# สารบัญ


| บทที่ | | | หน้า |
|---|---|---|---|
| | | กิตติกรรมประกาศ | |
| | | Abstract | |
| | | Executive Summary | |
| 1 | | **บทนำและความสำคัญ** | |
| | 1-1 | ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย | 1-1 |
| | 1-2 | วัตถุประสงค์ของโครงการ | 1-4 |
| 2 | | **ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | |
| | 2-1 | การบำบัดน้ำ-ปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อผลิตน้ำประปาแบบดั้งเดิม | 2-1 |
| | 2-2 | การทำน้ำให้ใสด้วยระบบเยื่อกรองลักษณะพรุน | 2-2 |
| | 2-3 | ฟลาวริ่งและการสะสมตัวของอนุภาคในระบบแผ่นเยื่อกรองลักษณะพรุน | 2-6 |
| | 2-4 | ประโยชน์ของการเติมอากาศเพื่อเป็นตัวก่อเกิดความปั่นป่วน | 2-13 |
| | 2-5 | ระบบเยื่อกรองที่มีชุดเยื่อกรองจมตัว | 2-15 |
| | 2-6 | ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้และสมรรถนะของระบบเยื่อกรองในการปรับปรุงคุณภาพน้ำใช้ | 2-16 |
| 3 | | **วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง** | |
| | 3-1 | วัสดุและอุปกรณ์ | 3-1 |
| | 3-2 | ตัวแปรวิเคราะห์ ตัวอย่างน้ำป้อน และสารปรับสภาพน้ำ | 3-4 |
| | 3-3 | สภาวะและชุดการทดลอง | 3-8 |
| | 3-4 | วิธีการศึกษา | 3-11 |
| 4 | | **ผลการศึกษา** | |
| | 4-1 | ประสิทธิภาพการปรับสภาพน้ำผิวดินและน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ ด้วยสารปรับสภาพน้ำ | 4-1 |
| | 4-2 | ผลการศึกษาเพื่อหาค่าฟลักซ์วิกฤตที่สภาวะต่างๆ ของการศึกษา (น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำ ม.สงขลานครินทร์) | 4-17 |
| | 4-3 | ผลการศึกษาเพื่อหาค่าฟลักซ์วิกฤตที่สภาวะต่างๆ ของการศึกษา (น้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สองจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ | 4-29 |

# สารบัญ (ต่อ)


| บทที่ | | | หน้า |
|---|---|---|---|
| 4 | | **ผลการศึกษา (ต่อ)** | |
| | 4-4 | ผลการศึกษาเพื่อทดสอบสมรรถนะการเดินระบบแบบต่อเนื่อง | 4-32 |
| | 4-5 | ผลการศึกษาสาเหตุ กลไกการอุดตัน และประสิทธิภาพการล้างเพื่อฟื้นสภาพเยื่อกรอง: กรณีน้ำผิวดินและน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง | 4-34 |
| | 4-6 | ผลการศึกษาเพื่อทดสอบสมรรถนะการเดินระบบแบบต่อเนื่อง: กรณี Model suspension (สารละลายกรดฮิวมิก สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ สารแขวนลอยผงถ่านกัมมันต์ และสารผสมสองชนิด) | 4-44 |
| | 4-7 | ผลการศึกษาสาเหตุ กลไกการอุดตัน และประสิทธิภาพการล้างเพื่อฟื้นสภาพเยื่อกรอง:กรณี Model suspension (สารละลายกรดฮิวมิก สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ สารแขวนลอยผงถ่านกัมมันต์ และ สารผสมสองชนิด) | 4-50 |
| 5 | | **สรุปผลการศึกษา** | 5-1 |
| 6 | | **Output ที่ได้จากโครงการฯ** | 6-1 |
| | | **เอกสารอ้างอิง** | R-1 |
| | | **ภาคผนวก** | S-1 |
| | ภาคผนวก1 | Reprint/Manuscript and Acceptance paper confirmation | S-2 |
| | ภาคผนวก2 | นำเสนอบทความวิจัยฯ | S-3 |
| | ภาคผนวก3 | กราฟแสดงผลการวัดค่าความต้านทานเยื่อกรองในชุดการการทดลอง: กรณี Model suspension (สารละลายกรดฮิวมิก สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ สารแขวนลอยผงถ่านกัมมันต์ และสารผสมสองชนิด) | S-4 |
| | ภาคผนวก4 | กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสารป้อน | S-11 |
| | ภาคผนวก5 | สเปกตรัม FTIR ของน้ำดิบผิวดินและน้ำทิ้งหลังบำบัดจากระบบบำบัดฯ | S-12 |
| | ภาคผนวก6 | ผลการประเมินเบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์ของระบบฯ | S-14 |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2-1 | สรุปค่าฟลักซ์วิกฤตในระบบเยื่อกรองที่สภาวะต่างๆ ของการเดินระบบฯ | 2-9 |
| 2-2 | ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงลักษณะทางไฮโดรไดนามิกส์-ก๊าซรวมกับของเหลว | 2-17 |
| 2-3 | เปรียบเทียบสมรรถนะของการปรับปรุงคุณภาพน้ำใช้ด้วยระบบเยื่อกรองด้วยการกรองแบบปิดตาย | 2-18 |
| 2-4 | การเปรียบเทียบสมรรถนะของการปรับปรุงคุณภาพน้ำใช้ ด้วยระบบเยื่อกรองที่มีรูปแบบการกรองแบบไหลขวาง | 2-20 |
| 3-1 | ลักษณะจำเพาะของชุดเยื่อกรองศึกษา | 3-2 |
| 3-2 | ตัวแปรคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ในน้ำป้อนเข้าระบบ | 3-5 |
| 3-3 | ตัวแปรคุณภาพน้ำวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำป้อนเข้าและออกจากระบบเยื่อกรอง | 3-6 |
| 3-4 | ลักษณะน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำ ม.สงขลานครินทร์ (เก็บตัวอย่าง ธ.ค. 2548) | 3-6 |
| 3-5 | ลักษณะน้ำทิ้งหลังบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ | 3-7 |
| 3-6 | ลักษณะจำเพาะถ่านกัมมันต์ชนิดผง | 3-7 |
| 3-7 | องค์ประกอบและลักษณะจำเพาะกรดฮิวมิกชนิดผง | 3-8 |
| 3-8 | สภาวะการทดลองเพื่อหาปริมาณสารปรับสภาพน้ำป้อนที่เหมาะสม | 3-9 |
| 3-9 | สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาและทดสอบสมรรถนะของระบบฯ | 3-9 |
| 3-10 | การฟื้นสภาพชุดเยื่อกรอง | 3-13 |
| 4-1 | คุณภาพน้ำใสหลังปรับสภาพสารละลายอนุภาคเบนโทไนต์ 5,000 mg/Lด้วยเฟอริกคลอไรด์ | 4-6 |
| 4-2 | คุณภาพน้ำใสหลังปรับสภาพสารละลายอนุภาคเบนโทไนต์ 500 mg/L ด้วยเฟอริกคลอไรด์ (ปรับ pH) | 4-6 |
| 4-3 | คุณภาพน้ำใสหลังปรับสภาพสารละลายอนุภาคเบนโทไนต์ 5,000 mg/L ด้วยสารส้ม | 4-8 |
| 4-4 | คุณภาพน้ำใสหลังปรับสภาพสารละลายอนุภาคเบนโทไนต์ 500 mg/L ด้วยสารส้ม | 4-8 |
| 4-5 | คุณภาพน้ำใสหลังปรับสภาพน้ำผิวดิน ด้วยสารละลายเฟอริกคลอไรด์ | 4-11 |
| 4-6 | คุณภาพน้ำใสหลังปรับสภาพน้ำผิวดิน ด้วยสารละลายสารส้ม | 4-13 |
| 4-7 | คุณภาพน้ำใสหลังปรับสภาพน้ำผิวดิน ด้วยสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ | 4-14 |
| 4-8 | คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ ภายหลังปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง | 4-17 |
| 4-9 | ค่าฟลักซ์วิกฤตของน้ำผิวดินที่ไม่เติมและเติมสารปรับสภาพ ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-23 |

# สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4-10 | คุณภาพน้ำผิวดินดิบ จากอ่างเก็บน้ำ ม.สงขลานครินทร์ | 4-24 |
| 4-11 | คุณภาพน้ำใสภายหลังผ่านการกรองที่ไม่ปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอน ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-24 |
| 4-12 | คุณภาพน้ำใสหลังผ่านการกรอง ที่ปรับสภาพน้ำผิวดินด้วยสารละลายเฟอริกคลอไรด์ในปริมาณที่เหมาะสม 20 mg/L ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-25 |
| 4-13 | คุณภาพน้ำใสหลังผ่านการกรอง ที่ปรับสภาพน้ำผิวดินด้วยสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้มในปริมาณที่เหมาะสม 50 mg/L ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-26 |
| 4-14 | คุณภาพน้ำใสหลังผ่านการกรอง ที่ปรับสภาพน้ำผิวดินด้วยด้วยสารละลายโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ในปริมาณที่เหมาะสม 3 mg/L ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-26 |
| 4-15 | คุณภาพน้ำใสหลังผ่านการกรอง ที่ปรับสภาพน้ำผิวดิน ด้วยสารละลายเฟอริกคลอไรด์ที่ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม 50% 10 mg/L ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-27 |
| 4-16 | คุณภาพน้ำใสหลังผ่านการกรอง ที่ปรับสภาพน้ำผิวดินด้วยสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้มที่ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม 50% 25 mg/L ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-28 |
| 4-17 | คุณภาพน้ำใสหลังผ่านการกรองที่ปรับสภาพน้ำผิวดินด้วยสารละลายโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม 50% 1.5 mg/L ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-28 |
| 4-18 | ค่าฟลักซ์วิกฤตของน้ำหลังบำบัดขั้นที่สองที่ไม่เติมและเติมสารดูดติดผิว ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-30 |
| 4-19 | คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง จากบ่อบำบัดโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ | 4-31 |
| 4-20 | คุณภาพน้ำใสของน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง ภายหลังผ่านการกรองที่ไม่ปรับสภาพด้วยผงถ่านกัมมันต์ ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-31 |
| 4-21 | คุณภาพน้ำใสของน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง ภายหลังผ่านการกรองที่เติมสารดูดติดผิวที่เป็นผงถ่านกัมมันต์ชนิดผงด้วยค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 500 mg/L ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-32 |
| 4-22 | สรุปค่าความต้านทานภายหลังขั้นตอนการล้างฟื้นสภาพเมื่อกรองน้ำผิวดิน และน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ | 4-43 |
| 4-23 | สรุปค่าความต้านทานภายหลังขั้นตอนการล้างฟื้นสภาพเมื่อกรอง Model suspension | 4-52 |

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2-1 | แสดงลำดับขั้นของกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อการผลิตน้ำประปา | 2-1 |
| 2-2 | แสดงระดับของระบบเยื่อกรอง | 2-3 |
| 2-3 | แสดงรูปแบบของระบบบำบัด-ปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อผลิตน้ำใช้และน้ำคุณภาพสูงด้วยเทคโนโลยีเยื่อกรอง | 2-4 |
| 2-4 | การบำบัดน้ำทิ้ง-ปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อการนำกลับมาหมุนเวียนใหม่ด้วยเทคโนโลยีเยื่อกรองระดับไมโครฟิลเตรชั่นและอัลตราฟิลเตรชั่น | 2-5 |
| 2-5 | ระบบเยื่อกรองที่มีแผ่นเยื่อกรองจมตัว และ รูปแบบการติดตั้งระบบเติมอากาศแบบต่าง ๆ:ประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำใช้และบำบัดน้ำเสีย | 2-14 |
| 3-1 | ชุดเยื่อกรองระดับอัลตราฟิลเตรชั่นชนิดท่อกลวงเส้นใย | 3-2 |
| 3-2 | ไดอะแกรมและภาพแสดงแบบจำลองระบบ | 3-3 |
| 4-1 | กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ของสารละลายอนุภาคเบนโทไนต์ | 4-2 |
| 4-2 | กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ของสารละลายผงถ่านกัมมันต์ | 4-3 |
| 4-3 | กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ของสารละลายเฟอริกคลอไรด์ | 4-4 |
| 4-4 | กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ของสารละลายสารส้ม | 4-5 |
| 4-5 | การลดลงของค่าความขุ่นภายหลังกระบวนการสร้าง-รวมตะกอน: อิทธิพลความเข้มข้นสารละลายเฟอริกคลอไรด์ | 4-7 |
| 4-6 | การลดลงของค่าความขุ่นภายหลังกระบวนการสร้าง-รวมตะกอน: อิทธิพลความเข้มข้นสารละลายสารส้ม | 4-9 |
| 4-7 | UV scanning น้ำผิวดิน | 4-10 |
| 4-8 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายกรดฮิวมิกมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 nm | 4-10 |
| 4-9 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายกรดฮิวมิกมาตรฐานกับค่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในรูป COD และTOC | 4-10 |
| 4-10 | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วยสารละลายเฟอริกคลอไรด์ | 4-11 |
| 4-11 | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วยสารละลายสารส้ม | 4-12 |
| 4-12 | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วยสารละลายโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ | 4-13 |
| 4-13 | UV scanning น้ำทิ้งหลังบำบัดฯ | 4-15 |
| 4-14 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายกรดฮิวมิกมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 nm | 4-15 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4-15 | ประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งหลังบำบัดฯด้วยผงถ่านกัมมันต์ | 4-16 |
| 4-16 | กราฟความสัมพันธ์ของค่าฟลักซ์ ค่าความดัน และเวลา | 4-18 |
| 4-17 | กราฟแสดงค่าฟลักซ์ของน้ำผิวดินที่ไม่ปรับสภาพทั้งเติมอากาศ และไม่เติมอากาศ | 4-18 |
| 4-18 | กราฟแสดงค่าฟลักซ์ของน้ำผิวดินที่ปรับสภาพด้วยสารละลายเฟอริกคลอไรด์ที่เหมาะสม 20 mg/Lในสภาวะที่เติมอากาศ และไม่เติมอากาศ | 4-19 |
| 4-19 | กราฟแสดงค่าฟลักซ์ของน้ำผิวดินที่ปรับสภาพด้วยสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้มด้วยค่าที่เหมาะสม 50 mg/L ทั้งที่ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-19 |
| 4-20 | กราฟแสดงค่าฟลักซ์ของน้ำผิวดินที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ด้วยค่าที่เหมาะสม 3 mg/L ทั้งที่ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-20 |
| 4-21 | กราฟแสดงค่าฟลักซ์ของน้ำผิวดินที่ปรับสภาพด้วยสารละลายเฟอริกคลอไรด์ที่ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม 50% 10 mg/L ทั้งที่ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-21 |
| 4-22 | กราฟแสดงค่าฟลักซ์ของน้ำผิวดินที่ปรับสภาพด้วยสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้มที่ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม 50% 25 mg/L ทั้งที่ไม่เติม อากาศและเติมอากาศ | 4-22 |
| 4-23 | กราฟแสดงค่าฟลักซ์ของน้ำผิวดินที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม 50% 1.5 mg/L ทั้งที่ไม่เติม อากาศและเติมอากาศ | 4-22 |
| 4-24 | กราฟแสดงค่าฟลักซ์วิกฤตของน้ำหลังบำบัดขั้นที่สองในสภาวะที่ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-29 |
| 4-25 | กราฟแสดงค่าฟลักซ์วิกฤตของน้ำหลังบำบัดขั้นที่สองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ด้วยค่าที่เหมาะสม 500 mg/L ในสภาวะที่ไม่เติมอากาศและเติมอากาศ | 4-29 |
| 4-26 | กราฟแสดงผลการเดินระบบต่อเนื่องที่ค่าฟลักซ์คงที่ในชุดการทดลองต่างๆ | 4-33 |
| 4-27 | กราฟแสดงค่าความต้านทานของเยื่อกรองในชุดการการทดลองน้ำผิวดินที่เดินค่าต่อเนื่องที่สูงกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50 % (48 L/h/$m^2$) ไม่เติมอากาศและไม่เติมเฟอริกคลอไรด์ | 4-36 |
| 4-28 | กราฟแสดงผลการวัดค่าความต้านของเยื่อกรองในชุดการการทดลองน้ำผิวดินที่เดินค่าต่อเนื่องที่ต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50 % (16 L/h/$m^2$) ไม่เติมอากาศและไม่เติมเฟอริกคลอไรด์ | 4-36 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4-29 | กราฟแสดงผลการวัดค่าความต้านทานเยื่อกรองในชุดการการทดลองน้ำผิวดินเติมสารปรับสภาพเฟอริกคลอไรด์ด้วยปริมาณที่เหมาะสม 20 mg/L ไม่เติมอากาศและเดินระบบที่ค่าฟลักซ์วิกฤต (106 L/h/$m^2$) | 4-38 |
| 4-30 | กราฟแสดงผลการวัดค่าความต้านทานเยื่อกรองในชุดการการทดลองน้ำผิวดินที่เติมเฟอริกคลอไรด์ด้วยปริมาณที่เหมาะสม 20 mg/L ไม่เติมอากาศเดิน และระบบที่ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าวิกฤต 50 %( 55 L/h/$m^2$) | 4-39 |
| 4-31 | กราฟแสดงผลการวัดค่าน้ำซึมผ่านเยื่อกรองในชุดการการทดลองน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สองไม่เติมสารดูดติดผิวและไม่เติมอากาศที่ค่าสูงกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% (12 L/h/$m^2$) | 4-39 |
| 4-32 | กราฟแสดงผลการวัดค่าน้ำซึมผ่านเยื่อกรองในชุดการการทดลองน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง ไม่เติมสารดูดติดผิวและไม่เติมอากาศ ที่ค่าต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% (4 L/h/$m^2$) | 4-40 |
| 4-33 | กราฟแสดงผลการวัดค่าน้ำซึมผ่านเยื่อกรองในชุดการการทดลองน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง เติมสารดูดติดผิวที่เป็นผงถ่านกัมมันต์ชนิดผงด้วยค่าที่เหมาะสม 500 mg/Lและไม่เติมอากาศ ที่ค่าสูงกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% (12 L/h/$m^2$) | 4-41 |
| 4-34 | กราฟแสดงผลการวัดค่าน้ำซึมผ่านเยื่อกรองในชุดการการทดลองน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง เติมสารดูดติดผิวที่เป็นผงถ่านกัมมันต์ชนิดผงด้วยค่าที่เหมาะสม 500 mg/Lและไม่เติมอากาศ ที่ค่าต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% (4 L/h/$m^2$) | 4-42 |
| 4-35 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนกับเวลาขณะเดินระบบกรองตัวอย่างสารป้อนโมเดลชนิดเดียว ที่ค่าฟลักซ์ 30 L/h/$m^2$ และไม่เติมอากาศ | 4-44 |
| 4-36 | กราฟเปรียบเทียบค่าอัตราเร็วฟาวลิ่งเฉลี่ย (dTMP/dt) ขณะกรองตัวอย่างสารป้อนโมเดลสารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์และผงถ่านกัมมันต์ที่ค่าฟลักซ์ 30 L/h/$m^2$ และไม่เติมอากาศ | 4-45 |
| 4-37 | ค่าอัตราเร็วฟาวลิ่งเฉลี่ย (dTMP/dt) ขณะกรองตัวอย่างสารป้อนโมเดลสารละลายกรดฮิวมิก ที่ค่าฟลักซ์ 30 L/h/$m^2$ และไม่เติมอากาศ | 4-46 |
| 4-38 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนกับเวลาขณะเดินระบบกรองตัวอย่างสารป้อนโมเดลชนิดผสม ที่ค่าฟลักซ์ 30 L/h/$m^2$ และไม่เติมอากาศ | 4-47 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4-39 | กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนกับเวลาขณะเดินระบบกรองโมเดลเบนโทไนต์ ถ่านกัมมันต์ชนิดเดี่ยว กับ ชนิดผสม ที่ค่าฟลักซ์ 30 L/h/m$^2$ และไม่เติมอากาศ | 4-48 |
| 4-40 | กราฟเปรียบเทียบค่าอัตราเร็วฟาวลิ่งเฉลี่ย (dTMP/dt) ขณะกรองตัวอย่างสารป้อนโมเดลผสมของสารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ ผงถ่านกัมมันต์ และสารละลายกรดฮิวมิก ที่ค่าฟลักซ์ 30 L/h/m$^2$ และไม่เติมอากาศ | 4-49 |
| 4-41 | กราฟแสดงผลการวัดค่าน้ำซึมผ่านเยื่อกรองในชุดการทดลองสารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ 50 mg/L ที่ค่าฟลักซ์ 30 L/h/m$^2$ และไม่เติมอากาศ | 4-51 |