	–	8.21±0.02
ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ (DOC)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	6.74±0.04
ค่าการดูดกลืนแสง (UV_{254})	ต่อเซนติเมตร (cm^{-1})	0.1112±0.0002
ค่าการดูดกลืนแสงจำเพาะ (Specific ultraviolet absorbance at 254nm: $SUVA_{254}$)	ลิตรต่อเมตร.มิลลิกรัม (L/m.mg)	1.65
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen: TN)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	4.46±0.01

4.8.2 คุณลักษณะของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับ

ผลการวิเคราะห์บ่งบอกว่า ผงถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวประมาณ 1,291 ตารางเมตรต่อกรัมของผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งค่าการวิเคราะห์ที่ได้มีความคล้ายคลึงกับผลการศึกษาของผงถ่านกัมมันต์ในรายงานวิจัยอื่นๆ (Liu et al., 2011) ปริมาตรและขนาดรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 0.945 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัม และ 2.9 นาโนเมตร ตามลำดับ ไอโซเทอมการดูดซับและคายซับของก๊าซไนโตรเจนต่อผงถ่านกัมมันต์ได้แสดงในรูปที่ 4.21 ซึ่งพบว่า hysteresis loop ซึ่งบ่งบอกให้ทราบว่ารูพรุนของผงถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็น mesoporous มีช่วงขนาดของรูพรุนเท่ากับ 2–50 นาโนเมตร ซึ่งมีความสอดคล้องกับขนาดรูพรุน 2.9 นาโนเมตร ตามคุณลักษณะของผงถ่านกัมมันต์ที่ได้แสดงในข้างต้น พบว่าเป็นลักษณะที่ได้เปรียบสำหรับกับการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากการซักล้าง



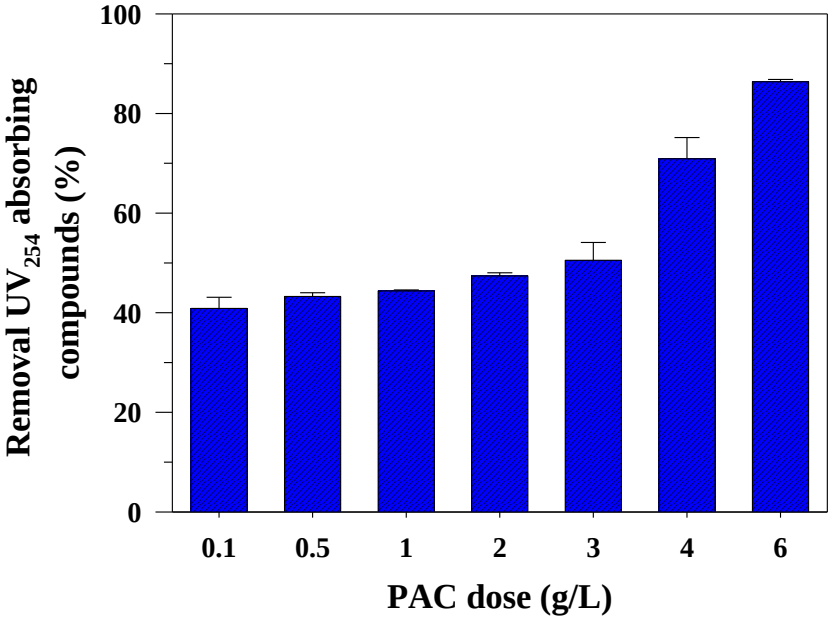
รูปที่ 4. 21 ไอโซเทอมการดูดซับและคายซับของก๊าซไนโตรเจนต่อผงถ่านกัมมันต์

4.8.3 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากการซักล้างด้วยผงถ่านกัมมันต์

ในการหาปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม การทดลองการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากการซักล้างด้วยผงถ่านกัมมันต์ได้ดำเนินการทดสอบด้วยการปรับเปลี่ยนปริมาณผงถ่านกัมมันต์ ดังรูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพของผงถ่านกัมมันต์กับการบำบัดสารอินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตรในน้ำเสียจากการซักล้าง พบว่า ปริมาณผงถ่านกัมมันต์เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตรอย่างมาก กล่าวคือ ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ 0.1 กรัมต่อลิตร สามารถบำบัดสารอินทรีย์ที่ดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตร ได้ร้อยละ 40 หากเพิ่มปริมาณผงถ่านกัมมันมันต์เป็น 2 กรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างเล็กน้อย และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของผงถ่านกัมมันต์มากขึ้นเป็น 3, 4, และ 6 กรัมต่อลิตร ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มมากขึ้นเป็นร้อยละ 50 71 และ 86

ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณพื้นที่ดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ต่อการบำบัดสารอินทรีย์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ใช้วัสดุดูดซับที่คล้ายคลึงกัน อาทิเช่น ผงถ่านกัมมันต์ที่ติดตรึงอนุภาคเหล็ก (Ittisupornrat et al., 2019) อนุภาคเหล็กออกไซด์ (Kitkaew et al., 2018)

เมื่อพิจารณาผลการศึกษานี้ จึงได้เลือกปริมาณของผงถ่าน 6 กรัมต่อลิตรเป็นปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม (Optimum dose of PAC) ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตร ได้มากที่สุด (มากกว่าร้อยละ 80) สำหรับการทดลองครั้งต่อไป



รูปที่ 4. 22 ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (UV_{254})

การศึกษานี้ได้ดำเนินการทดสอบหาความสัมพันธ์ของระยะเวลาการดูดซับและประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากการซักล้างได้ด้วยผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 6 กรัมต่อลิตร สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.23

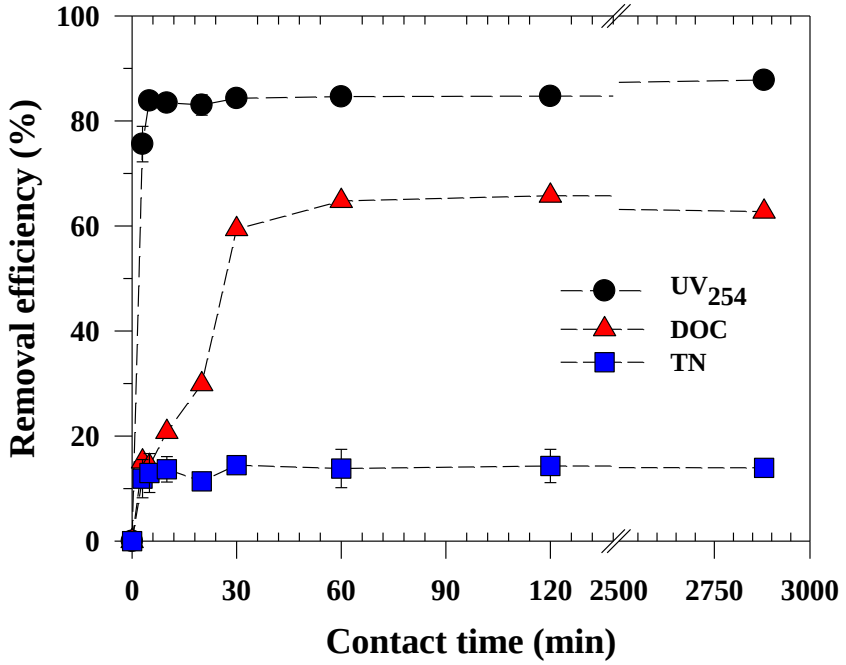
จากผลการศึกษาพบว่าผงถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ที่สามารถดูกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตรได้อย่างมีประสิทธิภาพร้อยละ 76 ภายในระยะเวลา 3 นาที หากเมื่อเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 30 นาที และ 48 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสง ที่ 254 นาโนเมตรเพิ่มข้นร้อยละ 84 และ 88 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ (DOC) พบว่า ผงถ่านกัมมันต์สามารถบำบัดสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบได้น้อยกว่าสารอินทรีย์ที่สามารถดูกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตร ซึ่งอาจจะส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงจำเพาะที่ 254 นาโนเมตร (SUVA254) ลดลงเมื่อระยะเวลาการดูดซับเพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ (DOC) จะค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ที่ระยะเวลาการดูดซับ 3, 30 นาที และ 48 ชั่วโมง ผงถ่านกัมมันต์สามารถบำบัดสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบได้เพียงร้อยละ 15 59 และ 62 ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า

สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างอะโรมาติก หรือมีโครงสร้างพันธะคู่คาร์บอน (C=C) สามารถถูกบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยผงถ่านกัมมันต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างแบบโซ่ตรง

ส่วนประสิทธิภาพของการบำบัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากการซักล้างด้วยผงถ่านกัมมันต์ พบว่า ร้อยละของการบำบัดไนโตรเจนด้วยผงถ่านกัมมันต์มีค่าสูงสุด เพียงร้อยละ 14 ในช่วงระยะเวลาการทดสอบทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องมาจาก คุณสมบัติของผงถ่านกัมมันต์ไม่มีประสิทธิภาพบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic nitrogen) (ไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย) และสัดส่วนปริมาณสารอินทรีย์ที่ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (Organic nitrogen) มีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจน จึงส่งผลให้ผงถ่านกัมมันต์ขาดประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน



รูปที่ 4. 23 ระยะเวลาการดูดซับที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (UV_{254} และ DOC) และ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen: TN)

4.8.4 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ประเภทฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent DOM) ด้วยผงถ่านกัมมันต์

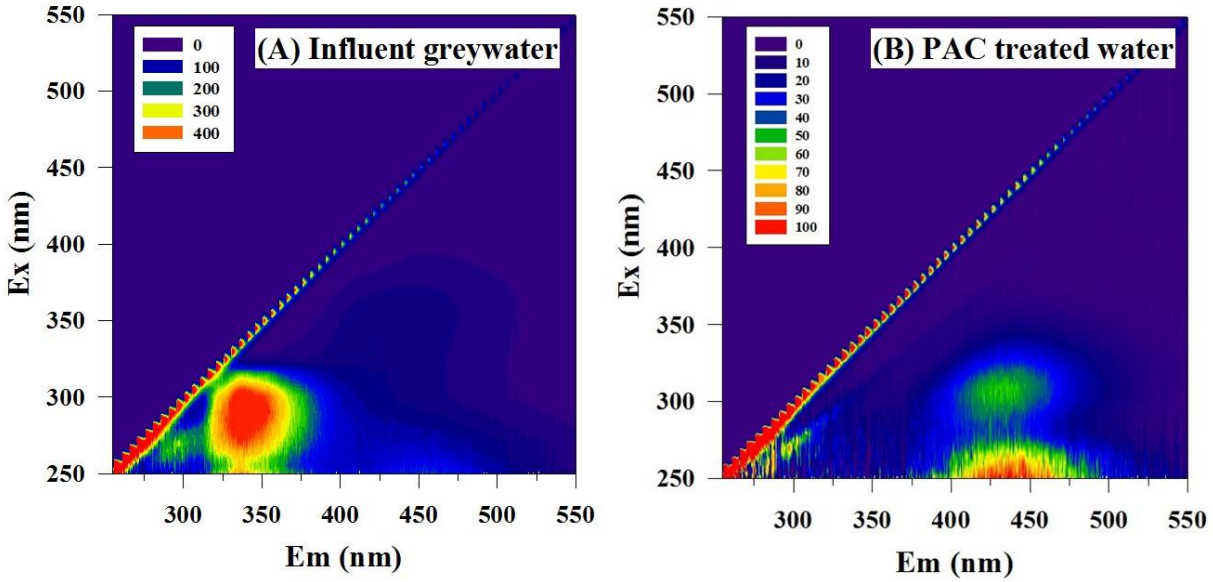
จากที่ได้กล่าวมาเบื้องต้นว่า ค่าการดูดกลืนแสงจำเพาะที่ 254 นาโนเมตร (SUVA254) มีค่าเท่ากับ 1.65 ลิตรต่อเมตร.มิลลิกรัม (ซึ่งน้อยกว่า 3 ลิตรต่อเมตร.มิลลิกรัม) จึงแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในน้ำเสียจากการซักล้างมีโครงสร้างที่ชอบน้ำหรือมีคุณลักษณะเป็นโซ่ตรงและมีโครงสร้างขนาดเล็ก ผลการศึกษานี้ได้รับการยืนยันด้วยการใช้ค่า fluorescence index (FI) ของผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของสารอินทรีย์ด้วยการใช้สเปกโตฟลูออเรสเซนต์ ค่า fluorescence index (FI) เป็นสัดส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นของฟลูออเรสเซนต์ที่คายพลังงาน (Emission) ที่ 450 และ 500 นาโนเมตร ที่ฟลูออเรสเซนต์ที่ถูกกระตุ้นพลังงาน (Excitation) ที่ 370 นาโนเมตร (McKnight et al., 2001) :ซึ่งรายงานว่า ค่าสัดส่วน FI ระหว่าง 1.7 และ 2.0 จะสะท้อนให้ทราบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำส่วนใหญ่มาจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ขณะที่ ค่าสัดส่วน FI น้อยว่า 1.4

นั้นจะสะท้อนให้เห็นว่า สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะมาจากแหล่งอื่นๆภายนอก อาทิเช่นมาจากการย่อยสลายของซากพืช ฮิวมัส เป็นต้น

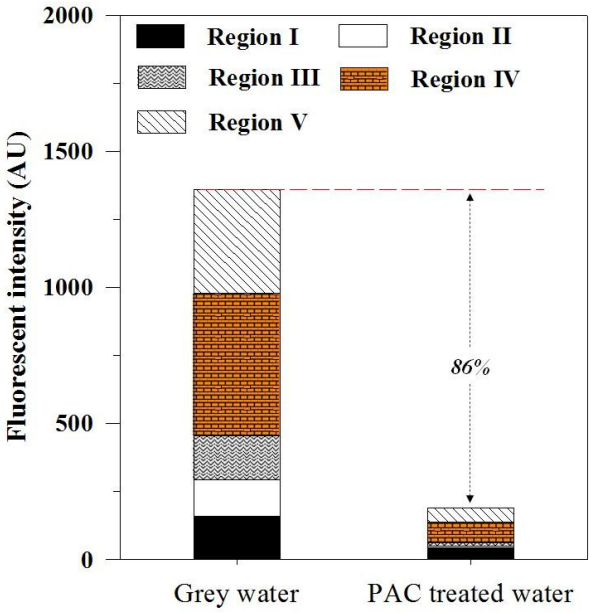
จากผลการคำนวนค่า FI ของน้ำเสียจากการซักล้าง พบว่า ค่า FI มีค่าเท่ากับ 1.88 แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำส่วนใหญ่มาจากภายในและการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งแปรผันตรงกับการตรวจพบของสารอะโรมาติกโปรตีน (Aromatic proteins) ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งผลการศึกษานี้มีความแตกต่างกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ตรวจพบในแหล่งน้ำผิวดิน Phetrak et al. (2016) รายงานว่า สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในแหล่งน้ำผิวดินในเขตร้อนในบริเวณหมู่เกาะ โอกาซาวารา (Ogasawara Islands) ประเทศญี่ปุ่น นั้นมากจากการย่อยสลายของซากพืช ใบไม้ ทำให้มีค่า FI ที่ต่ำ กว่า 1.4

ดังนั้นการตรวจหาปริมาณของปริมาณสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ของแหล่งน้ำด้วยการใช้ค่า FI มีความจำเป็นเพื่อบ่งบอกแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ และยังจะสามารถใช้ในการออกแบบเทคโนโลยีสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ได้อีกด้วย

ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ที่เรืองแสง (Fluorescent DOM) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 6 กรัมต่อลิตร แสดงได้ดังรูปที่ 4.24 และ 4.25 พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์ที่เรืองแสง (Fluorescent DOM) มีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างมากหลังจากใช้ผงถ่านกัมมันต์ 6 กรัมต่อลิตร โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยของการบำบัดสารอินทรีย์ดังกล่าว มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 86 ซึ่งมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพของสารอินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตรได้ (รูปที่ 4.21และ 4.22) แสดงให้เห็นว่า สารอินทรีย์ประเภทอะโรมาติกโปรตีน (Aromatic proteins) ซึ่งพบได้ในน้ำเสียจากการซักล้าง ถูกบำบัดอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาของ Ittisupornrat et al (2019) ใช้ผงถ่านกัมมันต์ที่ติดตรึงด้วยอนุภาคเหล็กสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน (Effluent of membrane bioreactor) พบว่า ผงถ่านกัมมันต์ที่ติดตรึงด้วยอนุภาคเหล็กขาดประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ประเภทอะโรมาติกโปรตีน (Aromatic proteins) แต่สามารถบำบัดสารอินทรีย์ประเภทฮิวมิคและฟลูวิคได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาจเป็นเพราะ อนุภาคเหล็กที่ติดตรึงผงถ่านกัมมันต์นั้น ส่งเสริมให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสาอินทรีย์ประเภทฮิวมิคและฟลูวิค ดังนั้นความแตกต่างของคุณลักษณะของวัสดุที่นำใช้ดูดซับและความแตกต่างของคุณลักษณะและปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างอาจจะเป็นปัจจัยหลักที่ส่งให้มีความแตกต่างของการบำบัดคุณลักษณะของสารอินทรีย์ ดังนั้น การวิเคราะห์คุณลักษณะของสารอินทรีย์ก่อนและหลังการบำบัดจึงมีความสำคัญ เพื่อใช้ในการออกแบบ ค้นหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำให้มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4. 24 สเปกตรัมฟลูออเรสเซนต์ของ (A) น้ำเสียจากการซักล้าง และ(B)น้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้น 6 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4. 25 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นสารอินทรีย์ที่สามารถเรืองแสง (Fluorescent DOM) ก่อนและหลังบำบัดด้วยปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 6 กรัมต่อลิตร

หมายเหตุ: Region I (Ex/Em: 220–270/280–330) and region II (Ex/Em: 220–270/330– 380) corresponded to aromatic proteins such as tyrosine- and tryptophan-related compounds, respectively. Region III (Ex/Em: 220–270/380–550), region IV (Ex/Em: 270– 440/280–380), and region V (Ex/Em: 270–440/380–550) corresponded to fulvic acid-like compounds, soluble microbial products (SMPs) and humic acid-like compounds, respectively.(Phetrak et al., 2014)

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

- ระบบ MBR มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ ตะกอนแขวนลอย แอมโมเนีย และดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรคได้มากกว่าร้อยละ 90
- น้ำที่ผ่านการบำบัดสามารถนำไปใช้ในชักโครก ในกิจกรรมภาคชุมชน และนำไปใช้ในการปลูกพืช ได้แก่ พืชกินใบ (ผักสลัด) และผลไม้ (เมล่อน) ในกิจกรรมภาคการเกษตร โดยไม่มีความเสี่ยงเนื่องมาจากการสัมผัสสารเคมีจากสารซักล้างและเชื้อก่อโรค
- ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญกับการผ่านการรับรองมาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 รองลงมาคือ การปราศจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อก่อโรค โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 และการปราศจากสารเคมีตกค้างเป็นลำดับถัดมา โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47
- กิจกรรมการนำน้ำหลังการบำบัดไปใช้มีผลต่อการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัดของประชาชน โดยระดับการสัมผัสกับน้ำระหว่างทำกิจกรรมมีผลอย่างมากต่อการยอมรับการใช้น้ำหลังการบำบัด ทั้งนี้การใช้น้ำหลังการบำบัดเพื่อการเกษตร ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่อายุการปลูกสั้นกว่า จะได้รับการยอมรับมากกว่า เนื่องมาจากความกังวลเรื่องการสะสมของสารพิษในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร
- ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 6 กรัมต่อลิตร สามารถบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากการซักล้างอย่างมีประสิทธิภาพ ร้อยละ 88 จากการที่สารอินทรีย์สามารถดูดกลืนแสงที่ 254 นาโนเมตรและ ถูกบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบและไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณสารอินทรีย์ที่เรืองแสง (Fluorescent DOM) มีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างมากหลังจากใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับ โดยพบว่า สารอินทรีย์ประเภทอะโรมาติกโปรตีน (Aromatic proteins) ซึ่งส่วนใหญ่พบในน้ำเสียจากการซักล้างสามารถบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยผงถ่านกัมมันต์ถึงร้อยละ 86

ข้อเสนอแนะ

- ผลการทดสอบสังคมจุลินทรีย์จากมีเดียที่ทดสอบน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR พบเชื้อแบคทีเรียใน Class Alphaproteobacteria และ Betaproteobacteria ซึ่งเป็น Sphingomonadales และ Burkholderiales ถึงร้อยละ 43.8 และ 12.4 ตามลำดับ ทำให้มีความเป็นไปได้ว่า แบคทีเรียสามารถ regrowth ได้จากน้ำที่ผ่านการบำบัด แม้จะไม่ได้เป็นตัวบ่งชี้ถึงดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค แต่หากมีการนำไปใช้ในการอุปโภคหรือบริโภค ควรที่จะมีกระบวนการของการฆ่าเชื้อก่อนที่จะนำไปใช้ด้วย
- ระบบ MBR มีประสิทธิภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้เป็นอย่างดี ซึ่งระบบที่ทำการศึกษาวิจัยนี้ สามารถรองรับน้ำเสียได้ 10 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง หากต้องการรองรับน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากศักยภาพของระบบที่ติดตั้งและคุณลักษณะของน้ำเสียจากการซักล้างนี้ ระบบ MBR ที่ติดตั้ง สามารถที่จะรองรับน้ำเสียได้เพิ่มขึ้นเป็น 20 ลูกบาศก์เมตร/วันได้ โดยลดระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เป็น 6 ชั่วโมง เพียงแค่เพิ่มชุดเมมเบรนอีก 1 ชุด เข้าไปในระบบเดิม

เอกสารอ้างอิง

AbuGhunmi, L., Zeeman, G., Fayyad, M., Lier, J.B.v. 2010. Greywater treatment in a series anaerobic—aerobic system for irrigation. Bioresource Technol.101:41–50.

Al-Hamaiedeh, H., & Bino, M. 2010. Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. Desalination, 256(1-3), 115-119.

Akin, E.W. 1981. Paper presented at the US EPA symposium on microbial health considerations of soil disposal of domestic wastewaters.

Artiga, P., Ficara, E., Malpei, F., Garrido, J. M., Mendez, R. 2005. Treatment of two industrial wastewaters in a submerged membrane bioreactor. Desalination 179(1–3): 161–169.

Arros–Alileche, S., Marin, U., Daufin, G., and Gesan–Guiziou, G. 2008. The membrane role in an anaerobic membrane bioreactor for purification of dairy wastewaters: a numerical simulation. Bioresour. Technol. 99(17): 8237–8244.

Atanasova, N., Dalmau, M., Comas, J., Poch, M., Rodirguez-Roda, I., Buttiglieri, G. 2017. Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities. J. Environ. Manag. 193: 503-511.

Atasoy, E., Murat, S., Baban, A., Tiris, M. 2007. Membrane bioreactor (MBR) treatment of segregated household wastewater for reuse, Clean-Soil Air Water 35:465–472.

Baban, A., Murat-Hocaoglu, S., Atasoy, E.A., Gunes, K., Ayaz, S., Regelsberger, M. 2010. Greywater treatment and reuse by using RBC—a kinetic approach. Desalin. Water Treat. 23:89–94.

Bae, T. H., Han, S. S., Tak, T. M. 2003. Membrane sequencing batch reactor system for the treatment of dairy industry wastewater. Process Biochem. 39(2): 221–231.

Bani-Melhem, K., & Smith, E. 2012. Grey water treatment by a continuous process of an electrocoagulation unit and a submerged membrane bioreactor system. Chemical Engineering Journal, 198, 201-210.

Boonyaroj, V., Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., and Yamamoto, K. 2011. Removal of emerging micropollutants from landfill leachate in membrane bioreactor. Proceeding of the 12th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece, 8–10 September 2011. A222–A229.

Castillo, S., Zapica, A., Doubroving, N., Lafforgue, C., and Fonade, C. 2007. Study of a compact bioreactor for the in–line treatment of dairy wastewaters: case of effluents produced on breeding farms. Desalination 214: 49–61.

Chin, W.H., Roddick, F.A., Harris, J.L. 2010. Greywater treatment by UVC/H2O2, Water Res. 43:3940–3947.

Couch, R.B., Cate, T., Gerone, P., Fleet, W., Lang, D., Griffith, W. and Knight, V. 1965. Production of illness with a small-particle aerosol of Coxsackie A21. Journal of Clinical Investigation 44(4), 535–542.

Couch, R.B., Cate, T.R., Gerone, P.J., Fleet, W.F., Lang, D.J., Griffith, W.R. and Knight, V. 1966. Production of illness with a small-particle aerosol of Adenovirus type 4. Bacteriology Reviews 30, 517–528.

Dupont, H., Chappell, C., Sterling, C., Okhuysen, P., Rose, J. and Jakubowski, W. 1995. Infectivity of Cryptosporidium parvum in healthy volunteers. New England Journal of Medicine 332(13), 855–859.

Eriksson, E., Auffarth, K., Eilersen, A-M., Henze, M. & Ledin, A. 2003 Household chemicals and personal care products as sources for xenobiotic organic compounds in grey wastewater. Water SA 29(2), 135–146.

Friedler, E.& Hadari,M. 2006 Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-story buildings. Desalination 190(1–3), 221–234.

Gerba, C.P., Rose, J.B. and Haas, C.N. 1996. Sensitive populations: Who is at the greatest risk? Int. J. Food Microbiol. 301, 113–123.

Haas, C.N., and J.N.S. Eisenberg. 2001. Risk assessment. In Water Quality: Guidelines, Standards and Health, L. Fewtrell and J. Bartram (Eds). WHO by IWA Publishing (ISBN:924154533X), 161–193.

Haas, C.N., Rose, J.B., Gerba, C. and Regli, S. 1993. Risk assessment of virus in drinking water. Risk Analysis 13(5), 545–552.

Haas, C.N., Rose, J.B. and Gerba, C.P. 1999. Quantitative Microbial Risk Assessment, Wiley, New York.

Hornick, R.B., Woodward, T.E., McCrumb, F.R., Dawkin, A.T., Snyder, M.J., Bulkeley, J.T., Macorra, F.D.L. and Corozza, F.A. 1966. Study of induced typhoid fever in man. Evaluation of vaccine effectiveness. Transactions of the Association of American Physicians 79, 361–367.

Ittisupornrat, S., Phihusut, D., Kitkaew, D., Sangkarak, S., & Phetrak, A. 2019. Performance of dissolved organic matter removal from membrane bioreactor effluent by magnetic powdered activated carbon. Journal of environmental management, 248, 109314.

Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., Judd, S. 2004. Greywater characterization and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. WaterSci.Technol. 50:157–164.

Jiawkok, S., Ittisupornrat, S., Charudacha, J., Nakajima, J. 2013. The potential for decentralized reclamation and reuse of household greywater in peri-urban areas of Bangkok. Water and Environ. J. 27(2): 229-237.

Jiawkok, S., and J., Nakajima, J. 2012. Estimation of surfactants discharge loading by domestic detergent use in Thailand. J. Water and Environ. Technol. 10(4): 419-426.

Kadewa, W.W., LeCorre, K., Pidou, M., Jeffrey, P.J., Jefferson, B. 2010. Comparison of grey water treatment performance by a cascading sand filter and a constructed wetland. Water Sci.Technol. 62:1471–1478.

Khan, M. M. T., Lewandowski, Z., Takizawa, S., Yamada, K., Katayama, H., Yamamoto, K., & Ohgaki, S. 2009. Continuous and efficient removal of THMs from river water using MF membrane combined with high dose of PAC. Desalination, 249(2), 713-720.

Kitkaew, D., Phetrak, A., Ampawong, S., Mingkhwan, R., Phihusut, D., Okanurak, K., & Polprasert, C. 2018. Fast and Efficient Removal of Hexavalent Chromium from Water by Iron Oxide Particles. Environment and Natural Resources Journal, 16(1), 91-100.

Lesjean, B., Gnirss, R. 2006. Greywater treatment with a membrane bioreactor operated at low SRT and low HRT. Desalination, 199:432–434.

Li, F., Behrendt, J., Wichmann, K., Otterpohl, R. 2008. Resources and nutrients-oriented greywater treatment for non-potable reuses. Water Sci. Technol. 51(12): 1901-1907.

Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R. 2009. Review of the technological approaches for greywater treatment and reuses. Sci.Total Environ. 407:3439–3449.

Liu, H., Liu, W., Zhang, J., Zhang, C., Ren, L., & Li, Y. 2011. Removal of cephalexin from aqueous solutions by original and Cu (II)/Fe (III) impregnated activated carbons developed from lotus stalks Kinetics and equilibrium studies. Journal of hazardous materials, 185(2-3), 1528-1535.

Liu, H., Huang, H., Chen, L., Wen, x., Qian, Y. 2005. Operational performance of a submerged membrane bioreactor for reclamation of bath wastewater. Process Biochem, 40(1): 125-130.

McKnight, D. M., Boyer, E. W., Westerhoff, P. K., Doran, P. T., Kulbe, T., & Andersen, D. T. 2001. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity. Limnology and Oceanography, 46(1), 38-48.

Medema, G.J., Teunis, P.F.M., Havelaar, A.H. and Haas, C.N. 1996. Assessment of the dose–response relationship of Campylobacter jejuni. International Journal of Food Microbiology 39, 101–112.

Merz, C., Scheumann, R., ElHamouri, B., Kraume, M. 2007. Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater froma sports and leisure club. Desalination, 215: 37–43.

Minor, T.E., Allen, C.I., Tsiatis, A.A. Nelson, D.D. and D'Alessio, D.J. (1981) Human infective dose determination for oral Poliovirus type 1 vaccine in infants. Journal of Clinical Microbiology 13, 388.

National Academy of Science. (1983) Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. National Academy Press, Washington, DC.

Oh, H. K., Takizawa, S., Ohgaki, S., Katayama, H., Oguma, K., & Yu, M. J. 2007. Removal of organics and viruses using hybrid ceramic MF system without draining PAC. Desalination, 202(1-3), 191-198.

Phetrak, A., Lohwacharin, J., Sakai, H., Murakami, M., Oguma, K., & Takizawa, S. 2014. Simultaneous removal of dissolved organic matter and bromide from drinking water source by anion exchange resins for controlling disinfection by-products. Journal of Environmental Sciences, 26(6), 1294-1300.

Phetrak, A., Lohwacharin, J., & Takizawa, S. 2016. Analysis of trihalomethane precursor removal from sub-tropical reservoir waters by a magnetic ion exchange resin using a combined method of chloride concentration variation and surrogate organic molecules. Science of the Total Environment, 539, 165-174.

Ravindran, V., Tsai, H.H., Williams, M.D., Pirbazari, M. 2009. Hybrid membrane bioreactor technology for small water treatment utilities: process evaluation and primordialconsiderations. J. Membr. Sci. 344: 39–54.

Rendtorff, R. C. 1954. The experimental transmission of human intestinal protozoan parasites. I. Endamoeba coli cysts given in capsules. American Journal of Hygiene 59, 196–208.

Rose, J. B., Haas, C.N. and Regli, S. 1991. Risk assessment and the control of waterborne giardiasis. American Journal of Public Health 81, 709–713.

Sanchez, M., Rivero, M.J., Ortiz, I. 2010. Photocatalytic oxidation of greywater over titanium dioxide suspensions. Desalination 262:141–146.

Santasmasas, C., Rovira, M., Clarens, F., & Valderrama, C. 2013. Grey water reclamation by decentralized MBR prototype. Resources, conservation and recycling, 72, 102-107.

Santos, C., Taveira-Pinto, F., Cheng, C. Y., & Leite, D. 2012. Development of an experimental system for greywater reuse. Desalination, 285, 301-305.

Steyn, M., Jagals, P., and Genthe, B. 2004. Assessment of microbial infection risks posed by ingestion of water during domestic water use and full-contact recreation in a mid-southern African Region. Water Sci. Technol. 50:301-308.

Suptel, E.A. 1963. Pathogenesis of experimental Coxsackie virus infection. Archives of Virology 7, 61–66.

U.S. EPA. 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part A). EPA/540/1-89/002, Washington, DC.

Visvanathan, C., Choudhary, M. K., Montalbo, M. T., and Jegatheesan, V. 2007. Landfill leachate treatment using thermophilic membrane bioreactor. Desalination 204: 8–16.

Wach, G., Nolde, E., Atasoy, E. 2008. Sustainable water management technologies in Turkey—a seminar in Gebze, Zer0-MJ.2: 40–43.

Ward, R.L., Bernstein, D.L., Young, E.C., Sherwood, J.R., Knowlton, D.R. and Schiff, G.M. 1986. human rotavirus studies in volunteers: Determination of infectious dose and serological responses to infection. Journal of Infectious Diseases 154(5), 871.

Winward, G. P., Avery, L. M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., & Jefferson, B. 2008. A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. Ecological engineering, 32(2), 187-197.

Zanetti, F., DeLuca, G., Sacchetti, R. 2010. Performance of a full-scale membrane bioreactor system in treating municipal wastewater for reuse purposes. Bioresource Technol. 101:3768–3771.

Zhang, Y., Tang, F., Li, D., Li, Y., Chen, W., Yang, M. 2013. Chapter 6: Role of water reuse for Tianjin, a megacity suffering from serious water shortage, in Milestones in Water Reuse: The best success stories. Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A., Anderson, J. Eds.

กรมควบคุมมลพิษ. 2555. คู่มือการจัดการน้ำเสียสำหรับบ้านเรือน. 29 หน้า.

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. 2556. โครงการจัดทำแนวทางการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในประเทศไทย. 286 หน้า.

ภาคผนวกที่ 1 ชุดแบบสอบถามความเห็นและความพึงพอใจในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ( ) ที่เป็นจริงเกี่ยวกับตัวท่านเองหน้าข้อความต่อไปนี้

1. เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง

2. อายุ

( ) 18 – 19 ปี ( ) 20 – 25 ปี ( ) 26 –29 ปี

( ) 30 - 35 ปี ( ) 36 – 39 ปี ( ) 40 – 45 ปี

( ) 46 – 49 ปี ( ) 50 – 55 ปี ( ) 56 – 60 ปี

( ) สูงกว่า 60 ปี

3. อาชีพ

( ) นิสิต (ทำข้อ 4 -6) ( ) บุคลากรของ มศว (ทำข้อ 7 -12) ( ) บุคคลทั่วไป (ทำข้อ 13 -16)

สำหรับนิสิต

4. คณะ / วิทยาลัย

( ) วิทยาศาสตร์ - เทคโนโลยี ( ) การแพทย์ - สาธารณสุข ( ) ศึกษาทั่วไป

5. ระดับการศึกษา

( ) ปริญญาตรี ( ) ปริญญาโท ( ) ปริญญาเอก

6. ชั้นปี (สำหรับนิสิตปริญญาตรี)

( ) ปี 1 ( ) ปี 2 ( ) ปี 3

( ) ปี 4 ( ) มากกว่าปี 4

สำหรับบุคลากรของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

7. สายการปฏิบัติงาน

( ) บุคลากรสายวิชาการ ( ) บุคลากรสายสนับสนุน

8. คณะ / วิทยาลัย / หน่วยงาน

( ) วิทยาศาสตร์ - เทคโนโลยี ( ) การแพทย์ - สาธารณสุข

( ) ศึกษาทั่วไป ( ) อื่นๆ ระบุ

9. ระยะที่เวลาทำงานในหน่วยงานของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

( ) 0-1 ปี ( ) 2-5 ปี ( ) 6-10 ปี

( ) มากกว่า 10 ปี

10. ที่พักอาศัย

( ) ภายในมหาวิทยาลัย ( ) ภายนอกมหาวิทยาลัย

11. สถานะครอบครัว

( ) โสด ( ) สมรส ( ) หย่าร้าง

<u>สำหรับบุคคลทั่วไป</u>

12. อาชีพ

( ) ข้าราชการ พนักงาน ลูกจ้างของรัฐ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ
( ) พนักงาน/ลูกจ้างเอกชน <u>รายเดือน</u>
( ) พนักงาน/ลูกจ้างเอกชน <u>รายวัน</u>
( ) ค้าขาย/ประกอบธุรกิจส่วนตัว
( ) รับจ้างทั่วไป
( ) เกษตรกร
( ) แม่บ้าน/พ่อบ้าน
( ) นักเรียน/นักศึกษา
( ) รับจ้างทั่วไป
( ) ขับรถรับจ้าง (มอเตอร์ไซด์รับจ้าง รถตู้ แท็กซี่)
( ) กรรมกร
( ) อื่นๆ : .....

13. ความถี่ของท่านในการเดินทางเข้ามาในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

( ) ทุกวัน
( ) สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
( ) สัปดาห์ละ 3-4 ครั้ง
( ) เดือนละ 1-2 ครั้ง
( ) แล้วแต่โอกาส

14. สถานะครอบครัว

( ) โสด ( ) สมรส ( ) หย่าร้าง

ตอนที่ 2 การรับรู้ของประชาชนเรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

1. ท่านทราบเกี่ยวกับสถานการณ์น้ำเสียในพื้นที่มากน้อยเพียงใด

( ) ทราบเป็นอย่างดี ( ) รับทราบมาเล็กน้อย ( ) ไม่ทราบเลย

2. ท่านมีการพูดคุยเกี่ยวกับ สถานการณ์น้ำเสียของมหาวิทยาลัย กับบุคคลรอบข้างบ่อยเพียงใด

( ) บ่อยครั้ง ( ) นานๆ ครั้ง ( ) ไม่เคยเลย

3. ท่านมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสีย มากน้อยเพียงใด

( ) มาก ( ) ปานกลาง ( ) น้อย

4. ท่านรู้จักการบำบัดน้ำเสียเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ หรือไม่

( ) รู้จักเป็นอย่างดี ( ) เคยได้ยินมาเล็กน้อย ( ) ไม่รู้จักเลย

5. ท่านเคยพบเห็นการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ หรือไม่

( ) เคย ระบุสถานที่ (สามารถเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)
( ) บ้านเรือน
( ) สถานศึกษา
( ) ห้างสรรพสินค้า
( ) อาคารสำนักงาน
( ) สถานที่ราชการ
( ) โรงแรม
( ) อื่นๆ (ระบุ)
( ) ไม่เคยเลย

6. .โปรดระบุว่าท่านทราบคำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ต่อไปนี้มากน้อยเพียงใด

คำศัพท์เกี่ยวกับน้ำเสีย และการบำบัดน้ำเสีย	ระดับการรับรู้		
	ทราบความหมาย (3)	เคยได้ยิน แต่ไม่ทราบความหมาย (2)	ไม่เคยได้ยิน มาก่อน (1)
1. น้ำเสีย (Wastewater)			
2. น้ำเกรย์ (Greywater)			
3. น้ำโสโครก (Sewage)			
4. การบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (WastewaterReuse)			
5. การบำบัดน้ำเสียแบบติดที่ (On-site Treatment)			
6. กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (Advanced Wastewater Treatment)			
7. มาตรฐานน้ำทิ้ง (Effluent Standards)			

ตอนที่ 3ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสำหรับกิจกรรมต่างๆมากน้อยเพียงใด

ปัจจัยต่อการเลือกใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด สำหรับกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน	ระดับความคิดเห็น				
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
1. แหล่งที่มาของน้ำเสีย					
2. หน่วยงานที่รับผิดชอบการบำบัด (ผู้ผลิต)					
3. กระบวนการบำบัดน้ำเสีย					
4. ลักษณะทางกายภาพ (สี / กลิ่น / รส)					
5. ปราศจากสารเคมีตกค้าง					
6. ปราศจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ และเชื้อก่อโรค					
7. ผ่านการรับรองมาตรฐาน					
8. กิจกรรมที่นำน้ำไปใช้ประโยชน์					
9. ราคา					

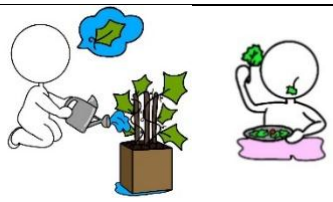
ตอนที่ 4 การยอมรับการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประกอบกิจกรรมในชีวิตประจำวัน

1. ท่านยอมรับ**<u>แหล่งกำเนิดของน้ำเสียก่อนการบำบัด</u>**เพื่อการนำน้ำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันมากเพียงใด (กรณีไม่มีความคิดเห็นให้เว้นว่างไว้)

แหล่งกำเนิดของน้ำเสีย	**ระดับการยอมรับ**				
	ยอมรับมาก	**ยอมรับ**	**เฉยๆ**	**ไม่ยอมรับ**	**ไม่ยอมรับเด็ดขาด**
	(5)	**(4)**	**(3)**	**(2)**	**(1)**
แหล่งกำเนิดน้ำเสียโดยตรง (แบ่งเป็น 4 แหล่ง)					
1. น้ำจากชักโครก					
2. น้ำจากการชำระล้างร่างกาย / อ่างล้างมือ					
3. น้ำจากการประกอบอาหาร (ห้องครัว)					
4. น้ำซักผ้า					
แหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับน้ำเสีย					
5. แม่น้ำ / ลำคลอง/ บ่อดิน					

2. ท่านยอมรับ**<u>การนำน้ำเสียหลังการบำบัดมาใช้ในกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน</u>**มากน้อยเพียงใด (กรณีไม่มีความคิดเห็นให้เว้นว่างไว้)

การนำน้ำเสียหลังการบำบัดมาใช้ในกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน		**ระดับการยอมรับ**				
		ยอมรับมาก (5)	**ยอมรับ (4)**	**เฉยๆ (3)**	**ไม่ยอมรับ (2)**	**ไม่ยอมรับเด็ดขาด (1)**
1.	ใช้สำหรับดื่มน้ำ					
2.	ใช้ประกอบอาหาร					
3.	ใช้ชำระล้างร่างกาย					

4.	ใช้ซักผ้า					
5.	ใช้ฟลัดซักโครก					
6.	ใช้ทำความสะอาดพื้น					
7.	ใช้ล้างรถยนต์					
8. 	ใช้รดน้ำผักสดกินใบ					
9.	ใช้รดน้ำพืชกินส่วนหัว (หัวอยู่ใต้ดิน)					
10.	ใช้รดน้ำพืชดอก					

11.	ใช้สำรองเพื่อการดับเพลิง					
12.	ใช้ตกแต่งสวนสาธารณะ					
13.	ใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ					

ตอนที่ 5 แบบสอบถามเกี่ยวกับทัศนคติต่อการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ ((Wastewater Reuse)

คำแนะนำ: ท่านมีความคิดเห็นต่อข้อความนี้อย่างไร กรุณาตอบแบบสอบถาม โดยเลือกคำตอบตามลำดับความสำคัญที่ตรงกับความเห็นของท่าน

ทัศนคติ	ระดับความคิดเห็น				
	เห็นด้วยที่สุด (5)	เห็นด้วย (4)	เฉยๆ (3)	ไม่เห็นด้วย (2)	ไม่เห็นด้วยที่สุด (1)
1. น้ำเสีย ควรได้รับการบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ					
2. ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรที่องค์กรของท่าน มีการดำเนินการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ					
3. ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรที่องค์กรของท่านมีการสนันสนุนและให้ความสำคัญการบำบัดน้ำเสียเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่					
4. ท่านคิดว่าการใช้น้ำเสียที่บำบัดแล้ว (Wastewater Reuse) เป็นการส่งเสริมการใช้ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน					
5. แหล่งที่มาของน้ำเสียมีผลต่อการเลือกใช้น้ำเสียหลังการบำบัดมากที่สุด					
6. ท่านคิดว่า ควรคัดแยกน้ำเสียตามแหล่งกำเนิด (เช่น ส้วม น้ำอาบ น้ำซักผ้า น้ำล้างจาน ฯลฯ) ก่อนการบำบัด					

ทัศนคติ	ระดับความคิดเห็น				
	เห็นด้วยที่สุด (5)	เห็นด้วย (4)	เฉยๆ (3)	ไม่เห็นด้วย (2)	ไม่เห็นด้วยที่สุด (1)
7. ท่านคิดว่า องค์กรของท่านสามารถบำบัดน้ำเสียเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Wastewater Reuse) ให้มีคุณภาพสูง และปลอดภัย					
8. ท่านคิดว่าเทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีเทียบเท่ามาตรฐาน**น้ำประปา**ได้					
9. ท่านคิดว่าเทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีเทียบเท่ามาตรฐาน**น้ำดื่ม**ได้					
10. ท่านพิจารณาคุณภาพของน้ำเสียที่บำบัดแล้ว (Wastewater Reuse) จากการรับรองมาตรฐาน					
11. ท่านคิดว่าการใช้น้ำเสียที่บำบัดแล้ว (Wastewater Reuse)มีคุณค่าทางการเงิน และสามารถสร้างกำไรได้ในอนาคต					
12. ท่านคิดว่าราคาสำหรับWastewater Reuse ควรเป็นไปตามวิธีการบำบัดและการขนส่ง					
13. ท่านยินดีที่จะจ่ายในราคาที่สูงขึ้นสำหรับน้ำดื่ม น้ำใช้ ที่มีคุณภาพ					

1. การพัฒนาถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกิจกรรมของภาคชุมชนและเกษตรกรรม

การพัฒนาถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกิจกรรมของภาคชุมชนและภาคเกษตรกรรม

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
26 สิงหาคม 2562

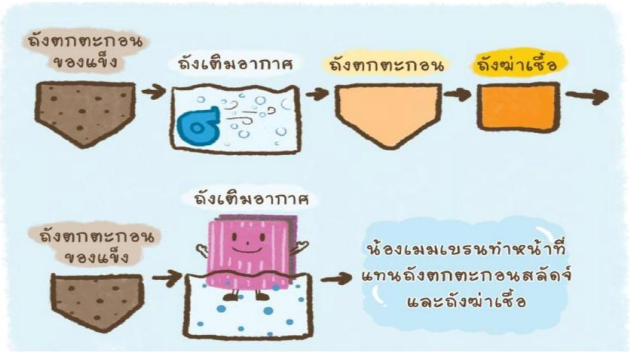
1

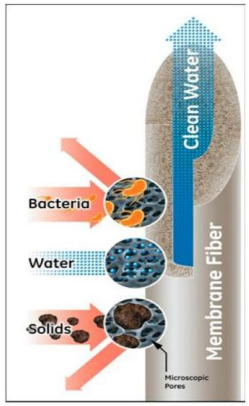
ปัญหาวิกฤตด้านน้ำ

1.7 พันล้านคนจาก 17 ประเทศที่ถูกจัดว่าอยู่ในที่ที่ทรัพยากรน้ำจำกัดอย่าง "รุนแรง" จาก BBC news

2

คุณลักษณะของระบบ MBR (Membrane bioreactor) และระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge)





http://www.foresterpress.comow_0707_well.html

คุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง และระบบ MBR

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ตะกอนเร่ง	MBR
บีโอดี (มก./ล)	5-50	<3
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ล)	1-10	0.1
ไนโตรเจนทั้งหมด (มก./ล)	10-18	< 5
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล)	1-3	< 0.1
ตะกอนแขวนลอย (มก./ล)	10-50	< 1
ความขุ่น (NTU)	>3	< 0.5
โคลิฟอร์ม (CFU/100 มล)	> 1,000,000	< 50
ฟีคอล โคลิฟอร์ม (CFU/100 มล)	> 200,000	< 10
ไข่พยาธิ (/1000mL)	> 20	absent

(Melin et al., 2006)

4

น้ำเสียที่เกิดขึ้นในที่พักอาศัย

- น้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน ร้อยละ 80
- ปริมาณน้ำเสียรวมที่เกิดขึ้นจากบ้านเรือน
  - 150 ลิตร/คน/วัน
- น้ำเสียที่มาจากกิจกรรมต่างๆ ยกเว้นน้ำเสียจากส้วม
  - 130 ลิตร/คน/วัน

วัตถุประสงค์

1. พัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน
2. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารปนเปื้อนจากน้ำเสียที่ได้จากการซักล้าง
3. ทดสอบรูปแบบระบบการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับภาคชุมชน และเกษตรกรรม

6

กรอบแนวคิดของโครงการ

น้ำเสียทั่วไปที่ไม่ได้มาจากส้วม (greywater)

- สารอินทรีย์
- เชื้อโรค
- สารลดแรงตึงผิว

(anionic surfactants)

ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน (membrane bioreactor)

- ประสิทธิภาพระบบ
- อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์

(organic loading rate)

การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (water reuse) สำหรับภาคชุมชน

ทางการเกษตร

- ผลผลิตพืช
- การปนเปื้อนทางด้านเชื้อโรค

การนำไปใช้ในชักโครก

- คุณภาพน้ำที่ใช้
- ความเสี่ยงทางด้านเชื้อโรค

เกณฑ์ข้อแนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับการใช้ภายในบ้านและการเกษตร

7

พื้นที่ศึกษา หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

การเดินท่อรวบรวมน้ำเสียจากการซักล้าง (greywater)

- ตึก 8 ชั้น จำนวน 52 ห้อง
- เครื่องซักผ้ารับน้ำเฉลี่ย 250 ลิตร/วัน

พื้นที่ติดตั้งระบบ

น้ำจากการซักผ้า

การเดินท่อน้ำเสีย

องค์ประกอบระบบ MBR

ระบบMBR

เมมเบรนแบบเส้นใย

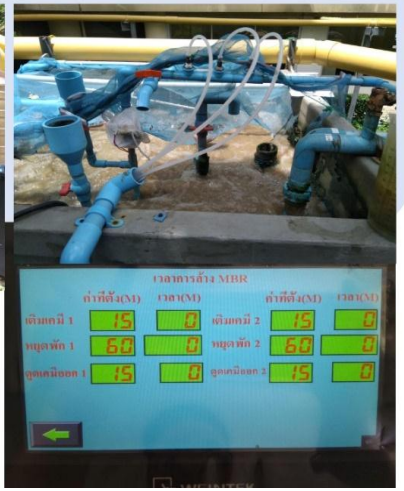
องค์ประกอบหลักของระบบ

- ถังไฟเบอร์กลาส ขนาด 1.5x1.5x2.2 เมตร
- เมมเบรนแบบเส้นใย ขนาดรูพรุน 0.1 ไมครอน
- ปั๊มเติมอากาศ ขนาด 500 ลิตร/นาที
- ปั๊มสูบน้ำเสีย ขนาด 100 ลิตร/นาที
- ปั๊มดูดน้ำบำบัด ขนาด 100 ลิตร/นาที

Product Name			POREFLON™ Membrane Module SPMW-12B6
Filtration			Submerged suction filtration (Out to In)
Nominal Pore Size		(μm)	0.1
Membrane Area		(m^2)	6
Dimension			154 mm * 164 mm * 1300 mm
Weight	Dry	(kg)	4.5
	Wet	(kg)	8
Material	Hollow Fiber		PTFE treated with hydrophilic polymer
	Potting		Polyurethane resin / Epoxy resin
	Cap		ABS resin

การควบคุมการทำงานระบบ MBR

ระบบล้างเมมเบรนอัตโนมัติ

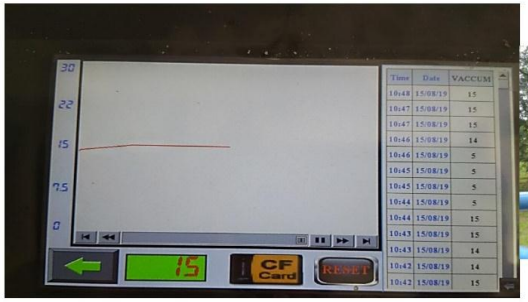


น้ำยาล้างเมมเบรน ทุก 2 สัปดาห์

- $NaClO_4$ 0.1% + NaOH 0.01%
- HCl 0.3%
- น้ำเจือจางใช้น้ำบำบัด

การตรวจสอบการอุดตันของระบบ MBR

- Transmembrane Pressure (TMP) ค่าเฉลี่ย = 8.1 ± 1.0 kPa
- การวัดอัตราการไหลของน้ำ

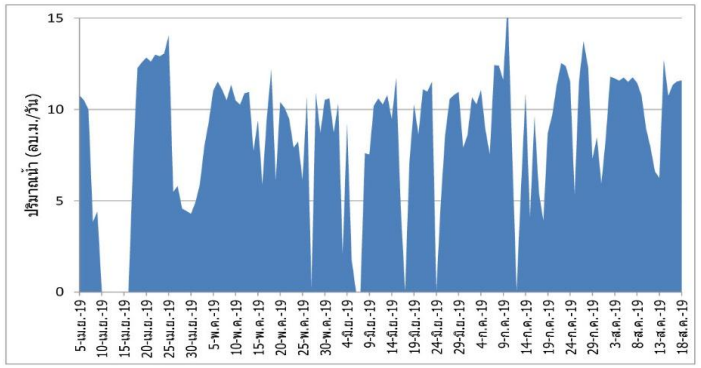


การเดินระบบ MBR

- ออกซิเจนละลายน้ำ 6.4 ± 1.4 มก./ล.
- ความเป็นกรด-ด่าง 7.1 ± 0.3
- อุณหภูมิ 30.2 ± 1.4 °C

- รับน้ำเสียเฉลี่ย 9.0 ± 3.3 ลบ.ม./วัน
- อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 1.13 – 1.54 กก.ซีโอดี/วัน
- ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง
- ความเข้มข้นของตะกอนสลัดจ์ 2.6 กรัม/ลิตร

อัตราการรับน้ำเสีย : ค่าเฉลี่ย 9.0 ± 3.3 ลบ.ม./วัน

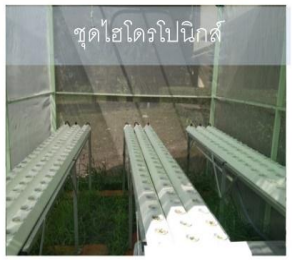


การทดสอบประสิทธิภาพระบบ MBR

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	น้ำเสียก่อนเข้าระบบ	น้ำที่ผ่านการบำบัด	ร้อยละการบำบัด (%)
ความเป็นกรด-ด่าง	-	7.0 ± 0.4	7.1 ± 0.4	-
ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	1.1 ± 0.5	6.3 ± 1.3	-
อุณหภูมิ	°C	30.2 ± 1.4	30.6 ± 1.5	-
สารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี	มก./ล.	77.4 ± 18.8	0.8 ± 0.5	99
สารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี	มก./ล.	124.3 ± 34.3	5.0 ± 6.5	96
แอมโมเนีย	มก./ล.	4.9 ± 2.7	0.3 ± 0.7	94
ไนเตรท	มก./ล.	0.2 ± 0.1	5.9 ± 1.3	-
ตะกอนเขวนลอย	มก./ล.	27.9 ± 12.3	0.4 ± 0.8	99
สารที่ละลายน้ำ	มก./ล.	305 ± 114	365 ± 152	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	1.8 ± 0.7	0.6 ± 0.5	67
โคลิฟอร์มทั้งหมด	CFU/100 มล.	$1.3\times10^{7} \pm 1.9\times10^{7}$	378 ± 309	100
อีโคไล	CFU/100 มล.	$2.3\times10^{4} \pm 2.5\times10^{4}$	0	100

(จำนวนตัวอย่าง = 11 ครั้ง)

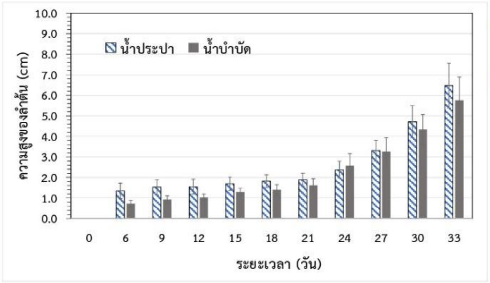
การปลูกผักไร้ดิน

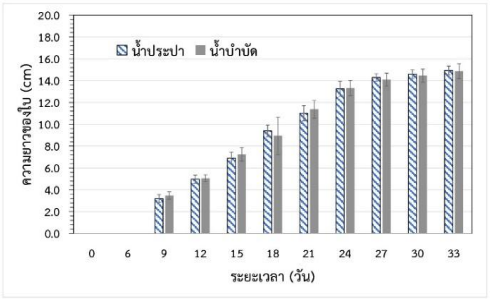


- ❑ น้ำประปา (ซ้าย)
- ❑ น้ำบำบัด (ขวา)
- ❑ ปุ๋ยน้ำ(A,B) ที่ 5 มล./ล.
- ❑ การวัดค่าการนำไฟฟ้า

ไม่ควรเกิน 4 ms/cm

21





ผลการเจริญของผักสลัด

- ❑ ผักบัตเตอร์เฮด ประมาณ 35 วัน
- ✓ ความสูงของลำต้น

น้ำประปา 2.4 ± 0.5 ซม.
น้ำบำบัด 2.1 ± 0.4 ซม.

- ✓ ความยาวของใบ

น้ำประปา 10.3 ± 0.5 ซม.
น้ำบำบัด 10.3 ± 0.7ซม.

- ❑ อุณหภูมิ 32.1^{O}C
- ❑ ความชื้น 60%
- ❑ การทดสอบการเจริญ**ไม่มีความแตกต่างกัน**อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95

22

ค่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อน

❑ **ค่าเฉลี่ยไนเตรท น้ำประปา 581 มก./กก. และน้ำบำบัด 1,356 มก./กก.**

- ระดับความปลอดภัยต่อการบริโภคของสหภาพยุโรปอยู่ที่ ไม่เกิน 3,500 มก./กก. (Chatchada Petpiamsiri, 2561)
- ปริมาณไนเตรทในอาหารที่บริโภคได้ต่อวัน (Acceptable Daily Intake: ADI) ไม่เกิน 3.7 mg/kg น้ำหนักตัว (นฤมล วชิรปัทมา และคณะ, 2554)

หรือระดับไนเตรทที่ 220 มก./วัน สำหรับน้ำหนักตัว 60 กก. สามารถบริโภคได้ 150 กรัม

❑ **ค่าของสารชักล้างในผัก**

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ผักสลัด	
		น้ำประปา	น้ำที่ผ่านการบำบัด
LAS	มก./กก.	2.2 ± 0.3	2.5 ± 1.3
Benzalkonium	มก./กก.	ND	ND
Tergital	มก./กก.	ND	ND
1,4-Dioxane	ไมโครกรัม/กก.	ND	ND
3,4,4'-Trichlorocarbanilide	ไมโครกรัม/กก.	ND	8.9
Triclosan	ไมโครกรัม/กก.	19.2 ± 3.6	17.7 ± 1.2

หมายเหตุ: ND= Not detectable
น้ำประปา n=3, น้ำที่ผ่านการบำบัด n=4

23

การเปรียบเทียบผลและค่าแนะนำในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

ดัชนี	หน่วย	ค่าแนะนำ: รับประทานใบหรือหัว	ค่าที่วัดได้ จากน้ำที่ผ่านการบำบัด
สี	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรดด่าง	-	6-9	6.8
ค่าความนำไฟฟ้า	ไมโครซีเมนส์/ซม.	<2,000	900
ความขุ่น	NTU	<5	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	ไม่กำหนด	ตรวจไม่พบ
บีโอดี	มก./ล.	<10	0.7
ไนเตรทไนโตรเจน	มก./ล.	<10	6.1
คลอรีนอิสระ	มก./ล.	0.7-1.0	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	โคโลนี/100มล.	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ
ไข่พยาธิ	ไข่/ล.	≤1	-

การปลูกเมล่อน

โรงเรือนเมล่อน

- ขนาด 5 ม. X 6 ม. X 2.5 ม.
- ปลูก 54 ต้น
- น้ำประปา (ขวา)
- น้ำบ่อบัด (ซ้าย)

วัสดุที่ใช้ปลูกและปุ๋ย

- ปุ๋ยคอก:กาบมะพร้าว:ขุยมะพร้าว =1:1:3
- ปุ๋ยละลายช้าออสโมโค้ท สูตร 3 และ 6 เดือน อย่างละ 40 กรัม
- ปุ๋ยหวาน 8-24-24 ใช้ 50กรัม/ต้น

การให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด

- ตั้งเวลาทุก 6 ชั่วโมง 4 ครั้งๆละ 400 มิลลิลิตร

การปลูกเมล่อน

การปลูกเมล่อน

เมล่อนอายุ 40 วัน

เมล่อนอายุ 70 วัน

โรคที่เกิดขึ้นระหว่างการปลูกเมล่อน

	โรคใบด่าง	โรคราน้ำค้าง (Downy mildew)	โรคเหี่ยว (Fusarium Wilt)
สาเหตุ	Mosaic Virus	รา *Pseudoperonospora cubersis* (Berk&Curt.)Rost	รา *Fusarium oxysporum f.sp. melonis*
แก้ไข	ถอนทิ้ง	แบคทีเรีย *Bacillus subtilis*	รา *Tricoderma sp.*

การเปรียบเทียบผลและค่าแนะนำในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

ดัชนี	หน่วย	ค่าแนะนำ: รับประทานผลหรือเมล็ด	ค่าที่วัดได้ จากน้ำที่ผ่านการบำบัด
สี	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรดด่าง	-	6-9	6.8
ค่าความนำไฟฟ้า	ไมโครซีเมนส์/ซม.	<2,000	900
ความขุ่น	NTU	<5	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	ไม่กำหนด	ตรวจไม่พบ
บีโอดี	มก./ล.	<20	0.7
ไนเตรทไนโตรเจน	มก./ล.	<35	6.1
คลอรีนอิสระ	มก./ล.	ไม่กำหนด	-
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	โคโลนี/100มล.	<1,000	ตรวจไม่พบ
ไข่พยาธิ	ไข่/ล.	≤1	-

สรุปผลการศึกษา

- ❑ ระบบ MBR มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และสารปนเปื้อนได้ > ร้อยละ 90
- ❑ น้ำที่ผ่านการบำบัดสามารถนำไปใช้ในชักโครก ในกิจกรรมภาคชุมชน
- ❑ น้ำที่ผ่านการบำบัดสามารถนำใช้ในการปลูกพืช ได้แก่ พืชกินใบ (ผักสลัด) และผลไม้ (เมล่อน) ในกิจกรรมภาคการเกษตร

งบประมาณที่ลงทุน

○ **ระบบ MBR = 750,000 บาท**

- ➢ ถังไฟเบอร์กลาส ขนาด 5 ลบม.
- ➢ ปั๊มสูบน้ำเสีย ปั๊มสูบตะกอน ปั๊มสูบน้ำบำบัด ปั๊มเติมอากาศ — **470,000 บาท**
- ➢ ชุดเมมเบรน ขนาด 36 ตรม. กรองน้ำได้ 10 ลบม./วัน = 160,000 บาท
- ➢ ชุดล้างเมมเบรนแบบอัตโนมัติ = 120,000 บาท

○ **โรงเรือนเมล่อนและผักสลัด พร้อมระบบให้น้ำแบบอัตโนมัติ = 130,000 บาท**

- ➢ โรงเรือนเมล่อน ขนาด 30 ตรม.
- ➢ โรงเรือนผักไร้ดิน 6 ตรม.

○ **ระบบการนำไปใช้ในชักโครก = 20,000 บาท**

เมล่อน 50 ลูกๆละ 150 บาท = 7,500 บาท (3 ครั้ง/ปี) และผักสลัด รอบละ 5 กก.ๆละ 100 บาท = 500 บาท (10 ครั้ง/ปี)
รายได้ = (7,500 บาท x 3 ครั้ง/ปี) + (500 บาท x 10 ครั้ง/ปี) = 22,500+5,000 = **27,500 บาท /ปี**
ประหยัดน้ำประปา 3,000 บาท/เดือน หรือ **36,000 บาท/ปี** (10 บาท/ลบ.ม.) รวม **63,500 บาท /ปี**

30

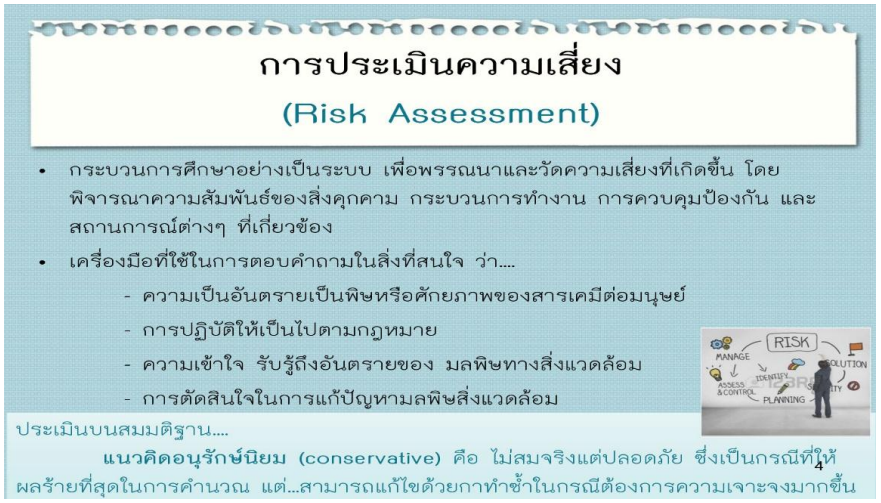
จบการนำเสนอ
Q&A

ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการติดตั้งระบบ อำนวยความสะดวก
และร่วมจัดอบรมเชิงปฏิบัติการฯ

ขอบคุณค่ะ

32

2. การประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในกิจกรรมด้านเกษตรและครัวเรือน



การประเมินความเสี่ยง
(Risk Assessment)

5

fppt.com

การประเมินความเสี่ยง
(Risk Assessment)

ลักษณะการประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative RA)	การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative RA)
❿เครื่องมือที่ใช้: Risk Matrix ❿ตาราง Risk Matrix เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจัดลำดับนัยสำคัญของผลกระทบที่ อาจเกิดขึ้นจากสารเคมีชนิดต่าง	• กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การตรวจวิเคราะห์ วัดค่าตัวแปร • หลักการ เหตุและผล • ใช้ตัวเลขในการอธิบายปรากฏการณ์

Health Risk Assessment
- Chemical Health Risk Assessment
- Microbial Health Risk Assessment

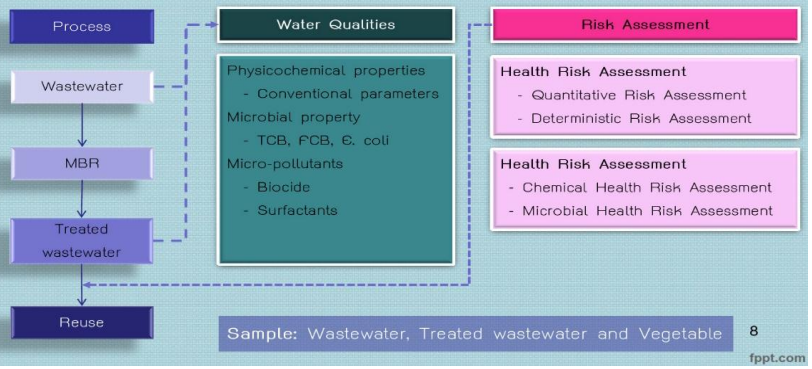
Risk [1]	Risk of Death / Person / Year
Influenza	1 in 5,000
Leukemia	1 in 12,500
Struck by Automobile	1 in 29,000
Floods	1 in 455,000
Tornadoes (Midwest)	1 in 455,000
Earthquakes (California)	1 in 588,000
Nuclear Power Plant	1 in 10 million
Meteorite	1 in 100 billion

[1] United States

6

fppt.com

การประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในกิจกรรมด้านเกษตรและครัวเรือน

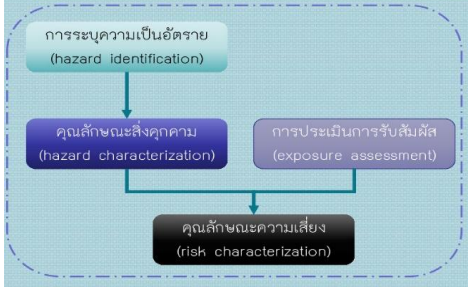


8

fppt.com

กระบวนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ
(Health Risk Assessment)

Health Risk Assessment พัฒนาขึ้นโดย National Academy of Science (1983) & U.S.EPA. (1989) ประกอบด้วย 4 กระบวนการ ดังต่อไปนี้



ระบุประเภทและธรรมชาติของการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ คัดกรอง และจัดลำดับความเป็นอันตราย

อธิบายถึงศักยภาพสิ่งคุกคาม ที่มีโอกาสเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ

ประเมินความเข้มข้น หรือ ปริมาณของสิ่งคุกคามที่มีโอกาสเข้าสู่ร่างกาย

กำหนดความอันตราย และให้ข้อเสนอแนะในการตัดสินใจ

fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

(Chemical Health Risk Assessment)

9

fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

(Chemical Health Risk Assessment)

การระบุความเป็นอัตราย

- ✓ กระบวนการในการระบุสิ่งคุกคามที่จำเพาะเจาะจงกับกรณีที่ทำการประเมิน
- ✓ กำหนดว่าสิ่งคุกคามนั้น มีศักยภาพก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่
- ✓ ถ้าพบว่าสิ่งคุกคามนั้นมีอันตรายจะต้องแสดงให้เห็นว่ามีอันตรายอยู่ในระดับใด

10

fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

การระบุความเป็นอันตราย : hazard identification

- ❑ จากการวิเคราะห์สาร micro-pollutant กลุ่มสารซักล้าง และ สารยับยั้งแบคทีเรีย ในตัวอย่างพบสาร 3 ชนิด คือ Triclosan 3,4,4-Trichlorocarbanilide และ Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS)
- ❑ LAS พบในปริมาณความเข้มข้นสูงที่สุด ในทุกตัวอย่าง
- ❑ เลือกใช้ค่าความเข้มข้นสูงสุด เพราะ ประเมินความเสียงในกรณีที่เกิดผลกระทบมากที่สุด

ความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่เป็นตัวแทนในการศึกษา 6 ชนิด

Micro-pollutants			$C_{i\ max}$ (mg/L, mg/kg)		
Group	Name	Syn.	Wastewater	Treated WW	Vegetable
Biocide	Triclosan	TCC	2.21E-04	4.57E-05	3.71E-01
	3,4,4-Trichlorocarbanilide	TCS	1.13E-04	2.55E-05	1.73E-01
Surfactants	Linear Alkylbenzene Sulfonates	LAS	2.62E-01	2.34E-03	8.19E+01
	n-Dodecyl Sulfonate	SLS	ND	ND	ND
	Benzalkonium Chloride	BAC	ND	ND	ND

11

fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

การระบุความเป็นอันตราย : hazard identification

Micro-pollutants		Classification of the substance or mixture	ข้อมูลความเป็นอันตรายตามระบบ GHS	
Name	Syn.		คำสัญญาณ	ความเป็นอันตราย
Triclosan	TCC	Skin and Eye irritation, Category 2 Hazardous to the aquatic environment Category Acute 1 Category Chronic 1	ระวัง (Warning)	▪ ระคายเคืองต่อดวงตาอย่างรุนแรง ▪ ระคายเคืองต่อผิวหนังมาก ▪ เป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และมีผลกระทบระยะยาว
3,4,4-Trichlorocarbanilide	TCS	Hazardous to the aquatic environment Category Acute 1 Category Chronic 1	ระวัง (Warning)	▪ เป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ▪ เป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และมีผลกระทบระยะยาว
Linear Alkylbenzene Sulfonates	LAS	Acute toxicity - Oral, Category 4 Skin corrosion, Category 1B	อันตราย (Danger)	▪ เป็นอันตราย เมื่อกลืนกินเข้าไป ▪ การกัดกร่อนและการระคายเคืองต่อผิวหนัง

12

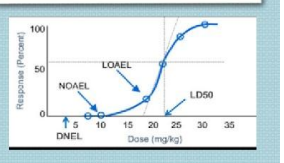
fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

คุณลักษณะสิ่งคุกคาม : hazard characterization

คุณลักษณะสิ่งคุกคาม

การประเมินว่าขนาดของการสัมผัสระดับใดจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากน้อยเท่าใด ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้สามารถทราบถึง ระดับที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ



คุณลักษณะของสารเคมีในการศึกษาครั้งนี้

Micropollutants			Non-carcinogenic	Carcinogenic	LOAEL (mg/kg-day)	RfD (mg/kg-day)
Group	Name	Syn.				
Biocide	Triclosan	TCC	🙂	✖	1.0×10^{1}	4.7×10^{-2}
	3,4,4-Trichlorocarbanilide	TCS	🙂	✖	7.5×10^{1}	2.4×10^{-2}
Surfactants	Linear Alkylbenzene Sulfonates	LAS	🙂	✖	2.5×10^{2}	5.0×10^{-1}
	n-Dodecyl Sulfonate	SLS	NA	NA	NA	NA
	Benzalkonium Chloride	BAC	🙂	✖	5.0×10^{1}	4.4×10^{-1}
	4-Nonylphenol	-	🙂	✖	1.0×10^{2}	1.0×10^{-1}

Remark : LOAEL: The lowest-observed-adverse-effect level
RfD: Reference dose

13

fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

(Chemical Health Risk Assessment)

กระบวนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การระบุความเป็นอันตราย (hazard identification)

คุณลักษณะสิ่งคุกคาม (hazard characterization)

การประเมินการรับสัมผัส (exposure assessment)

คุณลักษณะความเสี่ยง (risk characterization)

การประเมินการรับสัมผัส

การประเมินระดับการสัมผัสที่แต่ละบุคคลได้รับว่ามากน้อยเพียงใด โดยคำนึงถึง

- ขนาดการสัมผัส (dose)
- ระยะเวลาที่สัมผัส (duration)
- ช่องทางการสัมผัส (routes of exposure)
- เส้นทางการฟุ้งกระจายของสิ่งคุกคามจากในสิ่งแวดล้อมผ่านตัวกลาง(medias) มาสู่คนด้วย

14

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

การประเมินการรับสัมผัส : exposure assessment

วิธีการประเมินการรับสัมผัส

วิธีการประเมินความเสี่ยงเป็นไปตามวิธีการของ US-EPA ปี ค.ศ. 1989 โดย

- ❑ ประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Noncarcinogenic risk)
- ❑ การได้รับสารเคมีจาก
  - >> การอุปโภคบริโภคนี่ผ่านการบำบัดโดยระบบ MBR
  - >> การบริโภคผักที่ใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบ MBR เพื่อการชลประทาน
- ❑ เข้าสู่ร่างกายในเส้นทางเดินอาหาร (Ingestion)
- ❑ ค่าตัวแปรต่างๆ ใช้ตามคำแนะนำของ US-EPA (1989)

15

fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

การประเมินการรับสัมผัส : exposure assessment

คำนวณหาความเข้มข้นของสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake) จากการได้รับสารผ่านการกิน (I_{oral}) จากสมการ

$$I_{oral} = \frac{C_i \times IR \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

โดย
- I_{oral} = ปริมาณสารที่ร่างกายได้รับ (mg/kg-weight/day)
- C_i = ความเข้มข้นของสารในน้ำ (mg/l)
- IR = อัตราการรับประทาน (l/day หรือ kg/meal)
- IF = สัดส่วนการดื่มกินเทียบเท่ากับอาหารทั้งหมด
- EF = ความถี่ของการสัมผัส (day/year)
- ED = ระยะเวลาที่สัมผัส (year)
- BW = น้ำหนักของร่างกาย (kg)
- AT = ระยะเวลาเฉลี่ย (day)

16

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

การประเมินการรับสัมผัส : exposure assessment

ค่าคงที่สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นของสารมีที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake)

ตัวแปร	หน่วย	ค่าคงที่
IR	l/day Kg/meal	น้ำดื่ม : 2 L/day (ค่าเฉลี่ยในผู้ใหญ่) ผัก : 0.08 kg/meal (สำหรับพืชใบ)
FI	-	Oral bioavailability: 0.4 (สำหรับเด็ก) และ 0.1 (สำหรับผู้ใหญ่)
EF	day/year Meal/year	น้ำดื่ม : 365 day/year ผัก : 365 day/yr x 3 meal/day
ED	year	70 year (ค่าทั่วไปตลอดอายุไข) 30 year (สำหรับอาศัยอยู่ที่ใดที่หนึ่ง)
BW	kg	70 kg (สำหรับผู้ใหญ่) 29 kg (เด็กอายุ 6-12 ปี) 16 kg (เด็กอายุ 2-6 ปี)
AT	day	กรณีความเป็นอันตรายแบบเรื้อรังจากสารไม่ก่อมะเร็ง = ED x 365 day/year

Remark : ผักสดคิดในรูปน้ำหนักแห้ง
ผักบัตเตอร์เฮดในการศึกษาครั้งนี้ มีความชื้นประมาณ 95% และมีน้ำหนักแห้งประมาณ 5%
ดังนั้น ต้องรับประทานผักสด 1.6 kg. จะมีค่าน้ำหนักแห้ง 0.08 kg.

17
fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

การประเมินการรับสัมผัส : exposure assessment

ผลการคำนวณปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ร่างกาย กรณีสารที่ไม่ก่อมะเร็ง

จากการประเมินในกรณีที่เกิดผลกระทบมากที่สุด (worse case scenario) คือ การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้เพื่อการบริโภค

ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถลดภาระบรรทุกสารเคมีในน้ำ สามารถลดการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม

สารเคมีที่ร่างกายรับเข้าไปมากที่สุด คือ LAS

- กรณีที่ใช้ดื่มที่ผ่านการบำบัด คือ 6.67×10^{-6} mg/kg-day
- กรณีรับประทานผักสด คือ 2.81×10^{-2} mg/kg-day

Micro-pollutants			Intake$_{oral}$ (mg/kg-day)		
Group	Name	Syn.	Wastewater	Treated WW	Vegetable
Biocide	Triclosan	TCC	6.31×10^{-7}	1.30×10^{-7}	1.27×10^{-6}
	3,4,4-Trichlorocarbanilide	TCS	3.24×10^{-7}	7.28×10^{-8}	5.93×10^{-5}
Surfactants	Linear Alkylbenzene Sulfonates	LAS	7.49×10^{-4}	6.67×10^{-6}	2.81×10^{-2}

18
fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

(Chemical Health Risk Assessment)

คุณลักษณะความเสี่ยง

"ค่าการรับสัมผัสที่ประมาณการได้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า มาตรฐานหรือค่าแนะนำสำหรับสารเคมีเป็นอย่างไร"

กรณี....ความเสี่ยงจากสารเคมีที่เป็นอันตรายเรื้อรังแต่ไม่ก่อมะเร็ง

$$HQ = I / RfD$$

$$HI = \sum HQ$$

เมื่อ HI = Hazard Index (ดัชนีอันตรายรวม)
HQ = Hazard Quotient (ดัชนีอันตราย)
I = Intake dose (mg/kg-day)
RfD = Oral reference dose (mg/kg-day)

HI < 1 ปริมาณสารที่ได้รับมีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ปกติ
HI ≥ 1 ปริมาณสารที่ได้รับอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเสี่ยงเกินปกติ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมี

คุณลักษณะความเสี่ยง : risk characterization

จากการการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมีของสารเคมีทั้ง 3 ชนิด คือ Tricosan 3,4,4-Trichlorocarbanilide และ Linear Alkylbenzene Sulfonates ให้ผลดังต่อไปนี้.....

มีค่า HQ < 1 ในทุกกรณี หมายความว่าการบริโภคน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว หรือ การรับประทานผักสดที่ใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว **มีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้**

มีค่า HI < 1 ในทุกกรณี หมายความว่า ความเสี่ยงรวมของสารเคมีทั้ง 3 ชนิด ที่ปรากฏในน้ำเสีย และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว รวมทั้งการรับประทานผักสดที่ใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว **มีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้**

Micro-pollutants			Hazard Quotient : HQ		
Group	Name	Syn.	Wastewater	Treated WW	Vegetable
Biocide	Triclosan	TCC	1.34×10^{-5}	2.78×10^{-6}	2.70×10^{-3}
	3,4,4-Trichlorocarbanilide	TCS	1.35×10^{-5}	3.03×10^{-6}	2.47×10^{-3}
Surfactants	Linear Alkylbenzene Sulfonates	LAS	1.50×10^{-3}	1.33×10^{-5}	5.61×10^{-2}
	Hazard Index : HI		**1.53×10^{-3}**	**1.91×10^{-5}**	**6.13×10^{-2}**

20
fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

(Microbial Health Risk Assessment)

21 fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

การระบุความเป็นอันตราย : hazard identification

ผลของการตรวจวัดประมาณเชื้อ *E. coli* ในน้ำที่นำมาใช้ประโยชน์

แหล่งของน้ำที่จะนำมาใช้ประโยชน์	ปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่ตรวจพบสูงสุด (MPN/100mL)	จำนวนการวิเคราะห์
น้ำประปา	5.0×10^{0}	4
น้ำเสียจากหอพักบุคลากร	2.1×10^{6}	4
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบ MBR	NA	4
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบ MBR ที่เก็บไว้ในถังเพื่อใช้ในการเกษตร	NA	4

24 fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

การระบุความเป็นอันตราย : hazard identification

- การบ่งชี้ชนิดของเชื้อโรคในการประเมินความเสี่ยง เป็นขั้นตอนแรก ที่มีความสำคัญในการหาค่าความเสี่ยง
- โดยทั่วไปแล้ว ชนิดของเชื้อโรคที่ใช้ในการหาค่าความเสี่ยงขึ้นกับ ลักษณะที่พบเจอจากสิ่งแวดล้อมของเหตุการณ์นั้นๆ ประกอบด้วย ไวรัส แบคทีเรีย โปรโตซัว และไข่พยาธิ
- นอกจากนี้จะมีการตรวจสอบแนวทางการติดเชื้อ และกลุ่มของผู้ที่มีโอกาสได้รับเชื้อ ซึ่งในการประเมินอาจจะประเมินกับจำนวนประชากรทั่วไป หรือเฉพาะกลุ่มผู้ที่มีความเสี่ยงสูง
- ในการศึกษานี้ **เชื้อ *E. coli*** ได้ถูกเลือกใช้ สำหรับหาค่าความเสี่ยง ของการติดเชื้อทางทางเดินอาหาร เนื่องจาก พบว่า ในประเทศไทย มีผู้ป่วยจากโรคทางเดินอาหารที่มีสาเหตุมาจากเชื้อ *E. coli*

23 fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

(Microbial Health Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงจากเชื้อโรคต่อสุขภาพ สำหรับกิจกรรมในการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ : กิจกรรมในครัวเรือน และ การเกษตรกรรม

วิธีการประเมิน : Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA)
- WHO และ USEPA ให้การยอมรับ
- กันอย่างกว้างขวางในงานวางแผนความเสี่ยง
- วิธีการที่ได้ผลเร็ว ใช้ข้อมูลน้อย

Ref. (WHO, 2006; USEPA, 2010)

หลักการ : Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA)
- หาผลของการได้รับเชื้อ ของการสัมผัสที่เกิดจริงหรือการสัมผัสที่คาดว่าจะมี
- ผลของการติดเชื้ออาจจะแสดงในรูปที่เกิดเป็นโรคหรือไม่ก็ได้ (Haas et al., 1999)

ขั้นตอน : Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA)
- Hazard identification
- Exposure assessment
- Dose-response assessment
- Risk characterization

22 fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

การหาปริมาณการได้รับเชื้อ : Exposure assessment

การหาปริมาณการได้รับเชื้อ

- ผู้ที่มีโอกาสได้รับเชื้อจากตัวกลางใด อาทิเช่น ทางอาหาร ผัก ผลไม้ หรือน้ำ ปริมาณเท่าไหร่
- ปริมาณเชื้อที่ปนเปื้อนในตัวกลางอยู่เท่าไหร่
- ปริมาณเชื้อที่เข้าสู่ร่างกายต่อครั้ง
- ทั้งนี้ในการประเมินปริมาณการได้รับ ระยะเวลา และความถี่ของการได้รับ ยากต่อการประเมินเป็นตัวเลข ดังนั้นในการศึกษานี้ จึงใช้ค่าที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา Steyn *et al.* (2004)

25 fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

การหาปริมาณการได้รับเชื้อ : Exposure assessment

ปริมาณน้ำ และความถี่ในการสัมผัสน้ำจากกิจกรรมต่างๆ

กิจกรรม	โอกาสได้รับเชื้อจากการสัมผัส	ปริมาณที่ได้รับต่อครั้ง/ จำนวนครั้งต่อปี [+]
1 กิจกรรมการนำน้ำกลับไปใช้ในการล้างพื้น ล้างรถ	มีการสัมผัสโดยตรง	1 - 5 มล./ 100 – 300 ครั้ง
2 กิจกรรมการใช้น้ำในการซักโครก	ไม่มีการสัมผัสโดยตรง	0.1 – 0.5 มล./ 200 – 365 ครั้ง
3 กิจกรรมการทำงานสำหรับรดน้ำต้นไม้	มีการสัมผัสโดยตรง	1 - 5 มล. / 100 – 300 ครั้ง
4 กิจกรรมนันทนาการในสวนสาธารณะ เดิน วิ่ง พักผ่อน	ไม่มีการสัมผัสโดยตรง	0.1 – 0.5 มล./ 50 – 300 ครั้ง

26 fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

ความสัมพันธ์ของระดับปริมาณเชื้อโรคที่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ได้รับ

Dose-response assessment

- เป็นค่าที่มีการศึกษากันไว้แล้วจากห้องปฏิบัติทางการแพทย์ โดยเฉพาะระดับความเสี่ยงจากการได้รับเชื้อหนึ่งครั้ง
- ปกติค่าความสัมพันธ์ของระดับปริมาณเชื้อโรคกับผลกระทบ จะแสดงเป็นรูปแบบโมเดล โดย มี 2 โมเดลที่เข้าได้กับเชื้อโรคต่างๆ คือ
  - โมเดล Exponential
  - โมเดล Beta Poisson
- การศึกษานี้ ที่ปรึกษาฯได้เลือกใช้ โมเดล Beta Poisson

แนวคิด....
จุลินทรีย์ 1 cell เข้าสู่ร่างกาย สามารถเพิ่มจำนวนเซลล์ได้ ซึ่งเป็นปริมาณแบบไม่มีขั้นต่ำ (non-threshold) จึงต้องใช้โมเดลในการคาดการจากปริมาณจุลินทรีย์ที่มีโอกาสเข้าร่างกายเริ่มต้น

27 fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

ความสัมพันธ์ของระดับปริมาณเชื้อโรคที่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ได้รับ

ค่าสัมประสิทธิ์ของเชื้อต่างๆ สำหรับใช้ในการประเมินความเสี่ยงของการติดเชื้อ

Organism	Exponential, k	Beta Poisson		Reference
		N_{50}	a	
Poliovirus I (Minor)	109.87	6.17	0.2531	Minor et al. 1981
Hepatitis A virus	1.8229			Ward et al. 1958
Salmonella		23,600	0.3126	Haas et al. 1999
Salmonella typhosa		3.60×10^6	0.1086	Hornick et al. 1966
Shigella[d]		1120	0.21	Haas et al. 1999
Escherichia coli		8.60×10^7	0.1778	Haas et al. 1999
Campylobacter jejuni		896	0.145	Medema et al. 1996
Vibrio cholera		243	0.25	Haas et al. 1999
Entamoeba coli		341	0.1008	Rendtorff 1954
Cryptosporidium parvum	238			Haas et al. 1996;

ที่มา: Haas & Eisenberg (2001)

28 fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

ความสัมพันธ์ของระดับปริมาณเชื้อโรคที่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ได้รับ

Dose-response models: Beta-Poisson model

$$P_{inf}(D, \alpha, \beta) = 1 - (1 + D/\beta)^{-\alpha}$$

$$N_{50} = \beta/(2^{1/\alpha}, -1)$$

$$P_{inf}(D, \alpha, \beta) = 1 - [1 + (D/N_{50}) \times (2^{1/\alpha} - 1)]^{-\alpha}$$

โดย P_{inf} = ความน่าจะเป็นที่ติดเชื้อโรคจากการสัมผัส
D = จำนวนเชื้อที่เข้าสู่ร่างกายจากการบริโภค
β และ α: ค่าคงที่ จาก Beta-Poisson model
N_{50} = จำนวนเชื้อโรคที่ 50% ที่ทำให้เกิดโรค

fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

ความสัมพันธ์ของระดับปริมาณเชื้อโรคที่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ได้รับ

- ความน่าจะเป็นที่จะได้รับสัมผัส *E. coli* จากน้ำประปา เท่ากับ 5.0×10^{-7}
- ความน่าจะเป็นที่จะได้รับสัมผัส *E. coli* จากน้ำน้ำเสียจากหอพักบุคลากร เท่ากับ 0.129

แหล่งของน้ำที่จะนำมาใช้ประโยชน์	ปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่ตรวจพบสูงสุด (MPN/100mL)	P_{inf}
น้ำประปา	5.0×10^{0}	5.00×10^{-7}
น้ำเสียจากหอพักบุคลากร	2.1×10^{6}	1.29×10^{-1}
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบ MBR	NA	0
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบ MBR ที่เก็บไว้ในถังเพื่อใช้ในการเกษตร	NA	0

fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

คุณลักษณะความเสี่ยง : : Risk characterization

- ความเสี่ยงที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้น
- โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1
- ปกติจะแสดงผลสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคคลเดียว หรือกลุ่มของตัวอย่างต่อปี
- เปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (acceptable risk)
- ในการหาค่าความเสี่ยงสามารถกระทำได้สองทางเลือกคือ
  - การประเมินแบบเป็นค่า (point estimation) และ
  - การประเมินแบบเชิงความสัมพันธ์ (probability density function, PDFs)
- สำหรับการศึกษานี้ได้เลือกใช้การประเมินแบบเป็นค่า ซึ่งสามารถใช้ได้ดีในกรณีที่จำนวนข้อมูลมีน้อย โดยจะให้ผลเป็นค่าความเสี่ยงที่น้อยที่สุด และค่าความเสี่ยงที่มากที่สุด

$$Pi_{yearly} = 1 - (1 - Pi)^{n}$$

fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

คุณลักษณะความเสี่ยง : : Risk characterization

การประเมินความเสี่ยง และค่าความเสี่ยงของการได้รับเชื้อโรค *E. coli* จากกิจกรรมต่างๆ

กิจกรรม	ความเสี่ยงสูงสุดต่อปี เมื่อใช้น้ำประปา	ความเสี่ยงสูงสุดต่อปี เมื่อใช้น้ำเสีย
1 กิจกรรมการนำน้ำกลับไปใช้ในการล้างพื้น ล้างรถ	5.0×10^{-5}	1.00
2 กิจกรรมการใช้น้ำในการซักโครก	5.0×10^{-5}	1.00
3 กิจกรรมการทำงานสำหรับรดน้ำต้นไม้	5.0×10^{-5}	1.00
4 กิจกรรมบันทนาการในสวนสาธารณะ เดิน วิ่ง พักผ่อน	5.0×10^{-5}	1.00

fppt.com

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อโรค

คุณลักษณะความเสี่ยง : : Risk characterization

การประเมินความเสี่ยงจากเชื้อโรค ปัจจุบันเกณฑ์ค่าที่ยอมรับได้ (acceptable risk) ขึ้นกับความเข้มของกฎหมายระเบียบข้อบังคับของแต่ละพื้นที่และแต่ละกิจกรรมของแต่ละประเทศ โดยค่าที่ใช้อยู่มีอยู่ 3 ระดับ (U.S. EPA, 2010) คือ

- เกณฑ์ระดับทั่วไป 10/100,000
- เกณฑ์ที่เข้ม1/100,000
- เกณฑ์เข้มสูงสุด 0.1/100,000

- ✓ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากเชื้อ *E. coli* จากการใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบ MBR พบว่า ผ่านเกณฑ์เข้มสูงสุด เนื่องจากไม่ตรวจพบเชื้อ *E. coli*
- ✓ กรณีน้ำประปาที่มีการปนเปื้อน เชื้อ *E. coli* พบว่ายังคง ผ่านเกณฑ์ระดับทั่วไป
- ✓ น้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด พบว่า ค่าความเสี่ยงสูงสุดอยู่สูงกว่า ระดับปลอดภัย (1/10,000 หรือ 1.0×10^{-4}) สำหรับทุกกิจกรรม ทำให้มีความไม่ปลอดภัย

om

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

ข้อเสนอแนะ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารเคมีและเชื้อโรค

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้การประเมินความเสี่ยงไม่ได้ครอบคลุมสารเคมีทุกชนิดและเชื้อก่อโรคทุกตัว จึงเสนอแนะนำว่า เมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำตามเทคโนโลยีข้างต้นแล้ว ในการนำไปใช้จริงควรมีการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพสำหรับผู้ที่ได้รับการสัมผัสหรือใช้งานโดยวิธีการติดตามทางระบาดวิทยา

34

fppt.com

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION

35

fppt.com

3. การยอมรับการใช้น้ำเสียหลังการบำบัดสำหรับภาคชุมชนและภาคการเกษตร กรณีศึกษา: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

การยอมรับการใช้น้ำเสียหลังการบำบัดสำหรับภาคชุมชน และภาคการเกษตร กรณีศึกษา: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

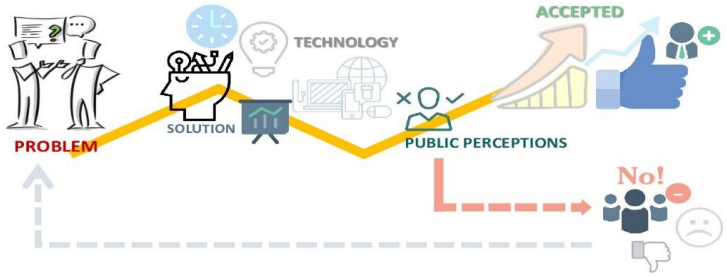
Public Perceptions of Reusing Treated Wastewater for Urban and Agriculture Applications Case Study: Srinakharinwirot University (Ongkarak)

โดย อ.ดร. สุธิดา ทีปรักษพันธุ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

BACKGROUNDS



BACKGROUNDS

PROBLEM

Water scarcity

Image source: https://www.fluencecorp.com/water-scarcity-in-india/

Image source: https://thethaiger.com/hot-news/weather/no-rain-in-eight-eight-thai-provinces-on-verge-of-water-crisis

SOLUTIONS

To gain new waters can only be achieved by

1. Desalination

2.Reuse / Recycling Wastewater

TECHNOLOGIES

- Membrane based system
- Thermal Evaporation
- Crystallization
- Etc.

PUBLIC PERCEPTIONS

Image source: https://www.odishabytes.com/is-desalinating-seawater-the-answer-to-water-crisis/

BACKGROUNDS

การทำวิจัยที่ใช้**แบบสอบถาม**เป็นเครื่องมือวิจัยนั้น เป็นข้อมูลที่ได้รับจากกลุ่มเป้าหมายโดยตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด เป็นข้อมูลที่ทันต่อสถานการณ์ ทันสมัยน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปแก้ปัญหาที่กำลังเกิดขึ้น หรือสามารถตอบคำถามสมมติฐานที่ตั้งไว้ได้ ซึ่งจะ**เป็นแนวทางที่ดีในการวางแผนพัฒนาให้เป็นไปตามความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย**

Image source: http://novitelinoleji.com.tr/novteys/novteys-omek-gorsel-2/

CASE STUDY: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

มศว องครักษ์

มีพื้นที่ทั้งหมด 947 ไร่ 2 ตารางวา

ตั้งอยู่ที่ ถนนรังสิต-นครนายก ตลอง 16 ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

บุคลากร : 889 คน

นิสิตทุกระดับ : 6,787 คน

รวม : 7,676 คน

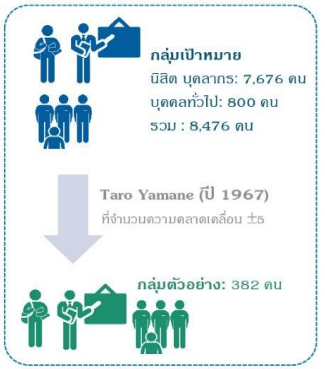
TOOLS: แบบสอบถาม

กลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาการยอมรับในครั้งนี้ ประชากรเป้าหมายคือ บุคลากรต่าง ๆในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) กำหนดขนาดของตัวอย่าง โดยใช้สูตรของ Taro Yamane (ปี 1967) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สูตร $$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

เมื่อ
- e คือ ความคลาดเคลื่อนของการเลือกตัวอย่าง
- N คือ ขนาดของประชากร
- n คือ ขนาดของตัวอย่าง



TOOLS: แบบสอบถาม

การเก็บตัวอย่าง

เริ่มต้น: วันที่ 1 เมษายน 2562

วิธีการ: ออนไลน์ & กระดาษ โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบโควต้า (Quota Sampling)

ผู้ตอบแบบสอบถาม : นิสิต บุคลากร บุคคลทั่วไป

ตารางที่ 1 สัดส่วนจำนวนประชากรทั้งหมดใน มศว (องครักษ์) และบุคคลทั่วไป เปรียบเทียบกับจำนวนชุดแบบสอบถาม

ประเภท	จำนวนกลุ่มเป้าหมาย	คิดเป็นสัดส่วน	จำนวนแบบสอบถาม
นิสิตทุกระดับ	6,787	0.80	248
บุคลากรของ มศว	889	0.11	88
บุคคลทั่วไป	800	0.09	84
รวม	8,476	1.00	420

ที่มา: ส่วนส่งเสริมและบริการการศึกษามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

TOOLS: แบบสอบถาม

โครงสร้างแบบสอบถาม

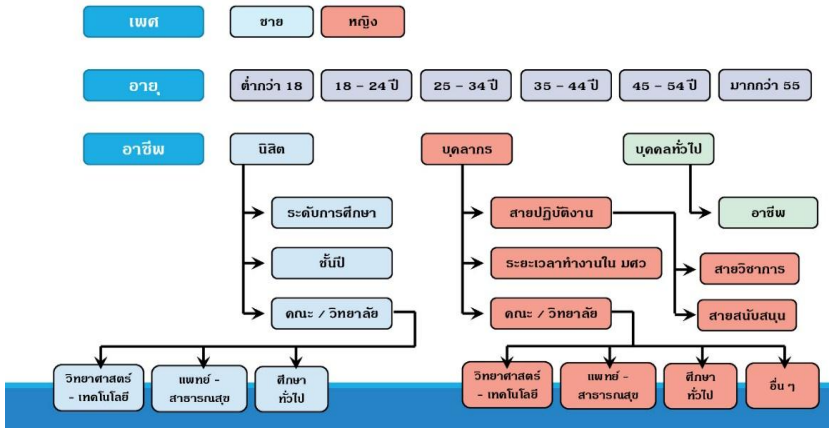
ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 การรับรู้เรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และนำกลับมาใช้ใหม่

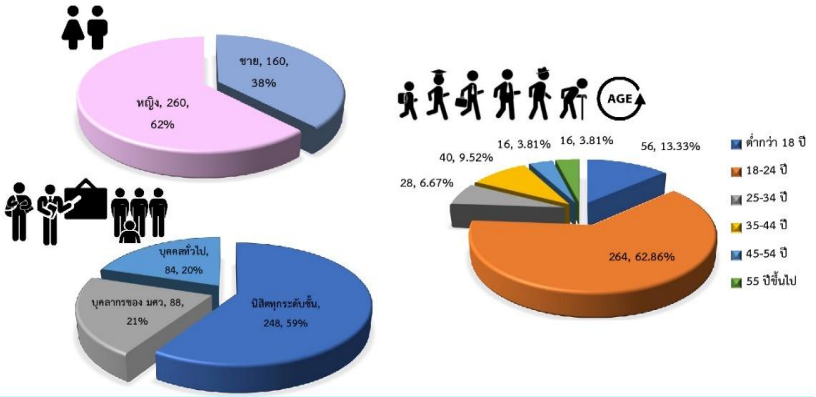
ส่วนที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับการใช้งานในกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน

ส่วนที่ 4 การยอมรับการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประกอบกิจกรรมในชีวิตประจำวัน

ส่วนที่ 1 รายละเอียดผู้ตอบแบบสอบถาม (ข้อมูลทั่วไป)

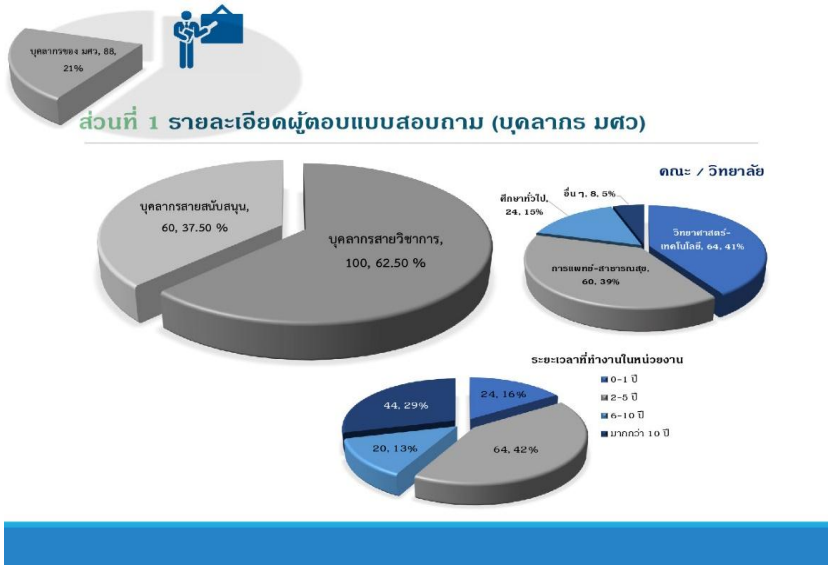


ส่วนที่ 1 รายละเอียดผู้ตอบแบบสอบถาม (ข้อมูลทั่วไป)

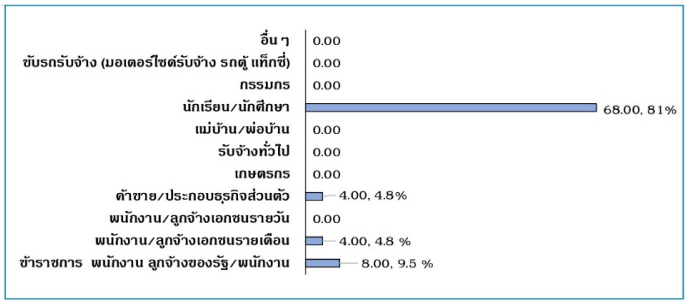


ส่วนที่ 1 รายละเอียดผู้ตอบแบบสอบถาม (นิสิตทุกระดับ)

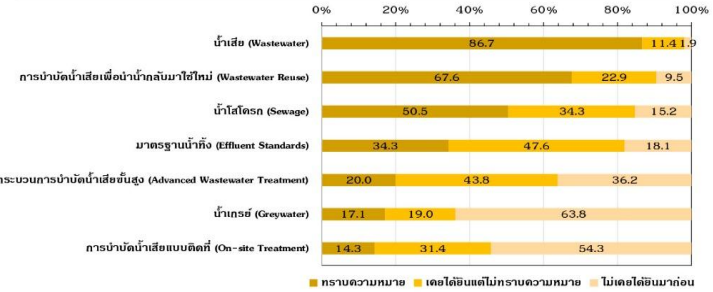
ส่วนที่ 1 รายละเอียดผู้ตอบแบบสอบถาม (บุคลากร มศว)



ส่วนที่ 1 รายละเอียดผู้ตอบแบบสอบถาม (บุคคลทั่วไป)

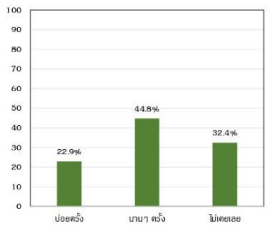


ส่วนที่ 2 การรับรู้ของประชาชน เรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

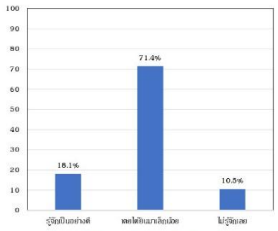


❑ **คณะ อายุ ชั้นปี** มีความสัมพันธ์ต่อการรับทราบคำศัพท์ เรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

ส่วนที่ 2 การรับรู้ของประชาชน เรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่



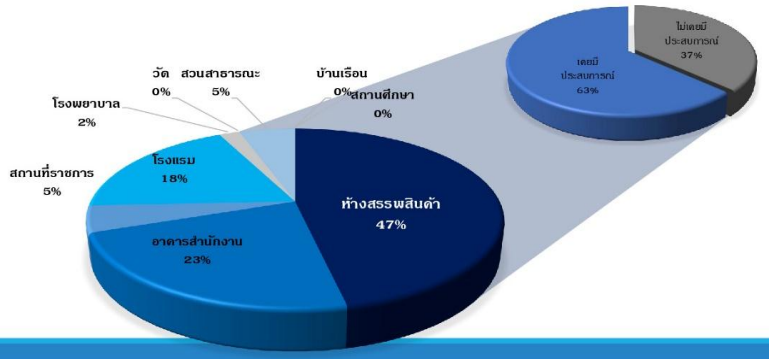
การพูดคุยกับคนรอบข้างเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่



ท่านรู้จักการบำบัดน้ำเสียเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่มากน้อยเพียงใด

ส่วนที่ 2 การรับรู้ของประชาชน เรื่องน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

ประสบการณ์พบเห็น / การใช้น้ำ การบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

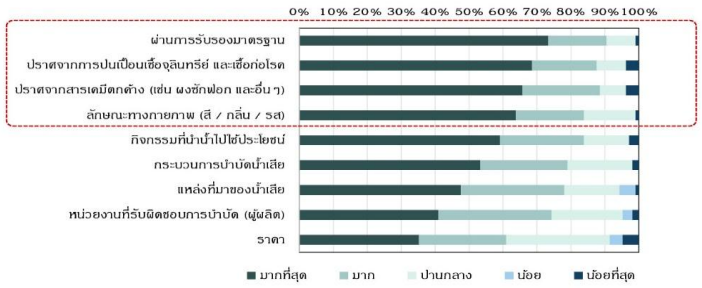


ส่วนที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกและการตัดสินใจใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับประกอบกิจกรรมต่าง ๆในชีวิตประจำวัน

- แหล่งที่มาของน้ำเสีย
- หน่วยงานที่รับผิดชอบการบำบัด (ผู้ผลิต)
- กระบวนการบำบัดน้ำเสีย
- ลักษณะทางกายภาพ (สี / กลิ่น / รส)
- ปราศจากสารเคมีตกค้าง (เช่น ผงซักฟอก และอื่น ๆ)
- ปราศจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ และเชื้อก่อโรค
- ผ่านการรับรองมาตรฐาน
- กิจกรรมที่นำน้ำไปใช้ประโยชน์
- ราคา

เกณฑ์การแบ่งกลุ่ม
1 = น้อยที่สุด
2 = น้อย
3 = ปานกลาง
4 = มาก
5 = มากที่สุด

ส่วนที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกและการตัดสินใจใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับประกอบกิจกรรมต่าง ๆในชีวิตประจำวัน



ส่วนที่ 4 การยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่าง ๆในชีวิตประจำวัน

กิจกรรมในภาคประชาชน 7 กิจกรรม

ใช้สำหรับดื่ม

ใช้ประกอบอาหาร

ใช้ชำระล้างร่างกาย

ใช้ซักผ้า

ใช้ฟลัดชักโครก

ใช้ล้างรถ

ใช้ทำความสะอาดพื้น

ส่วนที่ 4 การยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่าง ๆในชีวิตประจำวัน

กิจกรรมในภาคการเกษตร 5 กิจกรรม

ใช้ตกแต่งสวน

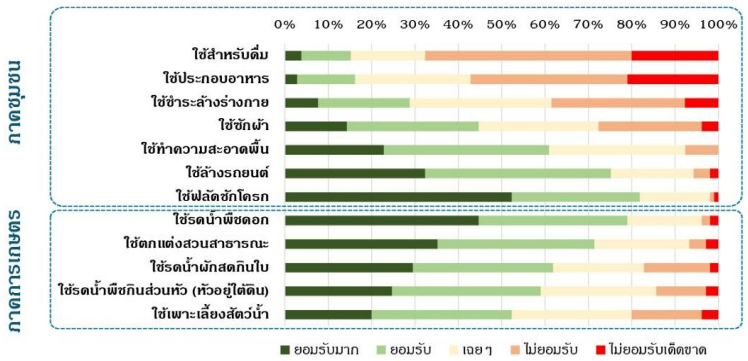
ใช้รดน้ำพืชดอก

ใช้รดน้ำผักสดกินใบ

ใช้รดน้ำผักกินหัว

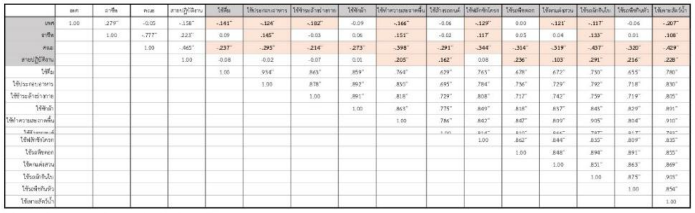
ใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ส่วนที่ 4 การยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่าง ๆในชีวิตประจำวัน



ส่วนที่ 4 การยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่าง ๆในชีวิตประจำวัน

- **เพศ อาชีพ กลุ่มสาขาวิชา และสายการปฏิบัติงาน** มีความสัมพันธ์ต่อผลการยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ อย่างมีนัยสำคัญ

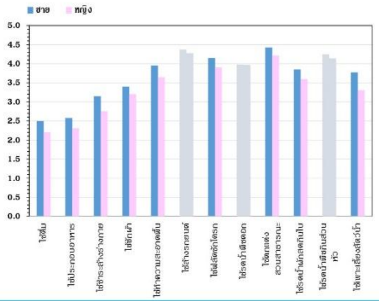


**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

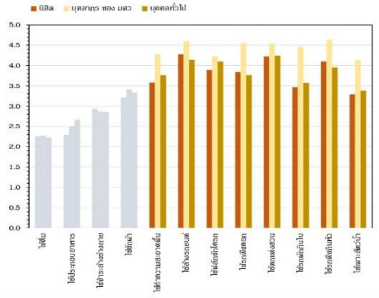
ส่วนที่ 4 การยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่าง ๆในชีวิตประจำวัน

เพศ มีผลต่อการยอมรับในแต่ละกิจกรรมอย่างมีนัยสำคัญ



** นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

กลุ่มอาชีพ มีผลต่อการยอมรับในแต่ละกิจกรรม อย่างมีนัยสำคัญ

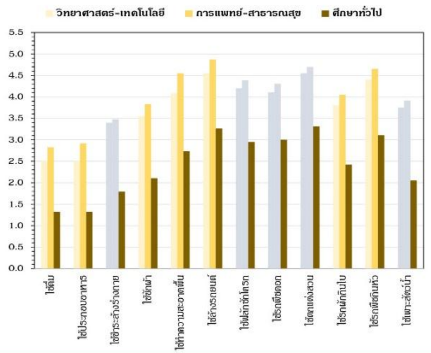


** นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ส่วนที่ 4 การยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่าง ๆในชีวิตประจำวัน

กลุ่มสาขาวิชาของนิสิต มีผลต่อการยอมรับในแต่ละกิจกรรม อย่างมีนัยสำคัญ

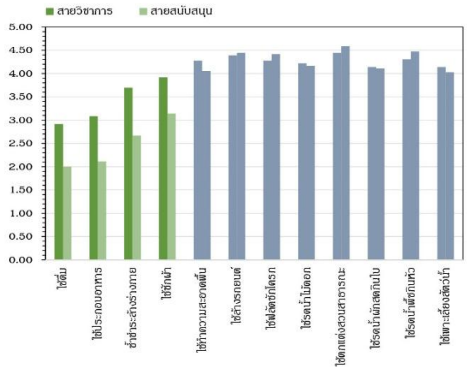
- วิทยาศาสตร์ – เทคโนโลยี
- การแพทย์ - สาธารณสุข
- ศึกษาทั่วไป



ส่วนที่ 4 การยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่าง ๆในชีวิตประจำวัน

กลุ่มสายปฏิบัติการของบุคลากรมีผลต่อการยอมรับในแต่ละกิจกรรม อย่างมีนัยสำคัญ

- ❑ สายวิชาการ
- ❑ สายสนับสนุน



สรุปผลการศึกษา การยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ในภาคการชุมชน และภาคการเกษตร

(1) **คุณภาพของน้ำ การรับรองมาตรฐาน กิจกรรมการใช้น้ำ** มีผลต่อการยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ทั้งในภาคการชุมชน และภาคการเกษตร

(2) **กิจกรรมที่ไม่ได้มีการสัมผัสใกล้ชิด** ได้รับการยอมรับมากกว่าในภาคชุมชน สำหรับในภาคการเกษตรกรรม >> มองเรื่องการสะสม

(3) **เพศ** ส่งผลต่อระดับการยอมรับ >> เพศหญิง มีความกังวลต่อผลกระทบมากกว่าในทุกกิจกรรม

(4) **ประสบการณ์ และพื้นฐานความรู้** ส่งผลต่อระดับการยอมรับ

การศึกษาเพิ่มเติม การยอมรับการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ในภาคการชุมชน และภาคการเกษตร

(1) จัดทำการสนทนากลุ่ม (Focus Group)

(2) ขยายขอบเขตพื้นที่การศึกษา

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION

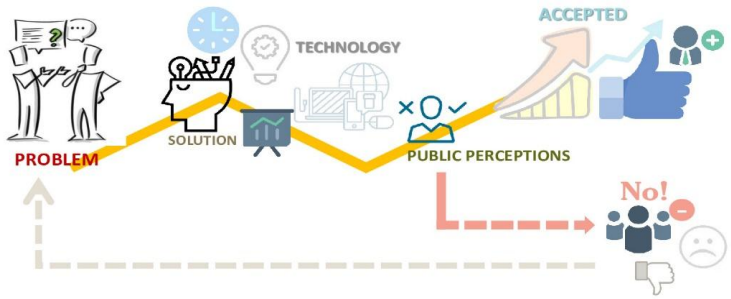
4. หลักการทางเศรษฐศาสตร์ที่สำคัญของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่และการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติในกรณีงานโครงสร้าง

หลักการทางเศรษฐศาสตร์ที่สำคัญของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่
และการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติในกรณีงานโครงสร้าง

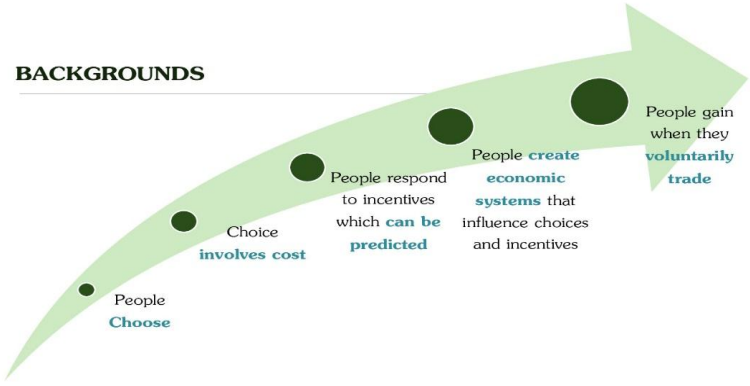
Key Economic Principles of Water Reuse and Application
Practice in Structural Works Case

โดย อ.ดร. สุธิดา ทีปรักษพันธุ์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

BACKGROUNDS



BACKGROUNDS



COST-BENEFIT ANALYSIS

	Treatment plant		Standing
Costs	***Direct costs*** Construction costs (ค่าก่อสร้าง)	Monetary	Investor
	Operation and maintenance (ค่าเดินระบบ และบำรุงรักษา)		
	Other costs (fence, laboratory ...) (ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ)		
Benefits	***Direct benefits*** Avoided expenditure on pumping (ค่าใช้จ่ายจากการสูบน้ำ)	Monetary	Residents
	Revenue gained from tariff collection for wastewater treatment (รายได้จากการจัดเก็บภาษีเพื่อบำบัดน้ำเสีย)	Monetary	Investor
	External benefits **Environmental benefits** • avoided costs of odor and aesthetic (กลิ่น สุนทรียภาพ) • avoided costs of GW infiltration (น้ำใต้ดิน) • avoided costs of mosquitoes, insects (ยุง และแมลง)	Non-monetary	Residents
	Health benefits • avoided treatment expenditure (ค่ารักษาพยาบาล) • avoided income loss (ค่าเสียรายได้)	Monetary	Residents
	Avoided income loss due to the reduction in diseases (ลดการสูญเสียรายได้เนื่องจากการลดลงของโรค)	Monetary	Residents
	Avoided damage to property due to overflowing wastewater) (ความเสียหายต่อทรัพย์สินเนื่องจากการไหลล้น)	Monetary	Residents

COST-BENEFIT ANALYSIS

IRRIGATION SYSTEM

	Irrigation system		Standing
Costs	***Direct costs***	Construction costs (ค่าก่อสร้างโรงเรือน)	Investor
		Operation and maintenance treatment (ค่าเดินระบบ และบำรุงรักษา)	Investor
Benefits	***Direct benefits***	Revenue gained from sale of treated wastewater to farmers (รายได้ที่ได้จากการขายน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดให้กับเกษตรกร)	Investor
		Added value from additional agricultural production (มูลค่าจากการผลิตทางการเกษตรเพิ่มเติม)	Farmers

COST-BENEFIT ANALYSIS

- ระบุตัวเลือกโครงการที่จำเป็นในการบรรลุเป้าหมาย
- ระบุผู้มีส่วนได้เสียที่สำคัญและค่าใช้จ่าย (Costs) และผลประโยชน์ (Benefits)
- ระบุการกระจายของผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายตลอดอายุของโครงการ
- แปลงผลประโยชน์และต้นทุนทั้งหมดเป็นเงื่อนไขทางการเงิน
- คำนวณมูลค่าในอนาคตของผลประโยชน์และต้นทุน ให้เหมาะสม
- เกณฑ์ในการตัดสินใจ >> มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราส่วนต้นทุนและผลประโยชน์

APPLICATION PRACTICE

COST >> CONSTRUCTION

APPLICATION PRACTICE

COST >> CONSTRUCTION

OPTIONS

Option 1: ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป

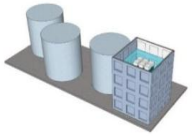
Option 2: ถังบำบัดคอนกรีตตั้งอยู่บนพื้นดิน

Option 3: ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตฝังใต้ดิน

APPLICATION PRACTICE

COST >> CONSTRUCTION

ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป



พท. = 24.8 ตร.ม.

- **ฐานราก** คอนกรีตเสริมเหล็กและเสาเข็ม (3.10 x 8.00 x 0.1 เมตร)
- **EQ TANK** 12 ลบ.ม. (4 ลบ.ม. x 3)
- **MBR TANK** 6 ลบ.ม. (Fiber Glass 1.5 x 1.5 x 2.5 เมตร)

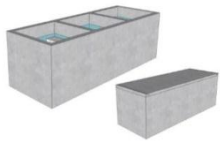
ถังบำบัดคอนกรีต ตั้งอยู่บนพื้นดิน

พท. = 16.3 ตร.ม.

- **ฐานราก** เสาเข็ม
- **EQ TANK + MBR TANK**

6 ลบ.ม. x 3 (2.4 x 6.8 x 2.5 เมตร)

ถังบำบัดคอนกรีต ฝังใต้ดิน



พท. = 18 ตร.ม. (ใต้ดิน)

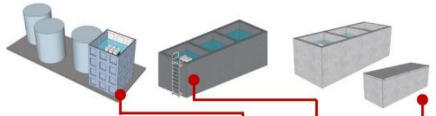
- **ฐานราก** เสาเข็ม
- **EQ TANK + MBR TANK**

6 ลบ.ม. x 3 (2.4 x 6.8 x 2.5 เมตร)

- ฝาบน พร้อมช่อง service

APPLICATION PRACTICE

COST >> CONSTRUCTION



ลำดับที่	รายการ	หน่วย	ราคา / หน่วย	จำนวนวัสดุ		
				Case 1	Case 2	Case 3
1	ดินขุดและถมกลับ	ลบ.ม.		14.00	7.00	40.00
2	งานปรับพื้นที่	ตร.ม.		28.00	20.00	15.00
3	เสาเข็ม คอร. ขนาด 0.18x0.18x0.21 เมตร	ต้น	3,500.00	8.00	6.00	6.00
4	ทรายหยาบบดอัดแน่น	ลบ.ม.	400.00	1.00	0.50	0.50
5	คอนกรีตหยาบผสมเสร็จ 1 : 3 :5	ลบ.ม.	1,989.00	1.00	0.5	0.5
6	คอนกรีตโครงสร้าง 280 ksc (รูปทรงกระบอก)	ลบ.ม.	2,244.00	7.00	15.00	18.00
7	ตะแกรงเหล็กสำเร็จรูป Ø 6 มม. @ 0.15 มม. 2 ชั้น	ตร.ม.	80.00	32.00	-	-
8	ลวดผูกเหล็ก	กก.	27.00	1.00	50.00	50.00
9	ไม้แบบ	ตร.ม.	200.00	5.00	48.00	50.00
10	เหล็ก DB12 SD.40 (0.88 kg./m.)	ต้น	20,500.00	-	0.30	0.65
11	เหล็ก DB16 SD.40 (1.58 kg./m.)	ต้น	20,300.00	-	0.10	0.20
12	ถังปรับสภาพน้ำเสียความจุ 4,000 ลิตร	ชุด		3.00	-	-
13	ถังไฟเบอร์กล้าส	ชุด		1.00	-	-
14	เยื่อกรอง+ระบบเติมอากาศ	ระบบ	150,000.00	1.00	1.00	1.00

APPLICATION PRACTICE

COST >> CONSTRUCTION

ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป

งานฐานราก

งานโครงสร้าง

ถังบำบัดสำเร็จรูป

ระบบ

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		ค่าวัสดุและแรงงาน
				ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน (บาท)	ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน (บาท)	(บาท)
	งานก่อสร้างถังบำบัดน้ำเสีย							
1	ดินขุดและถมกลับ	1400	ลบ.ม.	-	-	200.00	2,800.00	2,800.00
2	งานปรับพื้นที่	2800	ตร.ม.		-	150.00	4,200.00	4,200.00
3	เสาเข็ม คอร. ขนาด 0.18x0.18x0.21 เมตร	800	ต้น	3,500.00	28,000.00	1,116.00	8,928.00	36,928.00
4	ทรายหยาบบดอัดแน่น	100	ลบ.ม.	400.00	400.00	100.00	100.00	500.00
5	คอนกรีตหยาบผสมเสร็จ 1 : 3 :5	100	ลบ.ม.	1,989.00	1,989.00	306.00	306.00	2,295.00
6	ตะแกรงเหล็กสำเร็จรูป Ø 6 มม. @ 0.15 มม. 2 ชั้น	3200	ตร.ม.	80.00	2,560.00	5.00	160.00	2,720.00
7	ลวดผูกเหล็ก	100	กก.	27.00	27.00	-	-	27.00
8	ไม้แบบ	500	ตร.ม.	200.00	1,000.00	150.00	750.00	1,750.00
9	คอนกรีตโครงสร้าง 280 ksc (รูปทรงกระบอก)	700	ลบ.ม.	2,244.00	15,708.00	306.00	2,142.00	17,850.00
10	ถังปรับสภาพน้ำเสียความจุ 4,000 ลิตร	300	ชุด	28,000.00	84,000.00	-	-	84,000.00
11	ถังไฟเบอร์กล้าส	100	ชุด	200,000.00	200,000.00	-	-	200,000.00
12	เยื่อกรอง+ระบบเติมอากาศ	100	ระบบ	150,000.00	150,000.00	-	-	150,000.00
	รวมค่าวัสดุ-ค่าแรง				483,684.00		19,586.00	505,070.00
	ค่าดำเนินการ+กำไร(จากค่าแรง)	-	%					-
	หมายเหตุ ระยะเวลาดำเนินงานก่อสร้าง 60 วัน							
	รวมค่าวัสดุ+ค่าแรง+กำไร รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	ห้าแสนสามพันเจ็ดสิบบาทถ้วน						505,070.00

APPLICATION PRACTICE

COST >> CONSTRUCTION

ถังบำบัดน้ำเสียบนดิน

งานฐานราก

งานโครงสร้าง

ระบบ

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		ค่าวัสดุและแรงงาน
				ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน (บาท)	ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน (บาท)	(บาท)
	งานก่อสร้างถังบำบัดน้ำเสีย							
1	ดินขุดและถมกลับ	7.00	ลบ.ม.	-	-	200.00	1,400.00	1,400.00
2	งานปรับพื้นที่	20.00	ตร.ม.		-	150.00	3,000.00	3,000.00
2	เสาเข็ม คอร. ขนาด 0.18x0.18x0.21	6.00	ต้น	3,500.00	21,000.00	1,116.00	6,696.00	-
3	ทรายหยาบบดอัดแน่น	0.50	ลบ.ม.	400.00	200.00	100.00	50.00	250.00
4	คอนกรีตหยาบผสมเสร็จ 1 : 3 :5	0.5	ลบ.ม.	1,989.00	994.50	306.00	153.00	1,147.50
5	เหล็ก DB12 SD.40 (0.88 kg./m.)	0.30	ต้น	20,500.00	6,150.00	3,300.00	990.00	7,140.00
6	เหล็ก DB16 SD.40 (1.58 kg./m.)	0.10	ต้น	20,300.00	2,030.00	3,300.00	330.00	2,360.00
7	ลวดผูกเหล็ก	50.00	กก.	27.00	1,350.00	-	-	1,350.00
8	ไม้แบบ	48.00	ตร.ม.	200.00	9,600.00	150.00	7,200.00	16,800.00
9	คอนกรีตโครงสร้าง 280 ksc (รูปทรงกระบอก)	15.00	ลบ.ม.	2,244.00	33,660.00	306.00	4,590.00	38,250.00
10	เยื่อกรอง+ระบบเติมอากาศ	1.00	ระบบ	150,000.00	150,000.00	-	-	150,000.00
	รวมค่าวัสดุ ค่าแรง				224,984.50		24,409.00	221,697.50
	ค่าดำเนินการ+กำไร(จากค่าแรง)	-	%					-
	หมายเหตุ ระยะเวลาดำเนินงานก่อสร้าง 60 วัน							
	รวมค่าวัสดุ+ค่าแรง+กำไร รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	สองแสนสองหมื่นหนึ่งพันหกร้อยเก้าสิบเจ็ดบาทห้าสิบสตางค์						221,697.50

APPLICATION PRACTICE

COST >> CONSTRUCTION

ถังบำบัดน้ำเสียใต้ดิน

งานฐานราก

งานโครงสร้าง

ระบบ

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		ค่าวัสดุและแรงงาน (บาท)
				ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน (บาท)	ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน (บาท)	
	งานก่อสร้างถังบำบัดน้ำเสีย							
1	ดินขุดและถมกลับ	40.00	ลบ.ม.	-	-	200.00	8,000.00	8,000.00
2	งานปรับพื้นที่	15.00	ตร.ม.		-	150.00	2,250.00	2,250.00
3	เสาเข็ม คอร. ขนาด 0.18x0.18x0.21	6.00	ต้น	3,500.00	21,000.00	1,116.00	6,696.00	-
4	ทรายหยาบบดอัดแน่น	0.50	ลบ.ม.	400.00	200.00	100.00	50.00	250.00
5	คอนกรีตยาแนวผสมเสร็จ 1 : 3 :5	0.5	ลบ.ม.	1,989.00	994.50	306.00	153.00	1,147.50
6	เหล็ก DB12 SD.40 (0.88 kg/m.)	0.65	ต้น	20,500.00	13,325.00	3,300.00	2,145.00	15,470.00
7	เหล็ก DB16 SD.40 (1.58 kg/m.)	0.20	ต้น	20,300.00	4,060.00	3,300.00	660.00	4,720.00
8	ลวดผูกเหล็ก	50.00	กก.	27.00	1,350.00	-	-	1,350.00
9	ไม้แบบ	50.00	ตร.ม.	200.00	10,000.00	150.00	7,500.00	17,500.00
10	คอนกรีตโครงสร้าง 280 ksc (รูปทรงกระบอก)	18.00	ลบ.ม.	2,244.00	40,392.00	306.00	5,508.00	45,900.00
11	เมือกรองระบบเติมอากาศ	1.00	ระบบ	150,000.00	150,000.00	-	-	150,000.00
	รวมค่าวัสดุ ค่าแรง				241,321.50		32,962.00	246,587.50
	ค่าดำเนินการ+กำไร(จากค่าแรง)	-	%					-
	หมายเหตุ ระยะเวลาดำเนินงานก่อสร้าง 60 วัน							
	รวมค่าวัสดุ+ค่าแรง+กำไร รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	สองแสนสี่หมื่นหกพันห้าร้อยแปดสิบเจ็ดบาทห้าสิบสตางค์						246,587.50

APPLICATION PRACTICE

COST >> CONSTRUCTION

ผลการประเมินราคาจากงานโครงสร้างทั้ง 3 รูปแบบ

ในด้านราคาค่าก่อสร้าง พบว่า ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตวางบนดิน ซึ่งมีราคาค่าก่อสร้างถูกกว่า ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป และถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตฝังใต้ดิน คิดเป็นร้อยละ 55.93 และร้อยละ 10.10

การศึกษาเพิ่มเติม

- **Costs** งานเดินท่อรวบรวมน้ำเสียมายังจุดบำบัดน้ำเสีย
- **Costs** ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ เช่น ค่าสารเคมีในการล้าง ค่าไฟ และ ค่าซ่อมบำรุง เป็นต้น
- **Benefits** ด้านสิ่งแวดล้อม และสุขภาพ
- **Benefits** การนำน้ำกลับไปใช้ด้านการเกษตร

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION

"Water should not be judged by its history, but by its quality."

Dr. Lucas Van Vuuren
National Institute of Water Research, South Africa

ภาคผนวกที่ 3 ผลการประเมินการอบรมเชิงปฏิบัติการฯ

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล

ตัวแปร	จำนวนคน	ร้อยละ
1. เพศ	24	100
1.1 ชาย	16	66.67
1.2 หญิง	8	33.33
2. อายุ	24	100
2.1 ต่ำกว่า 30 ปี	11	45.83
2.1 31-40 ปี	0	0
2.2 41-50 ปี	10	41.67
2.3 51 ปีขึ้นไป	3	12.50
3. ประสบการณ์ทำงานด้านสิ่งแวดล้อม	24	100
3.1 ต่ำกว่า 1 ปี	10	41.67
3.2 1-10 ปี	7	29.17
3.3 11-20 ปี	5	20.83
3.4 21 ปี ขึ้นไป	2	8.33
4. วุฒิการศึกษา	24	100
4.1 ต่ำกว่าปริญญาตรี	6	25.00
4.2 ปริญญาตรี	11	45.83
4.3 ปริญญาโท	4	16.67
4.4 ปริญญาเอก	3	12.50
5. หน่วยงาน	24	100
5.1 กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	1	4.17
5.2 ราชการ	2	8.33
5.3 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	0	0.00
5.4 เอกชน/NGO	3	12.50
5.5 สถาบันการศึกษา	12	50.00
5.6 อื่นๆ เช่น ทสม. เป็นต้น	6	25.00

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจต่อการอบรม

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ					ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ	ร้อยละ
	5	4	3	2	1		
1. การประชาสัมพันธ์โครงการอบรม	5	8	11	0	0	4	75.0
2. ระยะเวลาจัดอบรม	8	14	2	0	0	4	85.0
3. การติดต่อประสานงานของเจ้าหน้าที่ผู้จัดการอบรม	6	14	4	0	0	4	81.7
4. มนุษยสัมพันธ์และการอำนวยความสะดวกของเจ้าหน้าที่ผู้จัดการอบรม	8	14	1	1	0	4	84.2
5. สถานที่จัดฝึกอบรมและสภาพห้องของการอบรม	6	16	2	0	0	4	83.3
6. อาหารกลางวัน อาหารว่างและเครื่องดื่ม (ปริมาณ คุณภาพ รสชาติ)	8	13	3	0	0	4	84.2

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับวิทยากร

วิทยากร	รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ					ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ	ร้อยละ
		5	4	3	2	1		
ดร.สุดา อิทธิสุภร์รัตน์	ความรอบรู้ในเนื้อหาวิชา	12	11	1	0	0	4	89.2
	ความสามารถในการถ่ายทอดข้อมูล	14	10	0	0	0	5	91.6
	ความสามารถในการตอบคำถาม	11	12	1	0	0	4	88.4
	ความเหมาะสมของเนื้อหาในการบรรยาย	13	10	1	0	0	5	90.0
ดร. ณัฐฐา แสงนรินทร์ เหมจินดา	ความรอบรู้ในเนื้อหาวิชา	11	13	0	0	0	4	89.2
	ความสามารถในการถ่ายทอดข้อมูล	8	16	0	0	0	4	86.7
	ความสามารถในการตอบคำถาม	11	13	0	0	0	4	89.2
	ความเหมาะสมของเนื้อหาในการบรรยาย	14	10	0	0	0	5	91.7
ดร. สุธิดา ทีปรักษพันธุ์	ความรอบรู้ในเนื้อหาวิชา	15	9	0	0	0	5	92.5
	ความสามารถในการถ่ายทอดข้อมูล	14	10	0	0	0	5	91.7
	ความสามารถในการตอบคำถาม	14	10	0	0	0	5	91.7
	ความเหมาะสมของเนื้อหาในการบรรยาย	18	6	0	0	0	5	95.0

ตอนที่ 4 ความรู้/ความเข้าใจในเนื้อหาวิชา <u>ก่อนและหลัง</u> เข้ารับการอบรม

หัวข้อการบรรยาย/อภิปราย/ดูงาน	ความรู้/ความเข้าใจในเนื้อหาวิชา <u>ก่อน</u> เข้ารับการอบรม					ค่าเฉลี่ยความรู้/ความเข้าใจ	ร้อยละ
	5	4	3	2	1		
1. การพัฒนาถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกิจกรรมภาคชุมชนและเกษตรกรรม	1	4	8	7	4	3	52.5
2. การประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในกิจกรรมด้านการเกษตรและครัวเรือน	1	1	11	5	6	2	48.3
3. การออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนและผลสำรวจการยอมรับของบุคลากรในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่	1	3	8	5	7	2	48.3
4. ศึกษาดูงาน ณ หอพักกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	1	4	11	3	5	4	70.8
4.1 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วนถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน เพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่							
4.2 รูปแบบการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกิจกรรมภาคชุมชนและเกษตรกรรม							

หัวข้อการบรรยาย/อภิปราย/ดูงาน	ความรู้/ความเข้าใจในเนื้อหาวิชา <u>หลัง</u> เข้ารับการอบรม					ค่าเฉลี่ยความรู้/ความเข้าใจ	ร้อยละ
	5	4	3	2	1		
1. การพัฒนาถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกิจกรรมภาคชุมชนและเกษตรกรรม	13	11	0	0	0	5	90.8
2. การประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในกิจกรรมด้านการเกษตรและครัวเรือน	8	15	1	0	0	4	85.8
3. การออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนและผลสำรวจการยอมรับของบุคลากรในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่	11	13	0	0	0	4	89.2
4. ศึกษาดูงาน ณ หอพักกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	11	13	0	0	0	4	89.2
4.1 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วนถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน เพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่							
4.2 รูปแบบการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับกิจกรรมภาคชุมชนและเกษตรกรรม							

ภาคผนวกที่ 4 การศึกษาออกแบบโครงสร้างถังปฏิกรณ์ชีวภาพ และประเมินราคางานโครงสร้าง

การสร้างระบบบำบัดน้ำเสียภายในบริเวณที่พักอาศัยนั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยในการก่อสร้างหลายประการ เช่น พื้นที่ว่าง ทัศนียภาพ และมลภาวะที่อาจเกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสีย (กลิ่น และเสียงรบกวน) จากการลงพื้นที่สำรวจ และพิจารณาพื้นที่ว่างที่เหมาะสม สำหรับก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน ในบริเวณของหอพักนิสิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) พบว่า มีพื้นที่ขนาดเล็กกระจายอยู่ระหว่างอาคารหอพักต่างๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษารูปแบบของถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการนำไปใช้ให้เหมาะสมกับพื้นที่ต่อไป

การศึกษาออกแบบโครงสร้าง

ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน ประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 2 ส่วน ได้แก่ ถังปรับสมดุลน้ำเสีย (Equalization Tank, EQ) และถังเติมอากาศ (Aeration Tank) สำหรับหัวข้อนี้จึงเสนอรูปการถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน ประกอบด้วยรูปแบบการติดตั้ง ทั้งสิ้น จำนวน 3 รูปแบบ ซึ่งแตกต่างกันในด้านโครงสร้าง และวัสดุ แต่มีความสามารถในการใช้งานใกล้เคียงกัน และมีรายละเอียดดังนี้

การออกแบบโครงสร้างถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน เนื่องพื้นที่จำกัด จึงออกแบบให้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียในที่ (On-site Treatment) มีปริมาตรของส่วนเติมอากาศขนาดเท่ากับ 6 ลูกบาศก์เมตร ถังบำบัดแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รูปแบบที่ 1 : ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป เป็นระบบที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Unit) ประกอบด้วย ถังปรับสมดุลน้ำเสีย (Equalization Tank, EQ) สำเร็จรูป ขนาดความจุ 4 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 3 ถัง และถังเติมอากาศ (Aeration Tank) ผลิตจากถังไฟเบอร์กลาสขนาดกว้าง 1.50 x 1.50 เมตร สูง 2.50 เมตร จำนวน 1 ถัง ทั้งหมดวางบนฐานพื้นคอนกรีตขนาดกว้าง 3.10 x 8.00 เมตร สูง 0.1 เมตร ระบบนี้เป็นรูปแบบเดียวกับต้นแบบมาจากระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนของหอพักบุคลาการกัลยานมิตร มหาวิทยลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

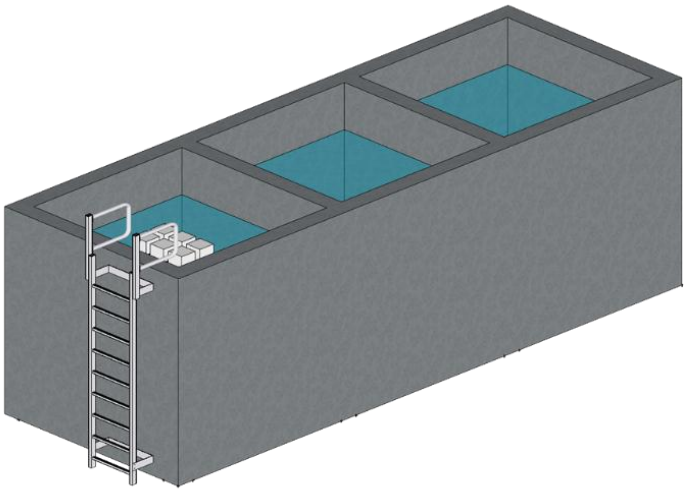
รูปแบบที่ 2 : ถังบำบัดคอนกรีตตั้งอยู่บนพื้นดิน ขนาด กว้าง 2.4 x 6.8 เมตร สูง 2.2 เมตร ขนาดความหนาของกำแพงเท่ากับ 20 เซนติเมตร ถังเป็นรูปแบบที่ไม่มีฝาปิดด้านบน ตัวถังประกอบด้วยช่องรับน้ำเสียจำนวน 4 ช่อง ประกอบด้วย ถังปรับสมดุลน้ำเสีย ขนาด 6 ลบ.ม.จำนวน 3 ช่อง และถังเติมอากาศ ขนาด 6 ลูกบาศก์เมตร จำวน 1 ช่อง

รูปแบบที่ 3 : ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตฝังใต้ดิน เป็นโครงสร้างคอนกรีตฝังอยู่ใต้ดิน ถังมีขนาดกว้าง 2.4 x 6.8 เมตร สูง 2.2 เมตร ขนาดความหนาของกำแพงเท่ากับ 20 เซนติเมตรโดยจะแบ่งเป็นสามถัง ตัวถังประกอบด้วยช่องรับน้ำเสียจำนวน 4 ช่อง ประกอบด้วย ถังปรับสมดุลน้ำเสีย ขนาด 6 ลบ.ม.จำนวน 3 ช่อง และถังเติมอากาศขนาด 6 ลบ.ม. จำวน 1 ช่อง ด้านบนของระบบมีฝาคอนกรีตปิดทึบในแต่ละตัวถัง และมีฝาเหล็กกลมไว้ใช้สำหรับลงไปเพื่อนซ่อมบำรุง เนื่องจากเป็นถังบำบัดน้ำเสียที่สร้างอยู่ใต้ดิน ทำให้มีปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนน้อย ไม่บดบังทัศนียภาพ และ สามารถในประโยชน์ของพื้นที่บริเวณฝาถังได้อีกด้วย

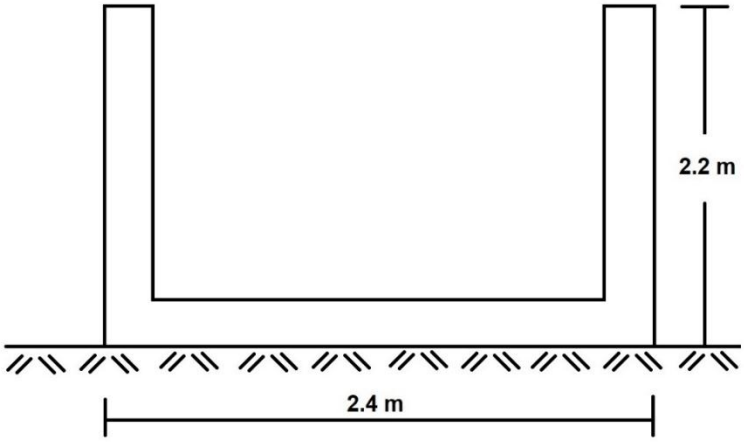
รายละเอียดการออกแบบโครงสร้าง

จากการกำหนดรูปแบบของโครงสร้างถังบำบัดน้ำเสีย จำนวน 3 รูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดและรายการคำนวนดังต่อไปนี้

ถังบำบัดน้ำเสียบนดิน



ออกแบบถังเก็บน้ำถังเก็บน้ำเสียไม่มีฝาปิด ที่มีขนาดกว้าง 2.4 เมตร ยาว 2.4 เมตร และลึก 2.2 เมตร ตั้งอยู่บนพื้นดินที่สามารถรับน้ำหนักถังได้ กำหนดให้ f’s=1,200 กก/ตร.ซม., j=0.876, R=10.56



1.หาแรงดันน้ำรวม ณ ความลึก 2.2 เมตร P_w = WH

= 1000 x 2.2 = 2,200 Kg/m²

แรงดันน้ำรวม (Pw) = $\frac{1}{2} \times \rho_w x$ H

= 0.5 x 2,200 x2.2

= 2,420 Kg/m.

2.การคำนวณหาแรงที่กระทำต่อพื้นก้นถัง

กรณี 1 เมื่อมีน้ำเต็มถัง

ความหนากำแพง $\frac{S}{20} \geq \frac{220}{20}$ = 11 ซม.

ความหนาที่เลือกใช้คือ 20 ซม. > 11 ซม. ใช้ได้

ระยะ d = 16 ซม.

ความหนาที่เลือกใช้คือ 20 ซม. > 11 ซม. ใช้ได้

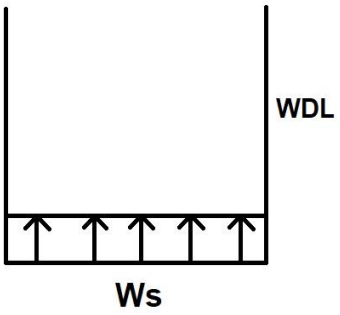
$W_{net} = W_w - W_{DL} = (1{,}000 \times 2.2 \times 1) + [(2.4 \times 0.2 \times 1) + 2\times (2.2 \times 0.2 \times 1)] \times \frac{2400}{3}$

= 2,200 – 1,360

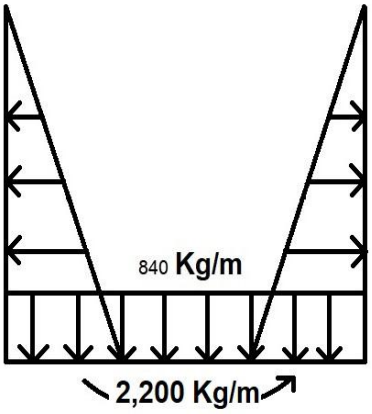
= 840 กก/ม.

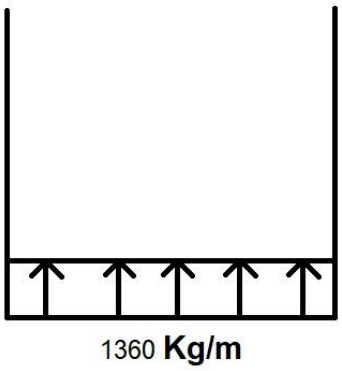
กรณี 2 เมื่อไม่มีน้ำในถัง

$W_{net} = W_s = W_{DL}$ = 1,360 กก/ม.



3.แรงดันน้ำรวม





4. หาค่า B/L , B/H ,H/L

B = 2.4 ม. , H = 2.2 ม. , L = 2.4 ม.

B/L = 2.4/2.4 = 1 > 0.5

B/H = 2.4/2.2 = 1.09 > 0.5

L/H =2.4/2.2 = 1.09 > 0

5. ออกแบบพื้นก้นถัง B/L = 1 โดยพื้นมีความหนา 20 ซม. d = 16 ซม.

- กรณีน้ำเต็มถัง ช่วงสั้น M^- = $0.033 \times 840 \times 2.4^2$ = 159.66 กก.-ม.

M^+ = $0.025 \times 840 \times 2.4^2$ = 120.96 กก.-ม.

ช่วงยาว M^- = $0.033 \times 840 \times 2.4^2$ = 159.66 กก.-ม.

M^+ = $0.025 \times 840 \times 2.4^2$ = 120.96 กก.-ม.

- กรณีไม่มีน้ำ ช่วงสั้น M^- = $0.033 \times 1,360 \times 2.4^2$ = 258.51 กก.-ม.

M^+ = $0.025 \times 1,360 \times 2.4^2$ = 195.84 กก.-ม.

ช่วงยาว M^- = $0.033 \times 1,360 \times 2.4^2$ = 258.51 กก.-ม.

M+ = $0.025 \times 1,360 \times 2.4^2$ = 195.84 กก.-ม.

พิจารณาค่าโมเมนต์ดัดที่มากในการเสริมเหล็ก

ช่วงสั้น

$As^- = \frac{258.51 \times 100}{1,200 \times 0.876 \times 16}$ = 1.536 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

$As^+ = \frac{195.84 \times 100}{1,200 \times 0.876 \times 16}$ = 1.164 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

ช่วงยาว

$As^- = \frac{258.51 \times 100}{1,200 \times 0.876 \times 16}$ = 1.536 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

$As^+ = \frac{195.84 \times 100}{1,200 \times 0.876 \times 16}$ = 1.164 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

6.ออกแบบกำแพงถัง

B/H = 2.4/2.2 = 1.09 > 0.5

L/H = 2.4/2.2 = 1.09 > 0.5

ออกแบบในกรณีที่น้ำเต็มถัง

ช่วงสั้น	$M^-_{ต่อเนื่อง}$	= 0.041 × 2,200 × 2.4^2	= 519.552 กก.-ม.
	$M^-_{ไม่ต่อเนื่อง}$	ไม่มี	
	$M^+_{กึ่งกลาง}$	= 0.031 × 2,200 × 2.4^2	= 392.832 กก.-ม.
ช่วงยาว	$M^-_{ต่อเนื่อง}$	= 0.041 × 2,200 × 2.4^2	= 519.552 กก.-ม.
	$M^-_{ไม่ต่อเนื่อง}$	= 0.021 × 2,200 × 2.4^2	= 266.112 กก.-ม.
	$M^+_{กึ่งกลาง}$	= 0.031 × 2,200 × 2.4^2	= 392.832 กก.-ม.

พิจารณาค่าจากค่าโมเมนต์ที่สูงที่สุด

$d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{519.552 \times 100}{10.56 \times 100}}$ = 6.99 ซม. เลือกใช้ d = 16 ซ.ม.

หาแรงดึงในกำแพง T_B

$h = \frac{H}{4}$ = 0.55 ม. เลือกใช้ 1 ม.

$T_B = \frac{w \times (H-h)L}{2} = \frac{1000 \times (2.2-1) \times 2.4}{2}$ = 1,440 กก.

หาปริมาณเหล็กเสริมมุมถัง

$A_s = \frac{(M - TB \times (d - \frac{t}{2}))}{f's dj} + \frac{TB}{f_s s}$ = 1.22 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก *DB12 @ 0.2 ม.* (5.65 ตร.ซม./ม.)

หาปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว

A_{st} = 0.0025bt = 0.0025×100×20 = 5 ตร.ซม เลือกใช้เหล็ก *DB12 @ 0.2* ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

หาปริมาณเหล็กเสริม

ช่วงสั้น

$As^-_{ต่อเนื่อง} = \frac{519.552 \times 100}{1{,}200 \times 0.876 \times 16}$ = 3.089 ตร.ซม./ม.เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร. ซม./ม.)

$As^+_{กึ่งกลาง} = \frac{392.832 \times 100}{1{,}200 \times 0.876 \times 16}$ = 2.335 ตร.ซม./ม.เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.

ซม./ม.)

ช่วงยาว

$As^{-}_{\text{ต่อเนื่อง}} = \frac{519.552\times 100}{1{,}200\times 0.876\times 16}$ = 3.089 ตร.ซม./ม.เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร. ซม./ม.)

$As^{-}_{\text{ไม่ต่อเนื่อง}} = \frac{266.112\times 100}{1{,}200\times 0.876\times 16}$ = 1.582 ตร.ซม./ม.เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร. ซม./ม.)

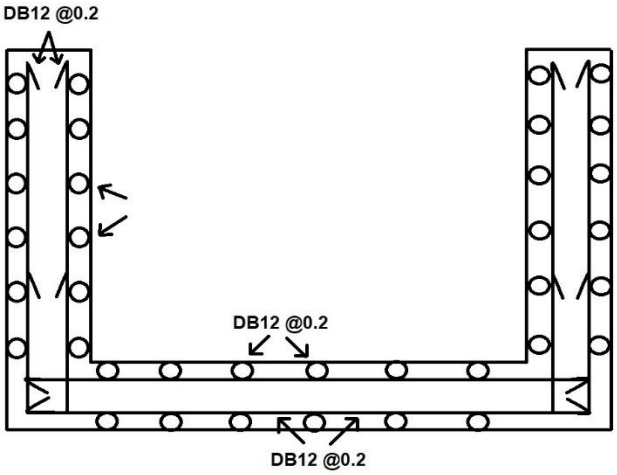
$As^{+}_{\text{กึ่งกลาง}} = \frac{392.832\times 100}{1{,}200\times 0.876\times 16}$ = 2.335 ตร.ซม./ม.เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร. ซม./ม.)

7. ออกแบบเสาเข็ม (เสาเข็มตอก)

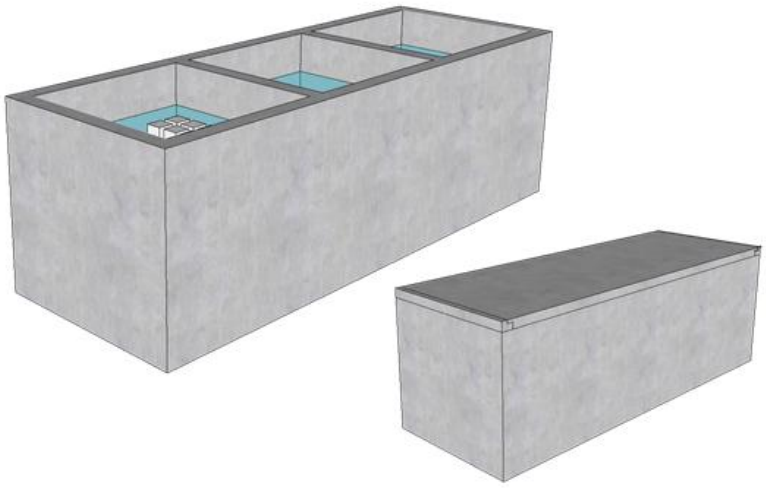
7.1 น้ำหนักลงเสาเข็ม 120 ตัน

7.2 ขนาดเสาเข็มที่เลือก หน้าตัดสีเหลี่ยม 0.18 × 0.18 เมตร Load capacity 21 ตัน

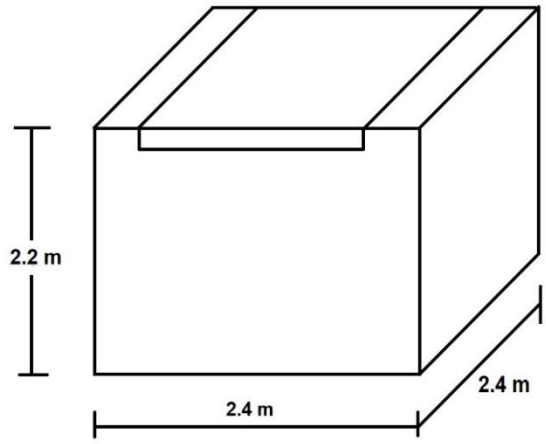
7.3 จำนวนเสาเข็ม 6 ต้น



ถังบำบัดน้ำเสียบนดิน



ออกแบบถังเก็บน้ำถังเก็บน้ำเสียมีฝาปิด ที่มีขนาดกว้าง *2.4* เมตร ยาว *2.4* เมตร และลึก *2.2* เมตร ตั้งอยู่บนพื้นดินที่สามารถรับน้ำหนักถังได้ กำหนดให้ f's=1,200 กก./ตร.ซม., j=0.876, R=10.56 น้ำหนักดินข้างถัง =2500 *กก/ม.* $\emptyset$*=30°* W_{LL}*=100* กก./ตร.ม.



1.หาแรงดันน้ำรวม ณ ความลึก 2.2 เมตร P_w = WH

= 1000 x 2.2 = 2,200 Kg/m²

แรงดันน้ำรวม (Pw) = $\frac{1}{2} \times \rho_w \times H$

= 0.5 x 2,200 x2.2

= 2,420 Kg/m.

2.หาแรงดันดินเนื่องจากความลึกของดิน

แรงดันดิน ณ ดินลึก 2.2 ม. (p_{SH}) $= \tan^2(45 - \frac{\emptyset}{2})wH$

$= \tan^2(45 - \frac{30}{2}) \times 1500$

$\times 2.2$

= 1,100 กก./ตร.ม.

แรงดันรวมของดิน P_s $= \frac{1}{2} \times \rho_{SH} \times H$

$= 0.5 \times 1,100 \times 2.2$

= 1,210 กก./ตร.ม.

3.หาแรงดันดินเนื่องจากน้ำหนักกดทับด้านข้างถัง

p_{sw} $= w \tan^2(45 - \frac{\emptyset}{2})$

$= 2,500 \times \tan^2(45 - \frac{30}{2})$

= 833.33 กก./ตร.ซม.

P_{sw} $= p_{sw} \times H$

$= 833.33 \times 2.2$

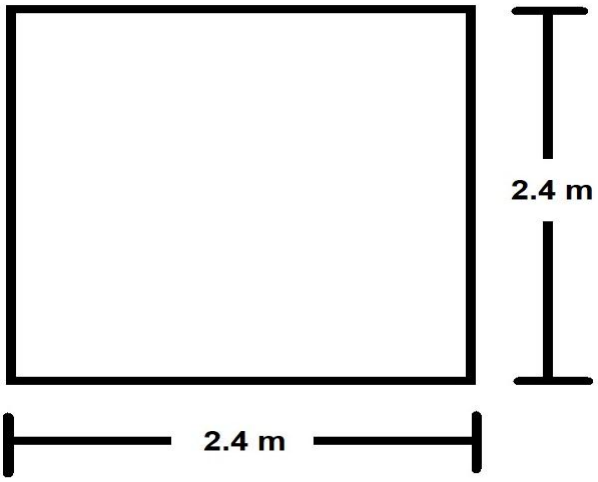
= 1833.326 กก./ม.

4.น้ำหนักบรรทุกจร (W_{LL}) = 100 กก./ตร.ม.

กำหนดความหนาฝาถัง = 15 ซม.

น้ำหนักฝาถังคอนกรีต = 2,400 × 0.15 = 360 กก./ตร.ม.

น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด = 100+360 = 460 กก./ตร.ม.



5.หาแรงกระทำที่พื้นก้นถัง ให้คิดความกว้างของถัง 1 ม.

- **กรณี 1 เมื่อมีน้ำเต็มถัง**

W_{LL} = 100 กก./ตร.ม. = 100 × 1 = 100 กก./ม.

ความหนากำแพง $= \frac{S}{20} \geq \frac{220}{20}$ = 11 ซม.

ความหนาที่เลือกใช้คือ 20 ซม. > 11 ซม. ใช้ได้ ระยะ d = 16 ซม.

ดังนั้น ให้ความหนาพื้นก้นถัง = 20 ซม.

W_{DL} = $[(2.4 \times 0.15 \times 1) + (2.2 \times 0.2 \times 1 \times 2) + (2.4 \times 0.2 \times 1)] \times \frac{2400}{3}$

= 1,368 กก./ม.

W_W = 1,000 × 2.2 × 1

= 2,200 กก./ม.

W_{NET} = 2,200 – 100 – 1,368

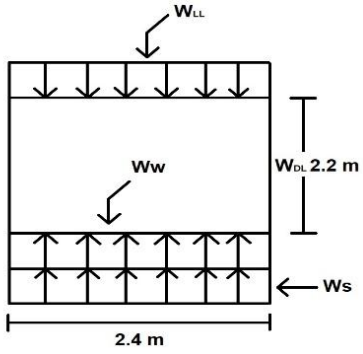
= 732 กก./ม.

- **กรณี 2 เมื่อไม่มีน้ำในถัง**

W_{LL} = 100 กก./ม.

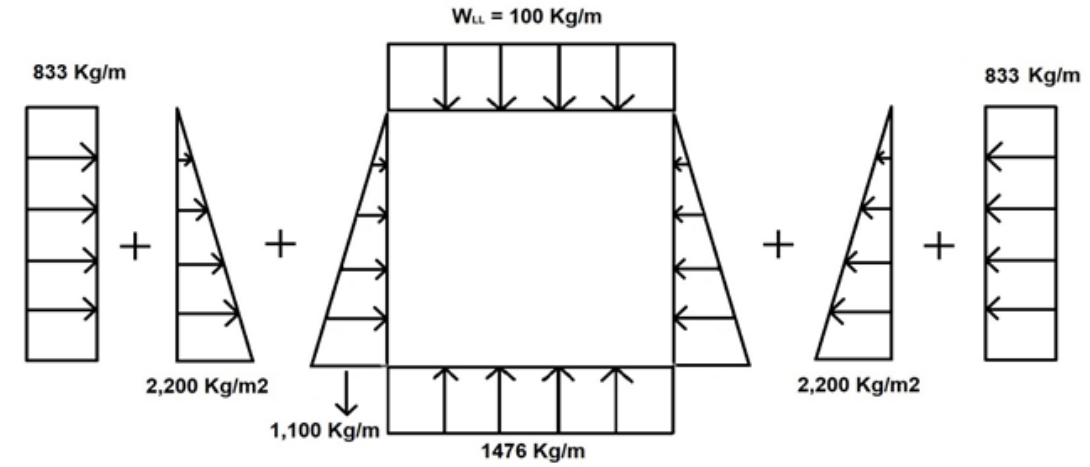
W_{DL} = 1,376 กก./ม.

$W_{NET} = W_S$ = 1,476 กก./ม.

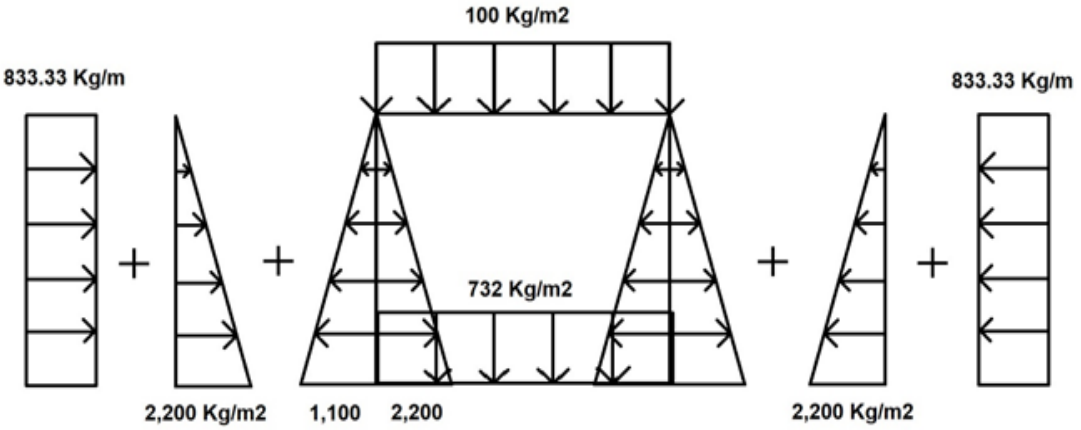


6.แรงกระทำทั้งหมด

- **เมื่อไม่มีน้ำในถัง**



- **เมื่อมีน้ำในถัง**



7.หาค่า B/L , B/H , H/L

B = 2.4 ม. , H = 2.2 ม. , L = 2.4 ม.

B/L = 2.4/2.4 = 1 > 0.5

B/H = 2.4/2.2 = 1.09 > 0.5

H/L =2.2/2.4 = 0.92 > 0.5

8.คำนวณออกแบบฝาถัง

B/L = 1 เป็นการดัดแบบพื้นสองทางไม่ต่อเนื่องสี่ด้าน

t = 15 ซม. และ d = 12 ซม.

ช่วงสั้น $M^{-} = 0.033 \times 460 \times 2.4^{2}$ = 87.437 กก.-ม.

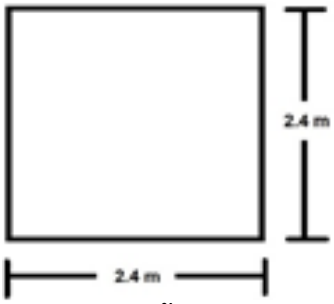
	M^+	$= 0.025 \times 460 \times 2.4^2$	= 66.240 กก.-ม.
ช่วงยาว	M^-	$= 0.033 \times 460 \times 2.4^2$	= 87.437 กก.-ม.
	M^+	$= 0.025 \times 460 \times 2.4^2$	= 66.240 กก.-ม.

เนื่องจากโมเมนต์ดัด M^-ของช่วงสั้น มีค่าเท่ากับ M^-ของช่วงยาว และ M^+ของช่วงสั้น มีค่าเท่ากับ M^+ของช่วงยาว จึงใช้ในการพิจารณาเหล็กเสริมได้

$$As^- = \frac{87.437 \times 100}{1,200 \times 0.876 \times 16} = 0.519 \text{ ตร.ซม./ม.}$$ เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

$$As^+ = \frac{66.240 \times 100}{1,200 \times 0.876 \times 16} = 0.394 \text{ ตร.ซม./ม.}$$ เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

9.ออกแบบพื้นก้นถัง



B/L = 1

t d = 15 ซม.

= 12 ซม.

- **กรณีน้ำเต็มถัง**

ช่วงสั้น	M^-	$= 0.033 \times 732 \times 2.4^2$	= 139.138 กก.-ม.
	M^+	$= 0.025 \times 732 \times 2.4^2$	= 105.408 กก.-ม.
ช่วงยาว	M^-	$= 0.033 \times 732 \times 2.4^2$	= 139.138 กก.-ม.
	M^+	$= 0.025 \times 732 \times 2.4^2$	= 105.408 กก.-ม.

- **กรณีไม่มีน้ำ**

ช่วงสั้น	M^-	$=0.033 \times 1,476 \times 2.4^2$	= 137.620 กก.-ม.
	M^+	$= 0.025 \times 1,476 \times 2.4^2$	= 104.260 กก.-ม.
ช่วงยาว	M^-	$= 0.033 \times 1,476 \times 2.4^2$	= 137.620 กก.-ม.
	M^+	$= 0.025 \times 1,476 \times 2.4^2$	= 104.260 กก.-ม.

พิจารณาค่าโมเมนต์ดัดที่มากในการเสริมเหล็ก

ช่วงสั้น

$As^{-} = \frac{139.138 \times 100}{1,200 \times 0.876 \times 16}$ = 0.827 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

$As^{+} = \frac{105.408 \times 100}{1,200 \times 0.876 \times 16}$ = 0.626 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

ช่วงยาว

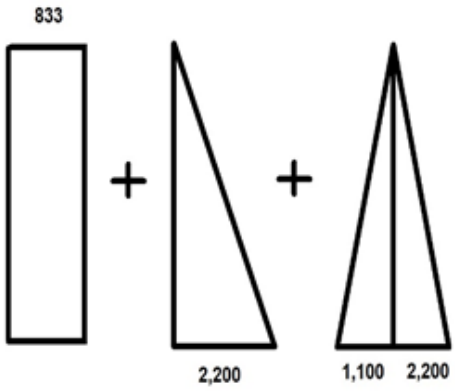
$As^{-} = \frac{139.138 \times 100}{1,200 \times 0.876 \times 16}$ = 0.827 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

$As^{+} = \frac{105.408 \times 100}{1,200 \times 0.876 \times 16}$ = 0.626 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

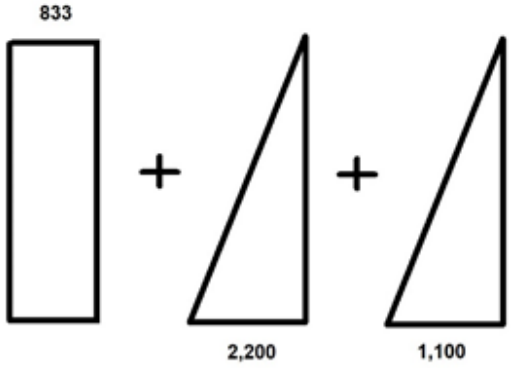
A_{st} = 0.0025bt = 0.0025 × 100 × 20 = 5 ตร.ซม

เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. *(5.65 ตร.ซม./ม.)*

10.ออกแบบกำแพงตั้ง

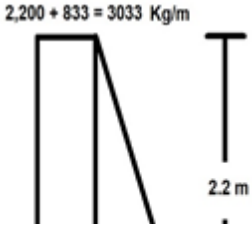


เมื่อมีน้ำเต็มถัง (Kg/m)



เมื่อไม่มีน้ำในถัง (Kg/m)

ออกแบบในกรณีที่น้ำเต็มถัง

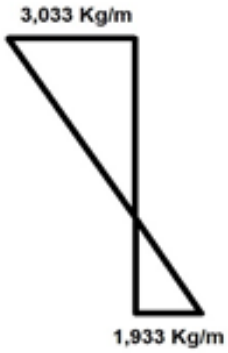


ช่วงสั้น

$M^{-}_{\text{ต่อเนื่อง}}$ = 0.041 × (3,033 – 1,100) × 2.4^2 = 456.490 กก.-ม.

$M^{-}_{\text{ไม่ต่อเนื่อง}}$ = ไม่มี

$M^{+}_{\text{กึ่งกลาง}}$ = 0.031 × (3,033 – 1,100) × 2.4^2 = 345.150 กก.-ม.



ช่วงยาว

$M^{-}_{\text{ต่อเนื่อง}}$ = 0.041 × 1,933 × 2.4^2 = 519.552 กก.-ม.

$M^{-}_{\text{ไม่ต่อเนื่อง}}$ = 0.021 × 3,033 × 2.4^2 = 266.112 กก.-ม.

$M^{+}_{\text{กึ่งกลาง}}$ = 0.031 × ($\frac{\mathbf{1{,}100}}{\mathbf{2}}$ + 3,033) × 2.4^2 = 639.780 กก.-ม.

พิจารณาค่าโมเมนต์ดัดที่มากในการเสริมเหล็ก

$$d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{976.040 \times 100}{10.56 \times 100}} = 9.61 \text{ ซม.}$$ เลือกใช้ d = 16 ซ.ม.

หาแรงดึงในกำแพง T_B

$$h = \frac{H}{4} = 0.55 \text{ ม.}$$ เลือกใช้ 1 ม.

$$T_B = \frac{w \times (H-h)L}{2} = \frac{1000 \times (2.2-1) \times 2.4}{2} = 1{,}440 \text{ กก.}$$

หาปริมาณเหล็กเสริมมุมถัง

$$A_s = \frac{(M - TB \times (d - \frac{t}{2}))}{f's dj} + \frac{TB}{f_s}$$ = 1.83 ตร.ซม./ม เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

หาปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว

A_{st} = 0.0025bt = 0.0025×100×20 = 5 ตร.ซม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

หาปริมาณเหล็กเสริม

ช่วงสั้น

$As^{-}_{\text{ต่อเนื่อง}} = \frac{976.04 \times 100}{1{,}200 \times 0.876 \times 16}$ = 5.803 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB16 @ 0.2 ม. (10.05 ตร.ซม./ม.)

$As^{+}_{\text{กึ่งกลาง}} = \frac{737.988 \times 100}{1{,}200 \times 0.876 \times 16}$ = 4.387 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

ช่วงยาว

$A_{s\ \text{ต่อเนื่อง}}^{-} = \frac{976.04 \times 100}{1{,}200 \times 0.876 \times 16}$ = 0.827 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

$A_{s\ \text{ไม่ต่อเนื่อง}}^{-} = \frac{433.39 \times 100}{1{,}200 \times 0.876 \times 16}$ = 0.626 ตร.ซม./ม. เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

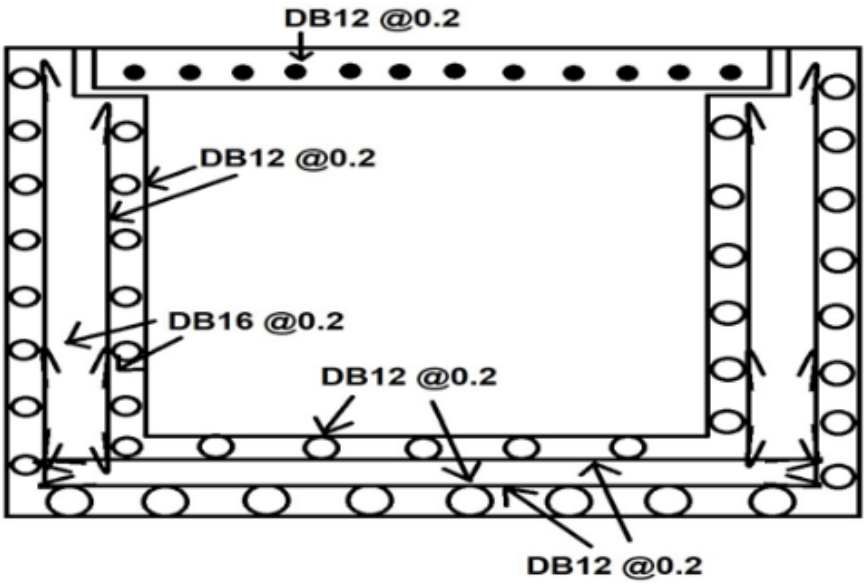
$A_{s\ \text{กึ่งกลาง}}^{+} = \frac{639.78 \times 100}{1{,}200 \times 0.876 \times 16}$ = 3.803 *ตร.ซม./ม.* เลือกใช้เหล็ก DB12 @ 0.2 ม. (5.65 ตร.ซม./ม.)

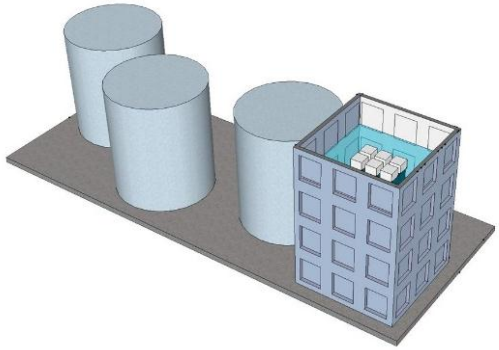
11. ออกแบบเสาเข็ม (เสาเข็มตอก)

11.1 น้ำหนักลงเสาเข็ม 120 ตัน

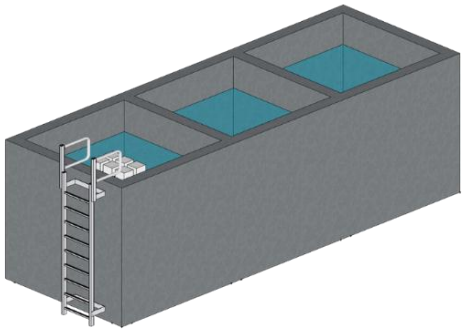
11.2 ขนาดเสาเข็มที่เลือก หน้าตัดสีเหลี่ยม 0.18 × 0.18 เมตร Load capacity 21 ตัน

11.3 จำนวนเสาเข็ม 6 ต้น

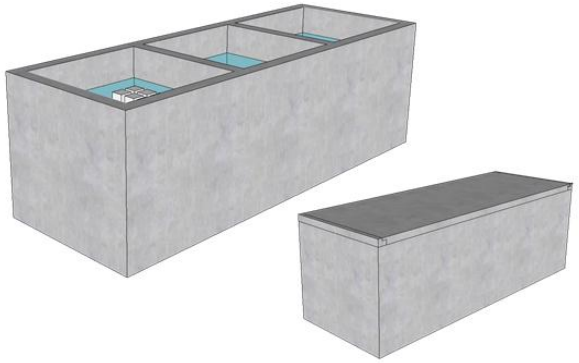




ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป



ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตวางบนดิน



ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตฝังใต้ดิน

รูปแบบการติดตั้งระบบถังตกตะกอนชีวภาพแบบมีเมมเบรนทั้ง 3 รูปแบบ

การประเมินราคางานโครงสร้าง

จากการนำเสนอระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 รูปแบบ ที่มีความแตกต่างกันในลักษณะของโครงสร้าง คือ 1) ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป 2) ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตวางบนดิน และ 3) ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตฝังใต้ดิน พบว่ากระบวนการก่อสร้างมีผลต่อปริมาณงานและราคาค่าก่อสร้าง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป มีขั้นตอนการก่อสร้าง ดังนี้

1.1 ขุดดินและปรับหน้าดินให้มีระดับเดียวกัน

1.2 วางต้าแหน่งพิกัดที่ต้องการตอกเสาเข็ม และเช็คระดับอีกรอบ

1.3 ตอกเสาเข็ม และสกัดหัวเสาเข็ม

1.4 ปรับระดับด้วยทรายอัดแน่น และคอนกรีตหยาบ

1.5 ตีไม้แบบให้มีขนาดเท่ากับพื้นที่ต้องการเทคอนกรีต

1.6 วางตะแกรงเหล็กสำเร็จรูป โดยทำการผูกรั้งเหล็กที่สกัดไว้กับตะแกรงเหล็กสำเร็จรูป

1.7 เทคอนกรีต และบ่มคอนกรีตภายในระยะเวลา 3 - 5 วัน

1.8 การติดตั้งถังปรับสมดุลน้ำเสีย จำนวน 3 ถัง และถังเติมอากาศผลิตจากไฟเบอร์กลาส จำนวน 1 ถัง

2) ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตวางบนดิน มีขั้นตอนการก่อสร้าง ดังนี้

2.1 ขุดดินและปรับหน้าดินให้มีระดับเดียวกัน

2.2 วางต้าแหน่งพิกัดที่ต้องการตอกเสาเข็ม และเช็คระดับอีกรอบ

2.3 ตอกเสาเข็ม และสกัดหัวเสาเข็ม

2.4 ปรับระดับด้วยทรายอัดแน่น และคอนกรีตหยาบ

2.5 สานเหล็กตามที่ออกแบบไว้ทั้งพื้นและก้าแพง

2.6 ตีไม้แบบพื้นก่อน จากนั้นเทคอนกรีต และบ่มคอนกรีต 3-5 วัน

2.7 ตีไม้แบบของกำแพงทุกด้านทั้งด้านนอกและด้านใน จากนั้นเทและบ่มคอนกรีต 3 - 5 วัน

3) ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตฝังใต้ดิน มีขั้นตอนการก่อสร้าง ดังนี้

3.1 ขุดดินให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ

3.2 วางต้าแหน่งพิกัดที่ต้องการตอกเสาเข็ม และเช็คระดับอีกรอบ

3.3 ตอกเสาเข็ม และสกัดหัวเสาเข็ม

3.4 ปรับระดับด้วยทรายอัดแน่น และคอนกรีตหยาบ

3.5 สานเหล็กตามที่ออกแบบไว้ทั้งพื้นและกำแพง

3.6 ตีไม้แบบพื้นก่อน จากนั้นเทคอนกรีต และบ่ม 3-5 วัน

3.7 ตีไม้แบบของกำแพงทุกด้านทั้งด้านนอกและด้านใน จากนั้นเทและบ่มคอนกรีต 3 - 5 วัน

3.8 ทำฝาถังแยกเพื่อปิดระบบ โดยเจาะรูตรงกลางเพื่อใส่ฝาสำเร็จรูป

ตารางสรุปรายการวัสดุในการก่อสร้างโครงสร้างถังบำบัดทั้ง 3 รูปแบบ

ลำดับที่	รายการ	หน่วย	จำนวนวัสดุ		
			รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
1	ดินขุดและถมกลับ	ลบ.ม.	14.00	7.00	40.00
2	งานปรับพื้นที่	ตร.ม.	28.00	20.00	15.00
3	เสาเข็ม คอร. ขนาด 0.18x0.18x0.21 เมตร	ต้น	8.00	6.00	6.00
4	ทรายหยาบบดอัดแน่น	ลบ.ม.	1.00	0.50	0.50
5	คอนกรีตหยาบผสมเสร็จ 1 : 3 :5	ลบ.ม.	1.00	0.5	0.5
6	คอนกรีตโครงสร้าง 280 ksc (รูปทรงกระบอก)	ลบ.ม.	7.00	15.00	18.00
7	ตะแกรงเหล็กสำเร็จรูป Ø 6 มม. @ 0.15 มม. 2 ชั้น	ตร.ม.	32.00	-	-
8	ลวดผูกเหล็ก	กก.	1.00	50.00	50.00
9	ไม้แบบ	ตร.ม.	5.00	48.00	50.00
10	เหล็ก DB12 SD.40 (0.88 kg./m.)	ตัน	-	0.30	0.65
11	เหล็ก DB16 SD.40 (1.58 kg./m.)	ตัน	-	0.10	0.20
12	ถังปรับสภาพน้ำเสียความจุ 4,000 ลิตร	ชุด	3.00	-	-
13	ถังไฟเบอร์กล๊าส	ชุด	1.00	-	
14	เยื่อกรอง+ระบบเติมอากาศ	ระบบ	1.00	1.00	1.00

ประมาณการก่อสร้าง	:	ระบบบำบัดMBRถังคอนกรีตเสริมเหล็กบนดิน					PR NO.		
เจ้าของ	:						ระยะเวลาดำเนินการ = 60 วัน		
สถานที่ก่อสร้าง	:								
	:								

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		ค่าวัสดุและแรงงาน	หมายเหตุ
				ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน	ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน		
	งานก่อสร้างถังบำบัดน้ำเสีย								
1	ดินขุดและถมกลับ	20	ลบ.ม.	-	-	200	4,000	4,000	
2	งานปรับพื้นที่	15	ตร.ม.	-	-	150	2,250		
3	ทรายหยาบบดอัดแน่น	0.5	ลบ.ม.	400	200	100	50	250	
4	คอนกรีตหยาบ	0.8	ลบ.ม.	1,900	1,520	400	320	1,840	
5	คอนกรีตโครงสร้าง 280 ksc (CY)	1	ลบ.ม.	2,200	2,640	500	600	3,240	
6	ไม้แบบ	6	ตร.ม.	200	1,200	150	900	2,100	
7	เหล็กเสริม 6 มม. 2ชั้น	16.00	ตร.ม.	65	1,040	50	800	1,840	
8	ลวดผูกเหล็ก	50	KG.		-		-	-	
9	เสาเข็ม คอร. ขนาด 0.15x0.1x0.4	8	ต้น	650	5,200	500	4,000	9,200	
10	ถังปรับสภาพน้ำเสียความจุ 4,000 ลิตร	3	ชุด	28,000	84,000		4,000	88,000	
11					-		4,000	4,000	
12	ระบบ Membrane	1	ระบบ	150,000	150,000		-	150,000	
	รวมค่าวัสดุ-ค่าแรง				**245,800**		**20,920**	**264,470**	
	ค่าดำเนินการ+กำไร(จากค่าแรง)	-	%					-	
	หมายเหตุ ระยะเวลาดำเนินงานก่อสร้าง 60 วัน								
	รวมค่าวัสดุ+ค่าแรง+กำไร รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	**สองแสนหกหมื่นสี่พันสี่ร้อยเจ็ดสิบบาทถ้วน**						**264,470.00**	

รูป ผ4-1 การก่อสร้างแบบสำเร็จรูป

ประมาณการก่อสร้าง	:	ระบบบำบัดMBRถังคอนกรีตเสริมเหล็กบนดิน						PR NO.	
เจ้าของ	:							ระยะเวลาดำเนินการ = 60 วัน	
สถานที่ก่อสร้าง	:								
	:								
ลำดับที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		ค่าวัสดุและแรงงาน	หมายเหตุ
				ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน	ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน		
	งานก่อสร้างถังบำบัดน้ำเสีย								
1	ดินขุดและถมกลับ	18	ลบ.ม.	-	-	200	3,600	3,600	
2	งานปรับพื้นที่	20	ตร.ม.			150	3,000		
2	ทรายหยาบบดอัดแน่น	0.5	ลบ.ม.	400	200	100	50	250	
3	คอนกรีตหยาบ	0.5	ลบ.ม.	1,900	950	400	200	1,150	
4	คอนกรีตโครงสร้าง 280 ksc (CY)	15	ลบ.ม.	2,200	33,000	500	7,500	40,500	
5	ไม้แบบ	48	ตร.ม.	200	9,600	150	7,200	16,800	
6	เหล็ก DB12 SD.40 (0.88 kg./m.)	300.00	KG.	35	10,500	15	4,500	15,000	
7	เหล็กเสริม DB16 SD.40 (1.58 kg./m.)	100	KG.	35	3,500	15	1,500	5,000	
8	ลวดผูกเหล็ก	50	KG.		-		-	-	
9	เสาเข็ม คอร. ขนาด 0.18x0.18x0.21	6	ต้น	3,500	21,000	1,116	6,696	27,696	
10	ระบบ Membrane	1	ระบบ	150,000	150,000		-	150,000	
	รวมค่าวัสดุ-ค่าแรง				**228,750**		**34,246**	**259,996**	
	ค่าดำเนินการ+กำไร(จากค่าแรง)	-	%					-	
	หมายเหตุ ระยะเวลาดำเนินงานก่อสร้าง 60 วัน								
	รวมค่าวัสดุ+ค่าแรง+กำไร รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	**สองแสนห้าหมื่นเก้าพันเก้าร้อยเก้าสิบหกบาทถ้วน**						**259,996.00**	

รูป ผ4-2 การก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตบนพื้นดิน

ประมาณการก่อสร้าง	:	ระบบบำบัดMBRถังคอนกรีตเสริมเหล็กบนดิน						PR NO.	
เจ้าของ	:							ระยะเวลาดำเนินการ = 60 วัน	
สถานที่ก่อสร้าง	:								
	:								
ลำดับที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		ค่าวัสดุและแรงงาน	หมายเหตุ
				ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน	ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน		
	งานก่อสร้างถังบำบัดน้ำเสีย								
1	ดินขุดและถมกลับ	7	ลบ.ม.	-	-	200	1,400	1,400	
2	งานปรับพื้นที่	20	ตร.ม.			20	400		
3	ทรายหยาบบดอัดแน่น	0.5	ลบ.ม.	400	200	100	50	250	
4	คอนกรีตหยาบ	0.5	ลบ.ม.	1,900	950	400	200	1,150	
5	คอนกรีตโครงสร้าง 280 ksc (CY)	25	ลบ.ม.	2,200	55,000	500	12,500	67,500	
6	ไม้แบบ	48	ตร.ม.	200	9,600	150	7,200	16,800	
7	เหล็ก DB12 SD.40 (0.88 kg./m.)	650.00	KG.	35	22,750	15	9,750	32,500	
8	เหล็ก DB16 SD.40 (1.58 kg./m.)	100.00	KG.	35	3,500	15	1,500	5,000	
9	ลวดผูกเหล็ก	50	KG.		-		-	-	
10	เสาเข็ม คอร. ขนาด 0.18x0.18x0.21	6	ต้น	3,500	21,000	1,116	6,696	27,696	
11	ระบบ Membrane	1	ระบบ	150,000	150,000		-	150,000	
	รวมค่าวัสดุ-ค่าแรง				**263,000**		**39,696**	**302,296**	
	ค่าดำเนินการ+กำไร(จากค่าแรง)	-	%					-	
	หมายเหตุ ระยะเวลาดำเนินงานก่อสร้าง 60 วัน								
	รวมค่าวัสดุ+ค่าแรง+กำไร รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	**สามแสนสองพันสองร้อยเก้าสิบหกบาทถ้วน**						**302,296.00**	

รูป ผ4-3 การก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตใต้ดินแบบมีฝาปิด

จากการประเมินราคาในการก่อสร้างและการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย ในด้านราคาค่าก่อสร้าง ของโครงสร้างที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ 1) ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป 2) ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตวางบนดิน และ 3) ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตฝังใต้ดิน พบว่า ระบบที่เหมาะสมที่สุดคือ ถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตวางบนดิน ซึ่งมี ราคาค่าก่อสร้างถูกกว่า ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป และถังบำบัดน้ำเสียคอนกรีตฝังใต้ดิน คิดเป็นร้อยละ 55.93 และร้อยละ 10.10 โดยราคาและค่าแรงก่อสร้างอ้างอิงมาจาก บัญชีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน สำหรับปีงบประมาณ พ.ศ.2562 ในส่วนของระบบเยื่อกรอง ระบบเติมอากาศ ถังไฟเบอร์กลาส และถังปรับ สภาพน้ำเสียความจุ 4000 ลิตร อ้างอิงมาจากการสอบถามราคาภายนอก