

การประยุกต์ใช้แบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนาย  
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเถา  
**Application of System Dynamics Model for Dissolved Oxygen  
Prediction in U-Taphao Canal**

จutiporn โต๊ะหะ

**Jutiporn Toha**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Environmental Management  
Prince of Songkla University**

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้แบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณ ออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา
ผู้เขียน	นางสาว จุติพร โต้ะหะ
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวาคม สุขสาโรจน์)

..... ประธานกรรมการ  
(ดร. ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ทองลิ้มปี)

..... กรรมการ  
(ดร.อรมาศ สุทธิสุน)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวาคม สุขสาโรจน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวาคม สุขสาโรจน์)  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวจตุพร โต๊ะหะ)  
นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวจตุพร โต้ะหะ)

นักศึกษา

ชื่อโครงการวิจัย	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง พลวัตระบบ สำหรับการทำนายปริมาณ ออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเถา
ผู้เขียน	นางสาวจตุพร โตะหะ
สาขา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2556

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ บ่งชี้ปัจจัยหลักทางกายภาพและเคมี และศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าว กับการเปลี่ยนแปลงของ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ในคลองอุตะเถา ซึ่งเป็นแหล่งน้ำสำคัญสำหรับการอุปโภคบริโภคของประชาชนในพื้นที่จังหวัดสงขลา และประสบปัญหาคุณภาพน้ำในคลองเสื่อมโทรม โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองพลวัตระบบ เพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลง ของออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละสถานการณ์ตามเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยนำสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยหลักและออกซิเจนละลายน้ำ รวมถึง สมการที่พัฒนาจาก ปฏิกริยา อันดับหนึ่ง โดยอาศัยโปรแกรมสแตลาเป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยหลักทางกายภาพและเคมีที่มีผลกระทบต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำ ในคลองอุตะเถาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) คือ สารอินทรีย์ละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย ความขุ่น และไนเตรท โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การทำนายเท่ากับ 0.873 เมื่อนำปัจจัย ทั้ง 4 นั้น มาสร้างแบบจำลองพลวัตระบบ สำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และทำการ ทวนสอบแบบจำลอง กับข้อมูลคุณภาพน้ำ 2 ชุด พบว่าแบบจำลองมีค่า % ความคลาดเคลื่อน 23.63 % และ 19.99 % ตามลำดับ และเมื่อทำการ ตรวจสอบความแน่นอนของแบบจำลองพบว่า แบบจำลองมี % ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 7.92 % จากการนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้พบว่า แบบจำลองที่ได้ สามารถใช้ ทำนายค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ เมื่อทราบค่าออกซิเจนละลายน้ำ และไนเตรท ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมคุณภาพน้ำดิบประปาจากคลองอุ ตะเถา เนื่องจาก สารอินทรีย์ละลายน้ำ ในน้ำดิบเป็นสารตั้งต้นในการก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา

**คำสำคัญ:** แบบจำลองพลวัตระบบ, ออกซิเจนละลายน้ำ, คลองอุตะเถา

<b>Thesis Title</b>	Application of System Dynamics Model for Dissolved Oxygen Prediction in U-Taphao Canal
<b>Author</b>	Miss Jutiporn Toha
<b>Major Program</b>	Environmental management
<b>Academic Year</b>	2013

### ABSTRACT

This research aimed to identify the key physical and chemical factors and study the relation between these factors and the change of dissolved oxygen (DO) in U-Taphao Canal. This canal is an important raw water source for public consumption in Songkhla province and its water quality is deteriorated. The system dynamic modeling was applied for predicting the DO change in different conditions. The equations that were derived from the relation of key factors and that were developed from the 1<sup>st</sup> order reaction were used for model development using STELLA. The result was found that the dissolved organic carbon (DOC), suspended solids (SS), turbidity and nitrate were the significant factors that effect on DO ( $R^2 = 0.873$ ). When these factors were used for conducting a dynamic model for the prediction of DO and then the model was verified by using two sets of data, it was found that the % deviations obtained were 23.63% and 19.99% respectively. The accuracy of this model was also determined and it indicated that the model had 7.92% tolerance. This model could be applied to predict the DOC with known DO and nitrate values that would be useful for raw water supply quality control because the DOC is the raw substrate for trihalomethane formation in water process.

**Keyword:** System Dynamics, Dissolved Oxygen, U-Taphao Canal

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวดี สุขสาโรจน์ และท่านคณะกรรมการสอบทุกท่าน และนายธวัช โอภิชากร ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ทั้งยังกรุณาถ่ายทอดองค์ความรู้ แนวคิด และทักษะต่างๆ ด้านสิ่งแวดล้อม ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ตลอดจนเสนอข้อคิดเห็น แก่ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ด้วยความเอาใจใส่ ห่วงใย ตลอดมา นอกจากนี้ยังต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาเสียสละเวลา มาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ทุน อุดหนุนงานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ปี 2553

ขอขอบพระคุณ โครงการ วิจัยพลวัตระบบของออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา ได้รับทุนงบประมาณแผ่นดิน ปี 2552

ขอขอบพระคุณอาจารย์ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกๆ ท่านที่ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณนางสาวมารีณี โค นางสาว สรียา หมัดอาด้า นางสาวอามีเนาะ อาเย นางสาวโอปอ แสงงาม นางสาวกิตติญา วรุตมพันธ์ นายกีวีวัชร เสถียร และนายพัฒนเกียรติ หนูทองแก้ว ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ สนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา ทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัว รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา ความดีและคุณประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน

จตุพร โต๊ะหะ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(9)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 การตรวจเอกสาร	5
1.5.1 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	5
1.5.2 พลวัตระบบ	6
1.5.3 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen)	13
1.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	16
1.5.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	20
1.5.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
บทที่ 2 วิธีการวิจัย	37
2.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย	37
2.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	39
2.3 พื้นที่ศึกษา	39
2.4 ขั้นตอนการวิจัย	42
2.4.1 การเตรียมการและรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	44
2.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	45
2.4.3 การคัดเลือกพารามิเตอร์และสมการที่ใช้ในการศึกษา	45
2.4.4 การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบ	46



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.5 การทวนสอบแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณ ออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา	48
2.4.6 การตรวจสอบความแน่นอนของแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับ การทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา	48
2.4.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อทำนายค่า DOC	48
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	49
3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	49
3.2 ผลการคัดเลือกพารามิเตอร์และสมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง	55
3.3 การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบ	61
3.3.1 สร้างแบบจำลองพลวัตระบบเบื้องต้น	61
3.3.2 การหาค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ (k)	72
3.3.3 แบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณ ออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา	82
3.4 การทวนสอบแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณ ออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา	84
3.5 การตรวจสอบความแน่นอนของแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับ การทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา	91
3.5 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อทำนายค่า DOC	95
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	97
4.1 สรุปผลการวิจัย	97
4.1.1 บ่งชี้ปัจจัยหลักทางกายภาพและเคมีที่มีผลกระทบต่อ ค่าออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา	97
4.1.2 การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณ ออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา	97
4.1.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อทำนายค่า DOC	97

**สารบัญ (ต่อ)**

	หน้า
4.2 ข้อเสนอแนะ	98
4.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป	98
4.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	98
เอกสารอ้างอิง	99
ภาคผนวก	105
ภาคผนวก ก ข้อมูลคุณภาพน้ำ	105
ภาคผนวก ข การคัดเลือกพารามิเตอร์และสมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง	109
ภาคผนวก ค การประยุกต์ใช้แบบจำลอง	135
ประวัติผู้เขียน	136

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	ชื่อและที่ตั้งของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS	3
1-2	ชนิดของซอฟต์แวร์ที่ใช้ดำเนินงานพลวัตของระบบ	12
1-3	ข้อมูลพื้นฐานของค่าออกซิเจนละลายน้ำ	13
1-4	ผลของค่าออกซิเจนละลายน้ำต่อสัตว์น้ำ	15
1-5	สาระโดยสังเขปของปัจจัยที่มีผลต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำ	18
1-6	ตัวอย่างการใช้สมการเอมพิริคัล	25
1-7	ตัวอย่างสมการที่พัฒนาจากปฏิกิริยา 1 <sup>st</sup> Order	26
1-8	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับต่างๆ จากการอินทิเกรต	30
2-1	ชื่อและพิกัด UTM ของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS	40
2-2	ชุดข้อมูลคุณภาพน้ำที่ใช้ในการศึกษา	44
3-1	ค่า R <sup>2</sup> ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และมีนาคม 2553	55
3-2	ค่า R <sup>2</sup> ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DOC SS Turbidity และNitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และมีนาคม 2553	58
3-3	สมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเบื้องต้นของ MODEL 1 MODEL 2 และ MODEL 3	60
3-4	ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 1 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553	62
3-5	ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553	65

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3-6	ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 3 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553	68
3-7	ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$ ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เพื่อหาค่า $k_{\text{DOC}}$	72
3-8	ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$ ในเดือนมกราคม 2553 เพื่อหาค่า $k_{\text{DOC}}$	73
3-9	ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$ ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน เพื่อหาค่า $k_{\text{DOC}}$	74
3-10	ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$ ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เพื่อหาค่า $k_{\text{Nitrate}}$	76
3-11	ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$ ในเดือนมกราคม 2553 เพื่อหาค่า $k_{\text{Nitrate}}$	77
3-12	ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$ ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน เพื่อหาค่า $k_{\text{Nitrate}}$	78
3-13	สรุปค่า $k_{\text{DOC}}$ และ $k_{\text{Nitrate}}$	80
3-14	% ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยการนำค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงมาเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง จากการนำค่า $k_{\text{DOC}}$ และ $k_{\text{Nitrate}}$ ใส่ในแบบจำลอง	81
3-15	ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553	85
3-16	ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2556	91

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
ภาคผนวกที่		
ก.1	ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2552	105
ก.2	ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนมกราคม พ.ศ. 2553	106
ก.3	ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนมีนาคม พ.ศ. 2553	107
ก.4	ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนมกราคม พ.ศ. 2556	108
ข.1	ผลจากการนำตัวแปรเข้าระบบสมการ โดยใช้โปรแกรม SPSS	116
ข.2	ผลจากการนำตัวแปรเข้าระบบสมการ โดยใช้วิธี Forward	117
ข.3	ค่าที่ใช้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง DO กับ DOC และ Nitrate กรณี ที่ให้ SS และ Turbidity มีค่าต่ำสุด	118
ข.4	ค่าที่ใช้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง DO กับ DOC และ Nitrate กรณี ที่ให้ SS และ Turbidity มีค่าสูงสุด	119
ค.1	ค่าที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานของการประมาณค่าจากความสัมพันธ์ ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำ	135

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1- 1(a-j)	ภาพถ่ายจากสถานที่จริงของสถานีเก็บน้ำ	4
1-2	แผนผังวงจรสาเหตุ	9
1-3	แผนผังการไหล	10
1-4	กระบวนการสร้างแบบจำลองพลวัตของระบบ	11
1-5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและช่วงเวลาในรอบหนึ่งวัน	14
1-6	ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแหล่งน้ำ	16
1-7	แสดงปัจจัยที่มีผลต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำแต่ละประเภท	17
1-8	ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบต่างๆ	21
1-9	การหาค่าการเกิดปฏิกิริยาอันดับต่างๆ จากกราฟ	31
2-1	กรอบแนวคิดในการวิจัย	38
2-2	ชื่อและจุดเก็บตัวอย่างน้ำของคลองอุตะเถา ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS	41
2-3	แผนภาพของขั้นตอนการวิจัยโดยสรุป	42
2-4	การหาค่าการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งจากกราฟ	47
3-1	ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอุตะเถา	50
3-2	ค่า Temp ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอุตะเถา	50
3-3	ค่า pH ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอุตะเถา	51
3-4	ค่า DOC ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอุตะเถา	52

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-5	ค่า SS ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอุตะเกา	52
3-6	ค่า Turbidity ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอุตะเกา	53
3-7	ค่า Nitrate ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอุตะเกา	54
3-8	ค่า DO DOC และNitrate ในกรณีที่ให้ SS และ Turbidity มีค่าต่ำสุด	57
3-9	ค่า DO กับ DOC และNitrate ในกรณีที่ให้ SS และ Turbidity มีค่าสูงสุด	57
3-10	แบบจำลองพลวัตระบบของออกซิเจนละลายน้ำเบื้องต้น หรือ MODEL 1	61
3-11	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 1 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552	63
3-12	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 1 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2553	63
3-13	แบบจำลองพลวัตระบบของออกซิเจนละลายน้ำเบื้องต้น หรือ MODEL 2	64
3-14	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552	66

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-15	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2553	66
3-16	แบบจำลองพลวัตระบบของออกซิเจนละลายน้ำเบื้องต้น หรือ MODEL 3	67
3-17	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 3 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552	69
3-18	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2553	69
3-19	% ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ของ MODEL 1 MODEL 2 และ MODEL 3	70
3-20	ค่า $k_{DOC}$ จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(Eff/Inf)$ ในเดือนพฤศจิกายน 2552	73
3-21	ค่า $k_{DOC}$ จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(Eff/Inf)$ ในเดือนมกราคม 2553	74
3-22	ค่า $k_{DOC}$ จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(Eff/Inf)$ ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน	75
3-23	ค่า $k_{Nitrate}$ จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(Eff/Inf)$ ในเดือนพฤศจิกายน 2552	77
3-24	ค่า $k_{Nitrate}$ จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(Eff/Inf)$ ในเดือนมกราคม 2553	78
3-25	ค่า $k_{Nitrate}$ จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $-\ln(Eff/Inf)$ ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน	79
3-26	แบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา	83



### สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-27	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552	86
3-28	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2553	86
3-29	% ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553	87
3-30	แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 31-UTP-DS	88
3-31	แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 31-UTP-DS	88
3-32	แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 33-UTP-KH	89
3-33	แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 33-UTP-KH	89
3-34	แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 40-UTP-RS	90
3-35	แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 40-UTP-RS	90
3-36	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2556	92
3-37	% ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2556	93
3-38	แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 39-UTP-US	94
3-39	แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 39-UTP-US	94
3-40	แสดงกราฟมาตรฐานของการประมาณค่าจากความสัมพันธ์ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำ	96

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ ภาคผนวกที่		หน้า
ข.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ DOC ในเดือนพฤศจิกายน 2552	109
ข.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ DOC ในเดือนมกราคม 2553	109
ข.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ DOC ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553	110
ข.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552	110
ข.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ SS ในเดือนมกราคม 2553	111
ข.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ SS ในเดือนมีนาคม 2553	111
ข.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และมีนาคม 2553	112
ข.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552	112
ข.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Turbidity ในเดือนมกราคม 2553	113
ข.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Turbidity ในเดือนมีนาคม 2553	113
ข.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และมีนาคม 2553	114
ข.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Nitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552	114
ข.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Nitrate ในเดือนมกราคม 2553	115
ข.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Nitrate ในเดือนมีนาคม 2553	115
ข.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Nitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และมีนาคม 2553	116
ข.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552	120
ข.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552	120
ข.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552	121
ข.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552	121

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
ภาคผนวกที่		
ข.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Nitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552	122
ข.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Nitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552	122
ข.22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552	123
ข.23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552	123
ข.24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552	124
ข.25	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552	124
ข.26	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552	125
ข.27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552	125
ข.28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ SS ในเดือนมกราคม 2553	126
ข.29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ SS ในเดือนมกราคม 2553	126
ข.30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Turbidity ในเดือนมกราคม 2553	127
ข.31	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Turbidity ในเดือนมกราคม 2553	127
ข.32	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Nitrate ในเดือนมกราคม 2553	128
ข.33	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Nitrate ในเดือนมกราคม 2553	128
ข.34	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SS ในเดือนมกราคม 2553	129
ข.35	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SS ในเดือนมกราคม 2553	129
ข.36	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนมกราคม 2553	130
ข.37	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนมกราคม 2553	130
ข.38	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนมกราคม 2553	131
ข.39	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนมกราคม 2553	131
ข.40	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SS ในเดือนมีนาคม 2553	132
ข.41	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SS ในเดือนมีนาคม 2553	132

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
ภาคผนวกที่		
ข.42	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนมีนาคม 2553	133
ข.43	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนมีนาคม 2553	133
ข.44	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนมีนาคม 2553	134
ข.45	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนมีนาคม 2553	134

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

คลองอุต๊ะเกาตั้งอยู่ในจังหวัดสงขลา เป็นคลองสายหลักที่มีความสำคัญในจังหวัดสงขลา มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 2,535 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอสะเดา และอำเภอหาดใหญ่ และพื้นที่บางส่วนของอำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอนาหม่อม อำเภอบางกล่ำ อำเภอเมืองสงขลา และอำเภอควนเนียง ซึ่งทิศทางการไหลของน้ำของคลองอุต๊ะเกาจะไหลจากทิศใต้ไปสู่ทิศเหนือ โดยมีจุดเริ่มจากชายแดนไทย-มาเลเซีย ไปสิ้นสุดที่ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง บริเวณบ้านท่าเมรุ อำเภอบางกล่ำและบ้านแหลมโพธิ์ อำเภอหาดใหญ่ รวมความยาวทั้งสิ้นประมาณ 130 กิโลเมตร ซึ่งหน้าที่หลักของคลองอุต๊ะเกาคือ (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2553) เป็นแหล่งน้ำดิบของการประปาภูมิภาค ที่ผลิตน้ำประปาจำหน่ายแก่ประชาชนทั่วไป ทั้งเทศบาลนครหาดใหญ่ และเมืองสงขลา อีกทั้งยังเป็นแหล่งรองรับของเสีย น้ำเสีย ของโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงแหล่งน้ำเสียจากชุมชน คริวเรือน โดยเฉพาะเทศบาลหาดใหญ่

จากสาเหตุดังกล่าวทำให้คุณภาพน้ำในลำคลองมีสภาพเสื่อมโทรมลงเป็นอย่างมาก ซึ่งผลจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำพบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen, DO) มีค่าต่ำลง (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2553) ส่งผลกระทบต่อพืชน้ำและสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในลำคลอง รวมไปถึงการนำน้ำมาผลิตน้ำประปาเพื่อการอุปโภค-บริโภค นอกจากนี้มีมลสารที่ปนเปื้อนในลำน้ำยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลา ทำให้คุณภาพน้ำในทะเลสาบลดลงอีกด้วย

ปัจจุบันภาครัฐได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้จัดทำโครงการต่าง ๆ เพื่อฟื้นฟูและปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น รวมทั้งการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2553) แต่โครงการดังกล่าว ส่วนใหญ่จะเป็นการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า เพื่อช่วยบรรเทาสถานการณ์ความรุนแรงของการเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ ส่วนการป้องกันและพัฒนา ซึ่งมีความจำเป็นและจะนำไปสู่การแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืนนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมของคลองอุต๊ะเกาที่มี ตัวแปรจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกัน และเปลี่ยนแปลงไปตามเงื่อนไขและเวลา โดยทุกปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องล้วนแล้วแต่มีความสำคัญต่อระบบ

ซึ่งในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ ตามกรอบของทฤษฎีพลวัตระบบจะทำให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบได้ดีขึ้น นอกจากนี้การสร้างแบบจำลองตามทฤษฎีพลวัตระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ หักความอ่อนไหวของปัจจัย รวมถึงจำลองสถานการณ์และทำนายการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในแต่ละสถานการณ์ตามเงื่อนไขและความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะนำไปสู่การวางแผนการจัดการน้ำในคลองอุตะเถาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อออกซิเจนละลายน้ำของคลองอุตะเถาตามกรอบของทฤษฎีพลวัตระบบ ซึ่งเหตุผลที่เลือกออกซิเจนละลายน้ำเป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถา เนื่องจากออกซิเจนละลายน้ำจะเป็นตัวชี้ถึงความสามารถของน้ำที่จะรับการถ่ายเทของเสียหรือการฟอกตัวเองให้บริสุทธิ์ตามธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในการบ่งบอกว่าแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตหรือไม่ และที่สำคัญสามารถทำการตรวจวัดได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว รู้ผลทันทีจึงเหมาะที่จะใช้ในการศึกษาแบบพลวัตระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพื้นที่และเวลา

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อบ่งชี้ถึงปัจจัยหลักทางกายภาพและเคมี และศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าวที่มีผลกระทบต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเถา

1.2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบ (SD model) สำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเถา

1.2.3 เพื่อสามารถจำลองสถานการณ์และทำนายการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในแต่ละสถานการณ์ตามเงื่อนไขและความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันได้

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

ได้แบบจำลองที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำของคลองอุตะเถา ซึ่งเป็นเครื่องมือในการทำความเข้าใจและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายใต้อิทธิพลของปัจจัยหลักในแบบจำลองที่สร้างขึ้น เพื่อใช้ประกอบการวางแผนสำหรับการจัดการคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถา

#### 1.4 ขอบเขตการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยเป็นข้อมูลคุณภาพน้ำ ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำมาทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งในภาคสนามและห้องปฏิบัติการในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมีนาคม 2553 ภายใต้โครงการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประเมินคุณภาพน้ำผิวดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เพื่อนำมาควบคุมการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา และเดือนมกราคม 2556 โดยกำหนดเก็บตัวอย่างน้ำตลอดความยาวคลองอุตะเกาทั้งสิ้น 10 สถานี แสดงดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ชื่อและที่ตั้งของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS

สถานี	พิกัด UTM		บริเวณพื้นที่
	x	y	
31-UTP-DS	663026	782338	สะพานบ้านนาเรียง อ.บางกล่ำ
32-UTP-CT	660446	777721	สะพาน ถนน 414 อ.หาดใหญ่
33-UTP-KH	660514	777065	สะพานรถไฟบางหัก อ.หาดใหญ่
34-UTP-CT	660851	774228	สะพาน ถนนเพชรเกษม อ.หาดใหญ่
35-UTP-CT	661579	772642	ประปาหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่
36-UTP-CT	661662	771730	สะพาน ถนน 43 ข้างประปาหาดใหญ่
37-UTP-US	659100	766403	สะพานบางศาลา อ.หาดใหญ่
38-UTP-US	659377	751500	สะพาน ถนน 4145 ต.ท่าโพธิ์ อ.สะเดา
39-UTP-US	658443	741432	สะพาน ถนนมิตรสงคราม อ.สะเดา
40-UTP-RS	665112	728194	อ่างเก็บน้ำสะเดา อ.สะเดา

โดยภาพถ่ายจากสถานที่จริงของสถานีเก็บน้ำทั้งหมด 10 สถานี เริ่มจากสถานี 40-UTP-RS และสิ้นสุดที่สถานี 31-UTP-DS แสดงในภาพที่ 1-1 (a-j)



(a) สถานี 31-UTP-DS



(b) สถานี 32-UTP-CT



(c) สถานี 33-UTP-KH



(d) สถานี 34-UTP-CT



(e) สถานี 35-UTP-CT



(f) สถานี 36-UTP-CT





(g) สถานี 37-UTP-US



(h) สถานี 38-UTP-US



(i) สถานี 39-UTP-US



(j) สถานี 40-UTP-RS

ภาพที่ 1- 1 (a-j) ภาพถ่ายจากสถานีที่จริงของสถานีเก็บน้ำ

## 1.5 การตรวจเอกสาร

### 1.5.1 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1.5.1.1 System dynamics หรือ พลวัตระบบ คือ ทฤษฎีที่กล่าวถึงระบบที่มีความสัมพันธ์กันอย่างซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

1.5.1.2 แบบจำลองพลวัตระบบ คือ แบบจำลองที่พัฒนาด้วยสัญลักษณ์ทางทฤษฎีพลวัตระบบ เพื่อเลียนแบบความเป็นธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ นำไปสู่การปรับปรุง ขยายผล และใช้ประโยชน์ในอนาคต

1.5.1.3 Verification หรือ การทวนสอบ แบบจำลอง คือ การทดลองการทำงานของแบบจำลอง และความถูกต้องของผลลัพธ์ ขั้นตอนนี้ส่วนมากจะใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในคิดเป็นตัวอย่างทดสอบ

1.5.1.4 Validation หรือ การตรวจสอบความแน่นอนของแบบจำลอง คือ การทดสอบว่าแบบจำลองทำงานได้ดีและถูกต้องเพียงใด เมื่อกำหนดสภาวะต่างๆ ในการจัดการระบบเปลี่ยนไป

### 1.5.2 พลวัตระบบ

พลวัตระบบ (System dynamics) เป็นระเบียบวิธีการศึกษาและทำความเข้าใจปัญหาที่มีความซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น ด้านธุรกิจ และด้านสังคม เป็นต้น ซึ่งพัฒนาขึ้นจากวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับระบบ (System science) โดย Norbert Wiener เป็นผู้คิดค้นเมื่อปี ค.ศ. 1956 และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบสมการอย่างง่ายดังนี้ (Yndestad, 2002 อ้างอิงใน พงศ์พัฒน์ สนทะมิโน, 2547)

System dynamic = State dynamic + Structural dynamic

โดยที่; State dynamic = การเปลี่ยนแปลงได้ขององค์ประกอบในระบบ

Structural dynamic = การเปลี่ยนแปลงได้ของโครงสร้างและความสัมพันธ์

#### 1.5.2.1 คำจำกัดความของพลวัตของระบบ

- Forrester (1961) ให้คำจำกัดความว่า “พลวัตทางอุตสาหกรรม คือ การติดตามพฤติกรรมในการจัดการของระบบ โดยใช้คุณสมบัติของการป้อนกลับของข้อมูลและการใช้แบบจำลอง (Model) สำหรับการออกแบบเพื่อปรับปรุงรูปแบบการจัดการระบบและเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบาย” (Forrester, 1961 อ้างอิงใน พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ, 2548)

- Richardson and Pugh (1981) ให้คำจำกัดความว่า “พลวัตของระบบ คือ วิธีการที่ใช้ในการทำความเข้าใจปัญหาที่มีความซับซ้อน โดยประกอบด้วยลักษณะสำคัญ 2 ประการ คือ ปัญหาที่ศึกษาเป็นปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและถูกมองในลักษณะของวงจรป้อนกลับ ” (Richardson and Pugh, 1981 อ้างอิงใน พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ, 2548)

- Clark (1988) ให้คำจำกัดความว่า “พลวัตของระบบ คือ วิธีการสำหรับวิเคราะห์ปัญหาของระบบ ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบการสะสมและการไหล (Stocks and flow) มีการออกแบบการจำลองระบบที่ประกอบไปด้วยตัวแปรหลายตัว และมีการป้อนกลับระหว่างตัวแปรเหล่านั้น” (Clark, 1988 อ้างอิงใน พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ, 2548)

- Wolstenholme (1990) ให้คำจำกัดความว่า “พลวัตของระบบ คือ วิธีการที่แม่นยำสำหรับการอธิบายเชิงคุณภาพ การสำรวจและวิเคราะห์ระบบที่มีความซับซ้อนในรูปแบบของกระบวนการ ข้อมูล โครงสร้าง และกลยุทธ์ ที่ซึ่งมีการจำลองแบบปัญหาเชิงปริมาณ และวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างระบบและพฤติกรรม” (Wolstenholme, 1990 อ้างอิงใน พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ, 2548)

- Coyle (1996) ให้คำจำกัดความว่า “พลวัตของระบบ คือ วิธีการวิเคราะห์ปัญหาซึ่งมีเวลาเป็นปัจจัยสำคัญและเป็นการศึกษาว่า ทำอย่างไรระบบจึงจะสามารถดำรงอยู่ได้ หรือทำให้เกิดรูปแบบที่ได้รับประโยชน์เมื่อมีสภาวะภายนอกกระทบ ” หรือ “พลวัตของระบบ คือ สาขาวิชาของทฤษฎีควบคุมที่เกี่ยวข้องกับระบบเศรษฐศาสตร์สังคม และเป็นสาขาของวิชาวิทยาศาสตร์การจัดการที่เกี่ยวข้องกับปัญหาสามารถควบคุมได้” (Coyle, 1996 อ้างอิงใน พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ, 2548)

จากคำจำกัดความที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า พลวัตของระบบ คือ วิธีการสำหรับใช้ศึกษาและจัดการกับระบบที่มีความซับซ้อน และมีการป้อนกลับของข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาของระบบที่ปัจจัย และตัวแปรมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือมีการเปลี่ยนแปลงไม่หยุดนิ่ง เช่น ระบบอุตสาหกรรม, เกษตรกรรม, สังคม เป็นต้น โดยศึกษาโครงสร้างพื้นฐานและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในระบบ รวมทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบ และนำมาสร้างเป็นแบบจำลอง (Model) ทางคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองพฤติกรรมของระบบเมื่อเวลาผ่านไปและนำไปสู่การปรับปรุงโครงสร้าง และนโยบายที่มีประสิทธิภาพต่อไป (พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ, 2548)

#### 1.5.2.2 คุณลักษณะของพลวัตระบบ

เมื่อพิจารณาถึงคุณลักษณะของ พลวัตระบบ ส่วนที่สำคัญของแนวความคิดนี้ คือการตระหนักว่าปัญหานั้นเป็นปัญหาที่มีลักษณะพลวัต (Dynamics problem) และความจำเป็นในการใช้แบบจำลอง ปัญหาที่มีลักษณะพลวัต คือ ปัญหานั้นมีลักษณะพลวัตหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าปัญหา จะเกี่ยวข้องกับปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปตามเงื่อนไขเวลา โดยอาจอธิบายในรูปแผนภูมิของตัวแปรกับเวลา (พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ, 2548)

#### 1.5.2.3 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตของระบบ

โครงสร้างของแบบจำลองที่สามารถแสดงวัตถุประสงค์หลายประการได้อย่างประสพผลสำเร็จนั้น จะต้องมีลักษณะคือ สามารถอธิบายความสัมพันธ์ที่เป็นเหตุเป็นผลกันได้ มีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ และสามารถที่จะเพิ่มจำนวนตัวแปรได้โดยไม่มีข้อจำกัดทางคอมพิวเตอร์ (Forrester, 1968 อ้างอิงใน พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ, 2548)

แบบจำลองของพลวัตของระบบจะประกอบด้วยลักษณะที่สำคัญ 4 อย่าง คือ

1.5.2.3.1 ระดับ (Level) แสดงการสะสมของทรัพยากรที่ไหลในระบบ เป็นการอธิบายสถานภาพของระบบที่เวลาเฉพาะหนึ่งๆ โดยทรัพยากรในที่นี่อาจเป็นการสะสมที่มีตัวตนสามารถสัมผัสได้ เช่น การสะสมของสินค้าคงคลัง หรืออาจเป็นการสะสมของสิ่งที่ไม่มิตัวตน ไม่อาจสัมผัสได้ เช่น ความชอบ ความต้องการ เป็นต้น

1.5.2.3.2 อัตราการไหล (Flow rate) อัตราการไหล คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นตัวบอกความเร็วของการเปลี่ยนแปลงของระดับในระบบ

1.5.2.3.3 ฟังก์ชันการตัดสินใจ (Decision function หรือ Rate equation) ฟังก์ชันการตัดสินใจของระบบประกอบด้วย 4 ส่วน คือ เป้าหมายหรือสถานภาพที่ต้องการ สถานภาพที่ศึกษา ความแตกต่างของสถานภาพทั้งสอง และปฏิกิริยาซึ่งขึ้นกับความแตกต่างของสถานภาพ และการตัดสินใจจะทำให้เกิดการกระทำที่จะเกิดขึ้นและควบคุมอัตราการไหลอีกที

1.5.2.3.4 ข้อมูลเพื่อช่วยในการตัดสินใจ (Information as a basic for decision) ข้อมูลเพื่อช่วยในการตัดสินใจช่วยทำให้เกิดการตัดสินใจครั้งใหม่

1.5.2.4 แผนผังที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองพลวัตของระบบ

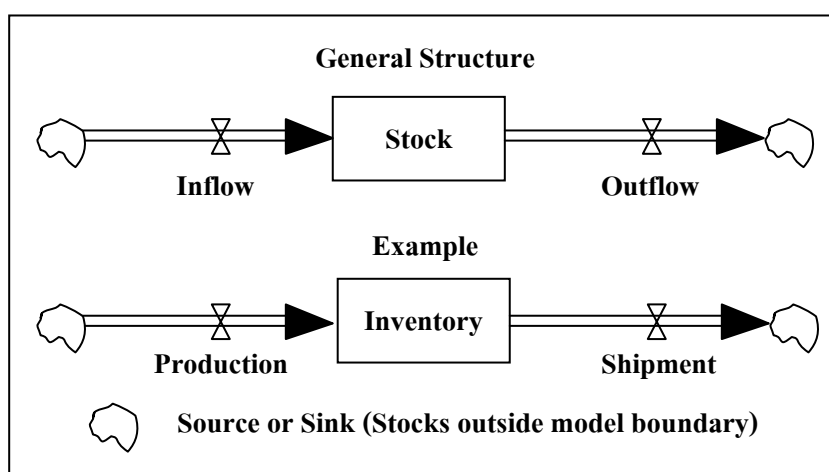
โดยทั่วไป แผนผังที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของพลวัตของระบบ จะมีอยู่ 2 ชนิด คือ (Kirkwood, 1998 อ้างอิงใน พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ, 2548)

1.5.2.4.1 แผนผังวงจรสาเหตุ (Casual-loop diagram; CLDs) แผนผังวงจรสาเหตุ หรือ แผนผังอิทธิพล (Influence diagrams) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้เป็นตัวแทนของลักษณะโครงสร้างป้อนกลับ (Feedback structure) ที่ประกอบขึ้นมาเป็นระบบ แผนผังวงจรสาเหตุจะมีลักษณะพิเศษคือจะแทนความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลกระทบด้วยลูกศรที่ปลายลูกศรมีเครื่องหมาย (+) และลบ (-) เครื่องหมาย (+) จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบที่ไปในทิศทางเดียวกับสาเหตุ เครื่องหมาย (-) จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบที่เป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของสาเหตุ ดังนั้น Causal loop diagrams มีองค์ประกอบทั้งหมด 4 ส่วน ดังภาพที่ 1-2

1. ตัวแปร (Variables) ที่เรากำหนดขึ้นมา
2. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเราจะเชื่อมต่อกันด้วยลูกศร ซึ่งเรียกว่า Causal link
3. ระหว่างความสัมพันธ์ที่ปลายหัวลูกศร จะมีเครื่องหมายของข้อความสัมพันธ์ ถูกกำหนดให้เป็นขั้ว + หรือ ขั้ว-
4. มีเครื่องหมายประจำ Loop ของแต่ละ Loop เป็น Positive (Reinforcing) Loop หรือ Negative (Balancing) Loop



1.5.2.4.2 แผนผังการไหล (Flow diagrams) แผนผังการไหล หรือแผนผังระดับ / อัตรา (Level/Rate diagrams) แผนผังการไหลจะมีรายละเอียดมากกว่าแผนผังวงจรสาเหตุ แผนผังการไหลจะแสดงตัวแปร 2 ชนิดที่ใช้แทนในระบบคือ ตัวแปรที่อยู่ในรูปของระดับหรือการสะสม (Level, stock or accumulation) และตัวแปรที่อยู่ในรูปของอัตราหรือการไหล (Rate of flow) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองชนิดนี้คือ ระดับ (Stock) จะเป็นการสะสมของบางสิ่งบางอย่าง ส่วนการไหล (Flow) จะเป็นการเคลื่อนย้ายหรือการไหลของบางสิ่งบางอย่างจากระดับหนึ่งไปยังระดับอื่น แผนผังการไหลดังภาพที่ 1-3

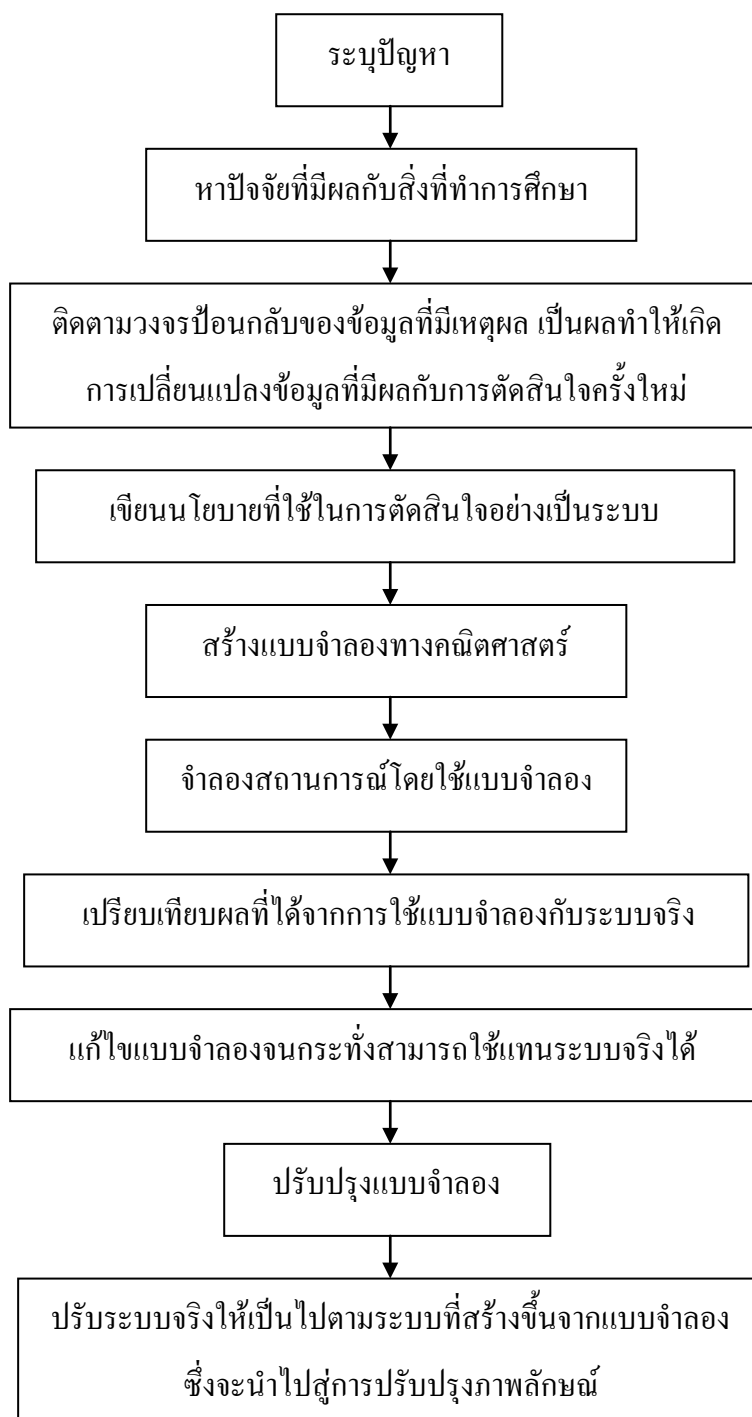


ภาพที่ 1-3 แผนผังการไหล

ที่มา: John (2000) อ้างอิงใน พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ (2548)

จากภาพที่ 1-3 อธิบายได้ว่า Stock แทนด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า, Inflow แทนด้วยรูป Pipe ซึ่งมีหัวลูกศรพุ่งเข้าหา Stock ส่วน Outflow แทนด้วยรูป Pipe ซึ่งมีหัวลูกศรพุ่งออกจาก Stock และ Value มีไว้เพื่อควบคุมการไหล

### 1.5.2.5 กระบวนการสร้างแบบจำลองพลวัตของระบบมีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 1-4 กระบวนการสร้างแบบจำลองพลวัตของระบบ

ที่มา: Forrester (1968) อ้างอิงใน พชรินทร์ อุุ่นเอมใจ (2548)

จากทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น พลวัตระบบจึงเป็นทฤษฎีที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม เพราะปัญหา ความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติเกิดจากหลายปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบต่อพฤติกรรมของระบบก็ไม่เหมือนกัน ที่ผ่านมามีการนำพลวัตระบบมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก เช่น การจัดการคุณภาพน้ำ (Tangirala *et al.*, 2003) การเพิ่มประสิทธิภาพของการจำแนกกลุ่มน้ำเพื่อใช้ประโยชน์ (Elmahdi *et al.*, 2007) การสร้างแบบจำลองของออกซิเจนละลายน้ำเพื่อใช้ในการจัดการคุณภาพน้ำในแม่น้ำ BLACKSTONE ทางตะวันออกเฉียงเหนือประเทศสหรัฐอเมริกา (Chaudhury *et al.*, 1997) และชายฝั่งของทะเลเมดิเตอร์เรเนียน (Hull *et al.*, 2007) เป็นต้น

#### 1.5.2.6 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ดำเนินงานพลวัตของระบบ

ซอฟต์แวร์เริ่มแรกที่ใช้ดำเนินงานพลวัตของระบบคือ DYNAMO (Dynamic model) ถูกนำมาใช้ในปี ค.ศ. 1960 จากซอฟต์แวร์ DYNAMO ได้มีการพัฒนาจนมาเป็น DYSMAP2 (ปี ค.ศ. 1970) และ COSMIC (ปี ค.ศ. 1984) นอกจากนี้ยังมีซอฟต์แวร์ ITHINK และ Powersim ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้หลักการพื้นฐานของแผนผังการไหลของ Forrester (Coyle, 1996 อ้างอิงใน พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ, 2548)

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ดำเนินงานพลวัตของระบบ ได้มีการแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มจะมีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 ชนิดของซอฟต์แวร์ที่ใช้ดำเนินงานพลวัตของระบบ

ชนิดของซอฟต์แวร์	รายละเอียด
DYNAMO/DYSMAP/ COSMIC	วิวัฒนาการจากแนวความคิดของการเขียนสมการโดยการใช้อำนาจการพิมพ์ข้อความ (Text editor)
STELLA/Powersim	การใช้สัญลักษณ์รูปเล็ก ๆ สำหรับการวาดเป็นแผนผัง ระดับ/อัตรา (Level/Rate diagram) จากลักษณะนี้ สมการบางสมการจะถูกเขียนขึ้นมาโดยอัตโนมัติตามสัญลักษณ์เหล่านั้น
Vensim	มีความแตกต่างจากทั้งสองกลุ่มข้างต้น เพราะเป็นวิธีการที่มาจากอำนาจการพิมพ์ข้อความ (Text editor) แต่มีการจำลองแบบที่มีการใช้สัญลักษณ์รูปเป็นระบบสนับสนุนด้วย

ที่มา: Coyle (1996) อ้างอิงใน พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ (2548)



การพิจารณาที่จะนำซอฟต์แวร์เหล่านี้มาใช้ในการดำเนินงานพลวัตของระบบควรที่จะทำการศึกษาคู่มือการใช้เพราะซอฟต์แวร์แต่ละอย่างมีลักษณะที่แตกต่างกันไปโดยทั่วไปซอฟต์แวร์ที่ใช้ดำเนินงานพลวัตของระบบ ควรมีลักษณะดังนี้ (Coyle, 1996 อ้างอิงใน พชรินทร์ อุ่นเอมใจ, 2548) มีการใช้ทฤษฎีพลวัตของระบบเป็นพื้นฐาน ผู้ใช้สามารถเข้าใจและใช้ได้ง่าย มีระบบสนับสนุนในการสร้างแบบจำลอง มีระบบอำนวยความสะดวกในการแก้ไขจุดบกพร่องของแบบจำลอง ทำการทดลองและให้ผลที่ออกมา (Output) ได้ง่าย มีขอบเขตในการออกแบบนโยบาย และสามารถทำการขยายแบบจำลองได้

ซอฟต์แวร์ที่ผู้วิจัยเลือกสำหรับออกแบบระบบและพัฒนาแบบจำลองครั้งนี้ คือ STELLA ซึ่งจะใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองและอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำอย่างไร

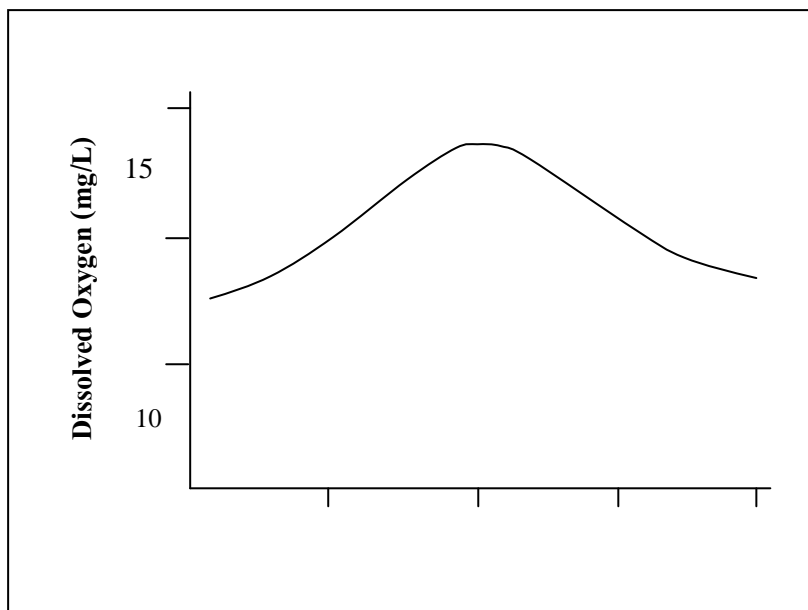
### 1.5.3 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen)

ตารางที่ 1-3 ข้อมูลพื้นฐานของค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ตัวชี้วัด	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	
หน่วยวัด	มิลลิกรัม/ลิตร (mg/L) หรือ ppm	
สาระสังเขป	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ	
ค่า/เกณฑ์มาตรฐาน	ดี	> 6 mg/L
	พอใช้	= 4-6 mg/L
	เสื่อมโทรม	= 2-4 mg/L
	เสื่อมโทรมมาก	< 2 mg/L

ที่มา: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2555)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen, DO) คือ ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งออกซิเจนนั้นได้มาจากการสังเคราะห์แสงของพืชที่ปล่อยออกซิเจนอิสระออกมาละลายอยู่ในน้ำ และจากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่พื้นน้ำ อีกทั้งปริมาณออกซิเจนละลายยังมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาของวันด้วยดังภาพที่ 1-5



ภาพที่ 1-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและช่วงเวลาในรอบหนึ่งวัน  
ที่มา: Boyd (1981)

จากภาพที่ 1-5 จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลาเช้ามืดก่อนดวงอาทิตย์ขึ้น ออกซิเจนละลายจะมีค่าต่ำสุด แล้วค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นในตอนกลางวันจนมีค่าสูงสุดในตอนบ่าย อันเนื่องมาจากการสังเคราะห์แสงของพืช ส่วนในตอนกลางคืนไม่มีกระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้น สิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำมีแต่การใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจ ทำให้ออกซิเจนละลายค่อยๆ ลดลงอีกครั้ง (Boyd, 1981)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับสัตว์น้ำทุกชนิด ซึ่งปัญหาค่าออกซิเจนละลายน้ำ ต่ำนั้น มีมานานกว่าศตวรรษแล้ว โดยปัญหานี้จะส่งผลให้ปลาตาย ทำให้เกิดความไม่สมดุลของระบบนิเวศ อีกทั้งยังทำให้แหล่งน้ำมีกลิ่นไม่พึงประสงค์และทัศนียภาพบริเวณนั้นไม่สวยงาม เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงจะทำให้สัตว์น้ำต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการหายใจหรือลดกิจกรรมลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทั้งสองนี้จะชะลอการเจริญเติบโตและอาจทำให้เกิดปัญหาทางระบบสืบพันธุ์ เช่น การตายของไข่เพิ่มขึ้นและอาจฟักการได้ (Cox, 2003)

ดัชนีคุณภาพน้ำที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำมีมากมายหลายชนิด สำหรับดัชนีคุณภาพน้ำที่บ่งถึงความสกปรกของน้ำ ในรูปของสารอินทรีย์และการใช้ออกซิเจนละลายในน้ำ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ปริมาณออกซิเจนละลาย (Cox, 2003)

ในการเลือกใช้ค่าออกซิเจนละลายน้ำ เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ เนื่องจากออกซิเจนละลายน้ำมีความสำคัญในการ บ่งบอกคุณภาพของแหล่งน้ำนั้นให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลา สัตว์น้ำ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆในน้ำ ซึ่งค่าออกซิเจนในปริมาณที่พอเหมาะจะต้องไม่น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าค่าออกซิเจนละลายน้ำในแหล่งน้ำมีน้อยเกินไป ปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ ก็ไม่สามารถอาศัยอยู่ได้และตายในที่สุด เพราะขาดออกซิเจนสำหรับการหายใจ (Paul, 2003) ดังตารางที่ 1-4

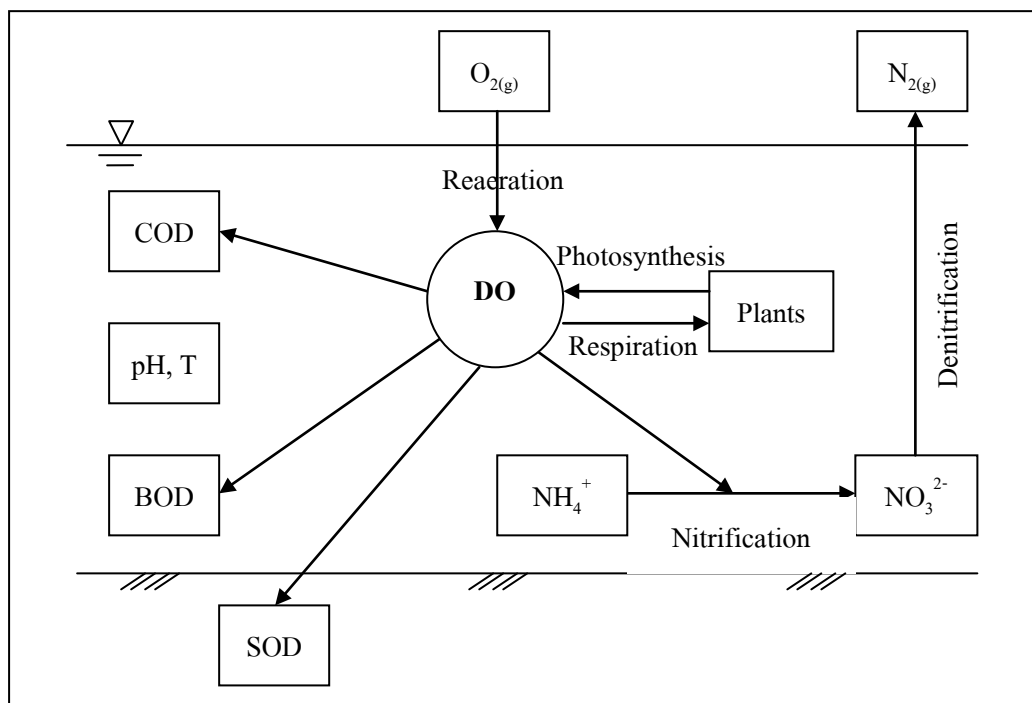
ตารางที่ 1-4 ผลของค่าออกซิเจนละลายน้ำต่อสัตว์น้ำ

DO (ppm)	ผลของค่าออกซิเจนละลายน้ำต่อสัตว์น้ำ
9-10	สัตว์น้ำทั้งหมดมีสุขภาพดีมาก
5-6	ระดับต่ำสุดที่จะทำให้ปลามีสุขภาพดี
2-4	ปลาเกิดความเครียด
1-2	ปลาตาย (แม้ว่าจะเกิดขึ้นเพียงไม่กี่ชั่วโมง)

ที่มา: Paul (2003)

อีกทั้งออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ยังมีความสำคัญในการรักษาคุณภาพของแหล่งน้ำนั้นให้เหมาะสมกับการย่อยสลายสิ่งสกปรกหรือฟอกตัวเองให้สะอาด ทั้งนี้เพราะแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะรับเอาสิ่งสกปรกจากที่ต่างๆ ซึ่งในแหล่งน้ำมีสิ่งมีชีวิตเล็กๆ พวกจุลินทรีย์ที่จะย่อยสลายสิ่งสกปรกเหล่านี้ โดยใช้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำไปย่อยสลายให้สิ่งสกปรกกลายเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่มียันตรายและไม่มึกลิ่นเหม็น ถ้ายังมีสิ่งสกปรกมาก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำก็จะยิ่งลดลง และเมื่อแหล่งน้ำนั้นมีออกซิเจนละลายน้ำน้อยหรือไม่มีเลย การย่อยสลายสิ่งสกปรกจะเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีกลิ่นเหม็นหรือเป็นสีดำ ค่าออกซิเจนละลายน้ำจะต่ำมากหรือเป็นศูนย์ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องกำจัดสารสกปรกในน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ เพื่อมิให้แม่น้ำลำคลองต้อง รับความสกปรกมากเกินไป จนไม่สามารถฟอกตัวเองให้สะอาดได้ตามธรรมชาติ (Paul, 2003)

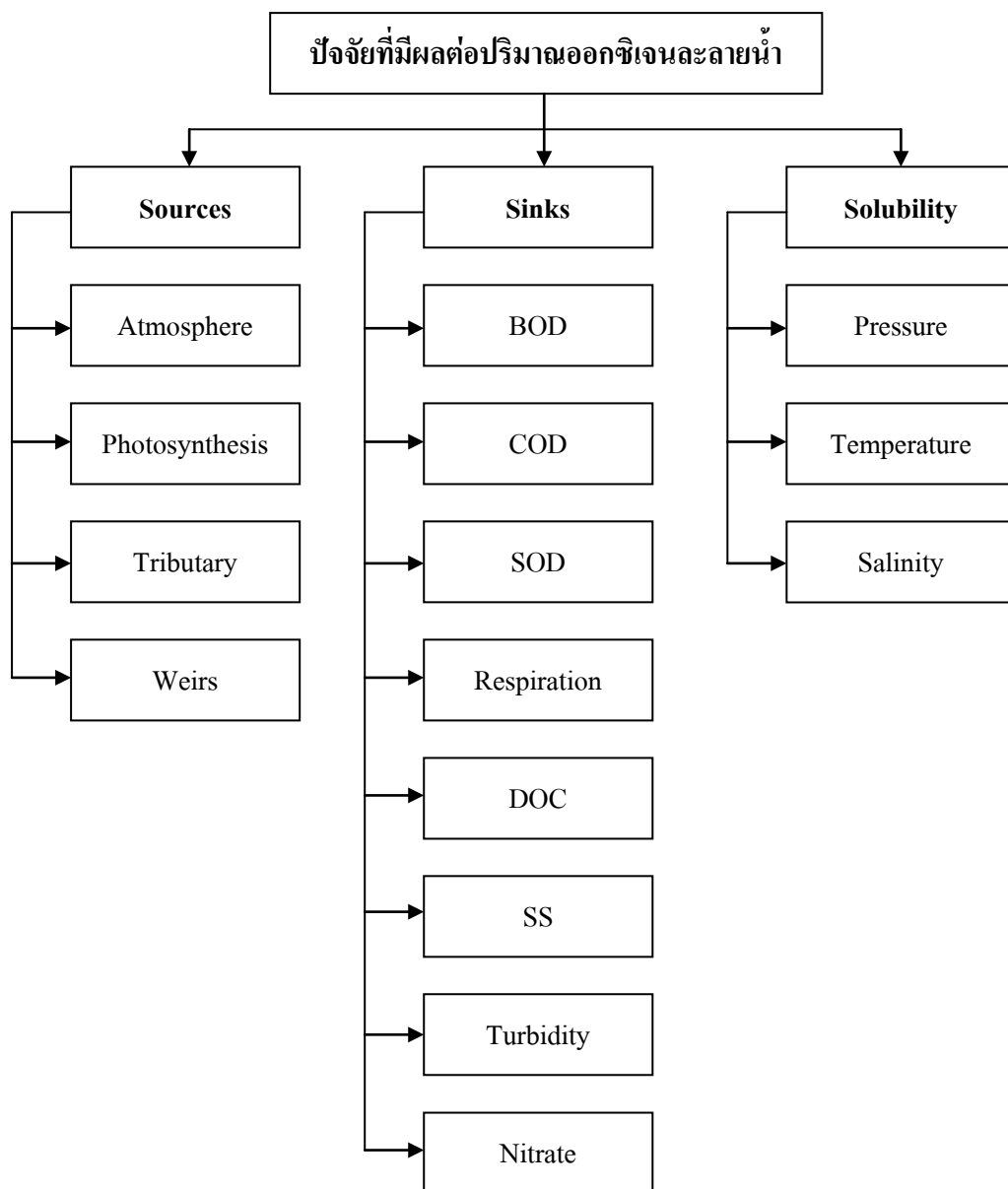
### 1.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ



ภาพที่ 1-6 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแหล่งน้ำ

ที่มา: Cox (2003)

จากภาพที่ 1-6 จะเห็นได้ว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย และโดยแท้จริงแล้วในบางแหล่งน้ำ ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าออกซิเจนในน้ำไม่ได้มีเพียงแต่ปัจจัยตามธรรมชาติ ดังแสดงในภาพเท่านั้น แต่ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดมลพิษที่มนุษย์สร้างขึ้นอีกด้วย ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ สามารถแบ่งออกได้เป็นสามประเภท (Cox and Mack, 2003) ดังภาพที่ 1-7



ภาพที่ 1-7 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำแต่ละประเภท

จากภาพที่ 1-7 สาระโดยสังเขปของปัจจัยที่มีผลต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำ แต่ละประเภท ได้อธิบายเพิ่มเติมในตารางที่ 1-5

ตารางที่ 1-5 สาธารณะโดยสังเขปของปัจจัยที่มีผลต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ประเภท	ปัจจัย	สาระสังเขป
Sources ส่งผลให้ DO เพิ่มขึ้น (+)	Atmosphere	เป็นกระบวนการดูดซับออกซิเจนในบรรยากาศลงสู่ แหล่งน้ำ
	Photosynthesis	การสังเคราะห์แสงของพืชซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ปัจจัยเช่น ความเข้มแสง , อุณหภูมิ, Nutrient จำนวน และชนิดของพืช เป็นต้น
	Tributary	แม่น้ำสายย่อยที่ไหลมาบรรจบกัน
	Weirs	เขื่อนเล็กๆ หรือ ฝ่ายน้ำล้น
Sinks ส่งผลให้ DO ลดลง (-)	Biological oxygen demand หรือ BOD	ความต้องการออกซิเจนที่ จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลาย สารอินทรีย์
	Chemical oxygen demand หรือ COD	ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในการย่อยสลาย สารอินทรีย์โดยตรง โดยไม่ผ่านแบคทีเรีย
	Sediment oxygen demand หรือ SOD	ความต้องการออกซิเจนของตะกอนท้องน้ำ ซึ่งตะกอน ที่เกิดขึ้นอาจมาจากแหล่งอื่น เช่น ใบไม้ที่ทับถมกัน และซากพืชซากสัตว์ หรือเกิดขึ้นที่แหล่งนั้น เช่น ตะกอนของ BOD
	Respiration	การหายใจของสิ่งมีชีวิตต่างๆที่อยู่ในน้ำซึ่งมักจะคงที่ แต่ก็จะขึ้นอยู่กับ Oxygen, Nutrient จำนวน และชนิด ของพืช
	Dissolved organic carbon หรือ DOC	ปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำธรรมชาติ (Edwards <i>et al.</i> , 1987) ซึ่งในแม่น้ำและทะเลสาบจะมี DOC สูง เฉลี่ยประมาณ 10 mg/L (Akkanen, 2002)
Suspended solids หรือ SS	ของแข็งที่แขวนลอย คือ สารที่มีอนุภาคขนาดใหญ่พอ ที่จะกรองออกด้วยกระดาษกรองได้ เช่น สารประกอบ ซิลิกา ซากพืชต่างๆ โคลน ดิน เป็นต้น (สมพร จันทระ, 2011)	

ประเภท	ปัจจัย	สาระสังเขป
Sinks ส่งผลให้ DO ลดลง (-) (ต่อ)	Turbidity	การที่น้ำมีของแข็งแขวนลอยอยู่ ทำให้น้ำขุ่นซึ่งทำให้คุณภาพน้ำเสียไป หรืออาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยได้ถ้าของแข็งแขวนลอยนั้นมีความเป็นพิษ ความขุ่นในน้ำมักเกิดจากโคลนตม หรือน้ำทิ้งที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือน้ำที่มีแบคทีเรียอยู่ในปริมาณมาก (สมพร จันทระ, 2011)
	Nitrate หรือ $\text{NO}_3^-$	ไนเตรทเป็นองค์ประกอบหลักของปุ๋ย ช่วยในการเจริญเติบโตของพืช ถ้ามีปริมาณมากในแหล่งน้ำจะทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตมากเกินไป และส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง โดยปกติไนเตรทไม่มีผลเสียกับปลา ยกเว้นในกรณีที่มีไนเตรทในปริมาณที่สูง แต่โดยปกติไนเตรทจะถูกกินโดยพืชในน้ำจำพวก
Solubility ส่งผล ต่อความ สามารถใน การละลาย DO	Pressure	เมื่อค่าความดันลดลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะลดลง (เมื่ออยู่ในระดับที่สูงขึ้นออกซิเจนจะละลายได้น้อยลง)
	Temperature	เมื่ออุณหภูมิลดลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะเพิ่มขึ้น (น้ำเย็นจะยอมให้ออกซิเจนละลายมากกว่าน้ำร้อน)
	Salinity	เมื่อค่า Salinity ลดลงปริมาณ ออกซิเจนละลายน้ำ จะเพิ่มขึ้น (น้ำจืดจะยอมให้ออกซิเจนละลายได้มากกว่าน้ำเค็ม)

ดังนั้นการศึกษปัจจัยที่มีผลต่อออกซิเจนละลายน้ำแบบพลวัตระบบจะสามารถทำให้เข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำได้เป็นอย่างดี และสามารถวางแผนการจัดการหรือฟื้นฟูคุณภาพน้ำได้ต่อไป

### 1.5.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) เป็นการจำลองสภาพปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นไม่ว่าสิ่งนั้นจะเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือสิ่งที่มนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง ด้วยการอธิบายโดยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถช่วยให้เข้าใจระบบได้ดีขึ้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นั้นสามารถใช้คาดการณ์ถึงขบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบย่อยในขณะเดียวกันก็ช่วยคาดการณ์ว่าจะอะไรจะเกิดขึ้น เมื่อภาวการณ์ภายนอกกระทบผันแปรไปจากเดิมหรือช่วยให้ทราบว่าจะอะไรเป็นปัจจัยสำคัญในการก่อให้เกิดกระบวนการหรือพฤติกรรมต่างๆ

โดยสรุปแล้ววัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองมี 5 ประการ (ทวิวงค์ ศรีบุรี, 2541) คือ

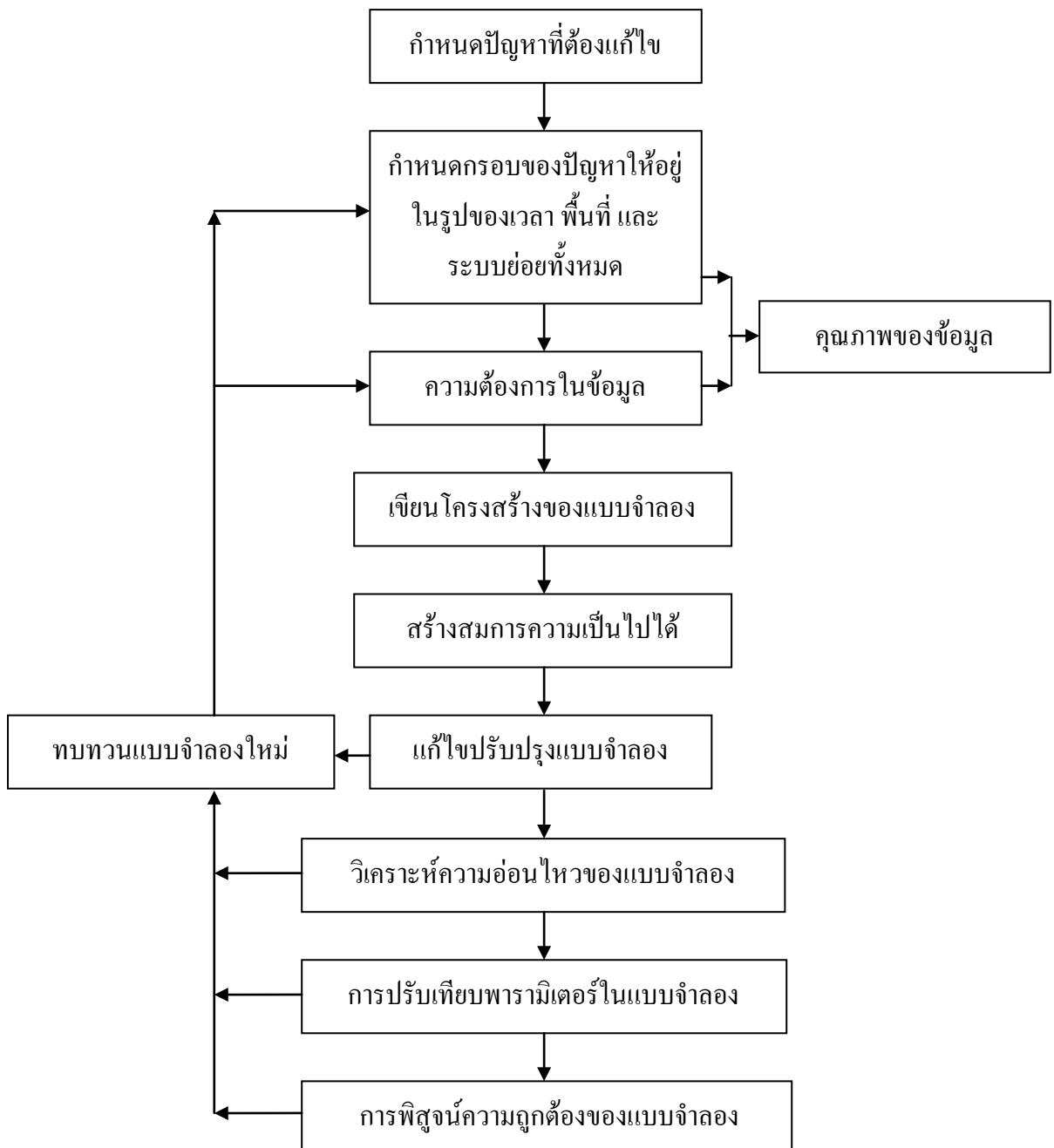
1. เพื่อบอกถึงข้อเท็จจริงเกี่ยวกับระบบ
2. เพื่อบอกถึงแนวความคิดของผู้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีต่อระบบและการจัดการระบบ
3. เพื่อให้ทำให้ผู้สร้างและผู้อื่นในวงการวิเคราะห์ระบบ เกิดแนวความคิดใหม่ๆ ในการสร้างและใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างละเอียดถี่ถ้วนมากขึ้น
4. เพื่อใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาดการณ์หรือพยากรณ์ว่าระบบจะแสดงพฤติกรรมอย่างไร ถ้าสิ่งหนึ่งสิ่งใดหรือหลายสิ่งในระบบผันแปรไป
5. เพื่อเป็นเครื่องมือชี้ให้เห็นว่าจะอะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงไป ในลักษณะต่าง ๆ ที่บ่งบอกได้ถึงแนวทางในการจัดการ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะแสดงถึงความเป็นจริงหรือทฤษฎีเกี่ยวกับความเป็นจริงและพฤติกรรมของสิ่งนั้น ข้อมูลเบื้องต้นของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เรียกว่า ข้อมูลเข้า (Input data) และผลที่ได้จากแบบจำลอง เรียกว่า ข้อมูลออก (Output data) ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเข้าและข้อมูลออก เรียกว่า ฟังก์ชันโอนถ่าย (Transfer function)

#### 1.5.5.1 กระบวนการและขั้นตอนในการสร้างแบบจำลอง

วัตถุประสงค์ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น คือต้องการให้ได้คำตอบตรงตามหรือไม่ นั่นก็ขึ้นอยู่กับความรู้ ความเข้าใจ ความชำนาญและวัตถุประสงค์ของผู้สร้างซึ่งถ้าผู้สร้างมีความเข้าใจทั้งโครงสร้างและหน้าที่ของระบบอย่างดีแล้วก็สามารถสร้างแบบจำลองที่เลียนแบบระบบที่แท้จริงได้ อย่างไรก็ตามยังต้องขึ้นกับเวลา บุคลากรและงบประมาณเป็นองค์ประกอบหลักด้วย การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มักจะใช้ทฤษฎีที่มีอยู่แล้ว ผวนกับแนวคิดของผู้สร้าง



ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยการสำรวจจากพื้นที่จริง และใช้ระบบที่เป็นอยู่จริงเป็นเครื่องมือทดสอบ หากแบบจำลองที่สร้างสามารถตอบคำถามได้ตามที่กำหนดไว้ในวัตถุประสงค์ได้อย่างพอใจแล้วก็เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการสร้าง แต่ถ้ายังมีข้อผิดพลาดอยู่ ผลจากข้อมูลออกจะเป็นตัวชี้ว่าควรแก้ไขตรงไหน อย่างไร ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีขั้นตอน ที่กำหนดให้ผู้สร้างแบบจำลองดำเนินการได้ (ทวิวงศ์ ศรีบุรี, 2541) ดังภาพที่ 1-8



ภาพที่ 1-8 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบต่าง ๆ

จากภาพที่ 1-8 อธิบายโดยย่อได้ดังนี้

1. กำหนดปัญหาที่ต้องการแก้ไข เพื่อใช้กำหนดรูปแบบและทิศทางของแบบจำลอง
2. กำหนดกรอบของปัญหาให้อยู่ในรูปของเวลา พื้นที่ และระบบย่อยของระบบทั้งหมด
3. ความต้องการในข้อมูล ซึ่งจะมีปริมาณและคุณภาพมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับความสลับซับซ้อนของแบบจำลองที่จะสร้างข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ในกรณีที่ข้อมูลมีข้อจำกัดก็อาจจำเป็นต้องลดความซับซ้อนของแบบจำลองลงหรือกำหนดปัญหาให้เล็กลงไป
4. เขียนโครงสร้างของแบบจำลองจากแนวคิดที่ผู้สร้างมีอยู่หรือจากกลุ่มผู้สร้างซึ่งขั้นตอนนี้อาจทำก่อนขั้นตอนรวบรวมข้อมูล แต่มักจะถูกจำกัดด้วยข้อมูลที่มีอยู่การเขียนโครงข่ายของแบบจำลองจึงมักทำภายหลังจากที่ทราบปริมาณและคุณภาพของข้อมูลแล้ว
5. สร้างสมการความเป็นไปและความสำคัญของระบบที่เชื่อมโยงกับการให้คำตอบของปัญหาที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 โดยในขั้นตอนนี้จะคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้
  - 5.1 จะให้แบบจำลองช่วยตัดสินใจแก้ปัญหา ให้คำตอบเรื่องอะไร ในระดับใด
  - 5.2 จำแนกองค์ประกอบ (ตัวแปร) ของแบบจำลองที่จะเป็นตัวกำหนด (Regulate) และตัวให้ผลลัพธ์ครบถ้วน
  - 5.3 สร้างความสัมพันธ์ เชื่อมโยงตัวแปรต่างๆ ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยผลงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นหลักหรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ
  - 5.4 กำหนดพารามิเตอร์ที่จะเป็นข้อมูลออก กำหนดช่วงเวลา (Time interval) และระยะเวลา (Time span) ที่จะให้แบบจำลองหาคำตอบให้
  - 5.5 ผนวกแบบจำลองย่อยต่างๆ เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบและมีระเบียบสอดคล้องกับพฤติกรรมธรรมชาติ
6. ทดลองการทำงานของแบบจำลองและความถูกต้องของผลลัพธ์ เมื่อเชื่อมโยงสมการหรือแบบจำลองย่อยต่างๆ เข้าด้วยกันแล้ว ถ้าเป็นขั้นการทดสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาสามารถทำงานหรือคำนวณได้ตามที่ต้องการหรือไม่ มีความถูกต้องตามหลักตรรกะ และอธิบายความเป็นไปได้ของกระบวนการต่างๆ ได้ตามที่คิดไว้หรือไม่ ขั้นตอนนี้ส่วนมากจะใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในอดีตเป็นตัวทดสอบ
7. การแก้ไขปรับปรุงแบบจำลอง กรณีที่การทำงานยังไม่ดีพอซึ่งอาจเกิดจากแบบจำลองยังไม่สมบูรณ์หรือการเชื่อมต่อ อกันไม่เป็นไปตามตรรกะ หรือรายละเอียดในแบบจำลองย่อยยังไม่เพียงพอ หรือตั้งวัตถุประสงค์ไว้มากเกินไปกว่าข้อมูลที่มีอยู่จะหาคำตอบให้ได้ ก็จะต้องมีการทบทวนกันใหม่โดยเริ่มที่ขั้นตอนที่ 2 ใหม่ ก็จะทำได้แบบจำลองที่ให้ความพอใจได้

8. ในกรณีที่แบบจำลองทำงานได้แล้วมีความถูกต้องแม่นยำ ตามที่ตั้งเกณฑ์ไว้แล้ว ก็คงจะต้องมีการทดสอบการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ภายในแบบจำลอง (Sensitive analysis) ว่าเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ตัวหนึ่งไปในระดับต่างๆ จะทำให้มีผลลัพธ์ออกมาแตกต่างกันไปจากเดิมอย่างมีตรรกะและระดับการเปลี่ยนแปลงยอมรับได้หรือไม่ ถ้ายังไม่ตอบสนองในระดับที่ดีพอก็ต้องกลับไปเริ่มที่ขั้นตอนที่ 7 คือ ทบทวนแบบจำลองกันใหม่อีกจนพอใจ

9. การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ในแบบจำลอง ขั้นตอนนี้มักจะทำการันเสมอในเกือบทุกแบบจำลอง เพื่อให้ได้ค่าตรงหรือใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้จริงหรือที่ควร จะเป็น ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองนั้นมีโอกาสเลียนแบบของจริงได้ 100% ค่าที่ได้จึงมักคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงจึงต้องมีการเปรียบเทียบ

10. การพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation) เป็นการทดสอบว่าแบบจำลองทำงานได้ดีและถูกต้องเพียงใด ซึ่งความยากง่ายของแบบจำลองอยู่ที่ตัวแปรที่เป็นข้อมูลเข้าและข้อมูลออกที่มีหลายตัวแปรและมีความสัมพันธ์ของฟังก์ชันสลับซับซ้อน

#### 1.5.5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการด้านทรัพยากรน้ำ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีการหนึ่งที่น่ามาใช้เพื่อการวางแผนและตัดสินใจ (Decision-making) ในการพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติหรือระบบต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสร้างขึ้นโดยอาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ประกอบด้วยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และพยายามปรับปรุงแก้ไขสมการเพื่อให้สามารถจำลองถึงสภาพต่างๆ ของระบบที่ศึกษาได้อย่างถูกต้องหรือใกล้เคียงที่สุด (พิสิฐ ศรีวรานันท์, 2534)

แบบจำลองด้านทรัพยากรน้ำเป็นการพยายามใช้สมการต่างๆ มาอธิบายถึงลักษณะของแหล่งน้ำอันได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ สภาพการไหลของน้ำ และคุณภาพน้ำให้มีความถูกต้องหรือใกล้เคียงมากที่สุด จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแบบจำลองด้านทรัพยากรแหล่งน้ำประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน (DHI, 1988 อ้างอิงใน พิสิฐ ศรีวรานันท์, 2534) ได้แก่

1. แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic model) เป็นการจำลองสภาพทางกายภาพของแหล่งน้ำ เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ และปากแม่น้ำ โดยจำลองสภาพการไหล ค่าระดับน้ำ ความเร็วของน้ำ

2. แบบจำลองการแพร่กระจาย (Transport dispersion model) เป็นการจำลองลักษณะการแพร่กระจายสารในแหล่งน้ำ เพื่อศึกษาความสามารถในการผสมผสานและการเคลื่อนที่ของสารหรือมลสาร

3. แบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water quality model) เป็นการจำลองถึงลักษณะของแหล่งน้ำในเชิงคุณภาพน้ำ โดยพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในสภาพปัจจุบัน และอนาคต เมื่อมีปัจจัยภายนอกเข้ามากระทบกระเทือน

แบบจำลองคุณภาพน้ำที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้ออกแบบขึ้นเพื่อการติดตามการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนแปลงมลสารในลำน้ำ แม่น้ำ ทะเลสาบ ปากแม่น้ำ และแหล่งน้ำอื่นๆ โดยสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภทตามแหล่งกำเนิดมลสาร (Viessman *et al.*, 1989 อ้างอิงใน พิสิฐ ศรีวรานันท์, 2534) คือ

3.1 แบบจำลองคุณภาพน้ำที่สามารถกำหนดแหล่งที่เกิดได้ (Point source water quality model) เป็นการพิจารณาในส่วนของระบบและโครงข่ายของแหล่งน้ำ เช่น คลอง แม่น้ำ และน้ำใต้ดิน เนื่องจากพิจารณาแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่ทราบแน่นอน เช่น ระบบท่อระบายน้ำทิ้งซึ่งมีลักษณะการปล่อยทิ้งของมลสารอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ แหล่งน้ำทิ้งจากชุมชนหรือโรงงาน อุตสาหกรรม เป็นต้น

3.2 แบบจำลองคุณภาพน้ำที่ไม่สามารถกำหนดแหล่งที่เกิดได้ (Non-point source water quality model) เป็นการพิจารณาถึงวัฏจักรอุทกศาสตร์ เนื่องจากไม่ทราบถึงบริเวณหรือตำแหน่งที่แน่นอนของแหล่งที่มาของมลสาร โดยมลสารอาจมาจากการไหลหรือการเคลื่อนที่ของน้ำจากบนพื้นดินไหลผ่านใต้ดินแล้วชะล้างเอามลสารลงสู่แหล่งน้ำ

### 1.5.5.3 สมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ สร้างโดยใช้สมการเอมพิริคัล และสมการที่พัฒนาจากปฏิกิริยา 1<sup>st</sup> Order

สมการเอมพิริคัลเป็นสมการที่ง่ายและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถพัฒนาได้จากการทดลอง แต่อาจให้ผลที่คลาดเคลื่อนในกรณีที่เงื่อนไขหรือสถานการณ์เปลี่ยนไป (สุนทร สืบคำ, 2552) ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการ ใช้สมการเอมพิริคัล ในการ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตัวอย่างดังตารางที่ 1-6

ตารางที่ 1-6 ตัวอย่างการใช้สมการเอมพิริคัล

ตัวอย่างสมการเอมพิริคัล	เงื่อนไข	ที่มา
$K_a = 5.5773 \left( \frac{U^{0.607}}{H^{1.689}} \right)$	กรณีศึกษาลักษณะทางชลศาสตร์ของลำน้ำขนาดเล็กและใหญ่	Bennett <i>et al</i> (1972)
$K_a = 0.888(0.30+5570.8S^{0.5})$	กรณีศึกษาลักษณะทางชลศาสตร์ของลำน้ำขนาดเล็กไปถึงขนาดกลาง	Foree (1976)
$chl\ a = 0.27(P)^{0.99}$	กรณีศึกษาหา chlorophyll a ในแหล่งน้ำ	Mills <i>et al</i> (1985)
$P = (0.95+31.7Chl)I^{0.28}$	กรณีศึกษาหาปริมาณของออกซิเจนที่ผลิตต่อหน่วยพื้นที่ต่อวัน	Cox (2003)

โดยที่;  $U$  = ความเร็วเฉลี่ย (m/s)

$H$  = ความลึกเฉลี่ย (m)

$S$  = ความชัน

$chl\ a$  = chlorophyll a (mg/L)

$P$  = ปริมาณของออกซิเจนที่ผลิตต่อหน่วยพื้นที่ต่อวัน ( $g\ O_2\ m^{-2}/day$ )

$I$  = พลังงานแสงที่ได้รับบริเวณพื้นผิวน้ำ ( $Cal\ cm^{-2}/day$ )

ส่วนสมการที่พัฒนาจากปฏิกิริยา 1<sup>st</sup> Order เป็นสมการที่ตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 และพื้นที่ที่ศึกษาเป็นแบบไหลตามกันหรือที่เรียกว่า Plug flow (ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2552) ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการใช้สมการที่พัฒนาจากปฏิกิริยา 1<sup>st</sup> Order ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตัวอย่างดังตารางที่ 1-7

ตารางที่ 1-7 ตัวอย่างสมการที่พัฒนาจากปฏิกิริยา 1<sup>st</sup> Order

สมการ 1 <sup>st</sup> Order	เงื่อนไข	ที่มา
$C_t = C_0 e^{-(k_1+k_2)t}$	กรณีหาค่า DO ในแหล่งน้ำที่ศึกษา	Mills <i>et al</i> (1985)
$C_t = \frac{(k_3 + k_b C_0) e^{(k_b t)} - k_3}{k_b}$	กรณีหาค่า BOD ในแหล่งน้ำที่ศึกษา	Mills <i>et al</i> (1985)
$\frac{C_e}{C_0} = e^{-(K(T))^*t}$	กรณีหาค่า BOD ในพื้นที่ศึกษา	Fowler (2003)
$L = L_0 e^{-k_d \frac{x}{ux}}$	กรณีหาค่า BOD ในแหล่งน้ำที่ศึกษา	Yudianto (2008)
$L_t = L_0 e^{-k_d t}$	กรณีหาค่า BOD ในแหล่งน้ำที่ศึกษา	Cox (2003)
$BOD\ outlet = BOD\ inlet\ exp^{(-kT)}$	กรณีหาค่า BOD ในแหล่งน้ำที่ศึกษา	ITRC (2003)
$[Pollutant]\ outlet = [Pollutant]\ inlet\ exp^{(-k_d t)}$		Reed <i>et al</i> (1995) และ ITRC (2003)
$([Pollutant]\ outlet - P^*) = ([Pollutant]\ inlet - P^*)\ exp\left(-\frac{k_d}{Q}\right)$		Kadlec <i>et al</i> (1996) และ ITRC (2003)

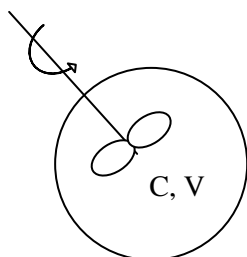
โดยที่;  $C_t$  = DO ที่เวลา  $t$  (mg/L) หรือ BOD ที่เวลา  $t$  (mg/L)  
 $C_0$  = DO ที่เวลาเริ่มต้น (mg/L) หรือ BOD ที่เวลาเริ่มต้น (mg/L)  
 $k_1, k_{1s}$  = ค่าคงที่ 1<sup>st</sup> Order Kinetic Constant ( $\text{day}^{-1}$ )  
 $t$  = ระยะเวลาในการบำบัดของเสีย (Residence Time) (day)  
 $k_a$  = BOD loading เฉลี่ย (mg/L)  
 $k_b = Q/V$   
 $Q$  = อัตราการไหลออกเฉลี่ยของน้ำ (liters  $\text{day}^{-1}$ )  
 $V$  = ปริมาตรกักเก็บน้ำ (liters)  
*BOD inlet*,  $C_e$  = ความเข้มข้น BOD น้ำเข้า (mg/L)  
*BOD outlet*,  $C_0$  = ความเข้มข้น BOD น้ำออก (mg/L)  
*[Pollutant] outlet* = ความเข้มข้นสารปนเปื้อนน้ำออก (mg/L)  
*[Pollutant] inlet* = ความเข้มข้นสารปนเปื้อนน้ำเข้า (mg/L)  
 $t$  = hydrologic retention time ( $\text{day}^{-1}$ )  
 $L$  = BOD ที่เวลาเปลี่ยนไป (mg/L)  
 $L_0$  = BOD ที่เวลาเริ่มต้น (mg/L)  
 $t$  = river travel time (= distance traveled/velocity =  $x/u$ )  
 $P^*$  = ความเข้มข้นสารปนเปื้อนพื้นฐาน (mg/L)  
 $k, k_T$  = 1<sup>st</sup> Order Kinetic Constant ( $\text{day}^{-1}$ )  
 $k_d$  = river deoxygenation rate coefficient (time<sup>-1</sup>)

### 1.5.5.3.1 สมการที่พัฒนาจากปฏิกิริยา 1<sup>st</sup> Order

สมการที่พัฒนาจากปฏิกิริยา 1<sup>st</sup> Order เป็นสมการที่ตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 สมการที่ใช้ในการศึกษาดังแสดงในสมการที่ 14

The Mass Balance (สมดุลมวล)

{rate of mass in} - {rate of mass out} + {rate of mass generated} - {rate of mass consumed} = {rate of mass accumulated} หรือ  $IN - OUT + PROD - CONS = ACC$  ..... (1)



ให้  $V$  เป็น ปริมาตร  
 $C_0$  " ความเข้มข้นเริ่มต้น  
 $M$  " มวลรวม

ซึ่ง  $M = V \cdot C_0$  ในหน่วยของเวลา

จาก (1) เปลี่ยนเป็น

$$Q \cdot C_{in} - Q \cdot C_{out} \pm \int_V r \, dV = \frac{dm}{dt} \quad \dots \dots \dots (2)$$

เมื่อ  $r$  เป็น generation (+) หรือ depletion (-)

สมมติให้ไม่มีการไหลเข้าหรือออกของระบบ ( $Q = 0$ ) และ  $V$  เป็นปริมาตรคงที่ของระบบ

$$\text{จะได้ } \frac{dm}{dt} = \frac{d(c \cdot V)}{dt} = V \cdot \frac{dc}{dt} = V \cdot r \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{dm}{dt} = V \cdot r$$

เมื่อ  $C = C(t)$  เป็นความเข้มข้นภายในระบบที่เวลาใดๆ

$$\text{ดังนั้น } \frac{dc}{dt} = r \quad \dots \dots \dots (4)$$

พิจารณา First - order reaction ( $r = -k \cdot c$ )

$$\text{จะได้ } \frac{dc}{dt} = -k \cdot c \quad \dots \dots \dots (5)$$

จากสมการ (5) ย้ายข้าง

$$\text{จะได้ } \frac{1}{c} \, dc = -k \cdot dt \quad \dots \dots \dots (6)$$

จากนั้นทำการอินทิเกรตสมการ (6)



$$\text{จะได้ } \int_{c_0}^c \frac{1}{c} dc = \int_{t_0}^t -k dt \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{จากสูตร } \int \frac{1}{x} dx = \ln |x| + c$$

$$\text{จะได้ } \int_{c_0}^c \frac{1}{c} dc = \ln c - \ln c_0 \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{และ } \int_{t_0}^t -k dt = -k.t \dots\dots\dots (9)$$

จากสมการ(8) และ (9)

$$\text{จะได้ } \ln c - \ln c_0 = -k.t \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{จากสมการ (10) เนื่องจาก } \ln c - \ln c_0 = \ln \left( \frac{c}{c_0} \right)$$

$$\text{ดังนั้น } \ln \left( \frac{c}{c_0} \right) = -k.t \dots\dots\dots (11)$$

จากสมการ (10) ย้ายข้าง

$$\text{จะได้ } \ln c = \ln c_0 - k.t \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{ซึ่ง } \ln \left( \frac{c}{c_0} \right) = -k.t \text{ เท่ากับ } -\ln \left( \frac{c}{c_0} \right) = k.t$$

Take exp สมการ (12) ค่า ln จะหายไป

$$\text{จะได้ } c = c_0 \cdot \exp^{-k.t} \dots\dots\dots (13)$$

จากสมการ (13) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลา ณ.จุดนั้นที่เวลาใดๆ

ดังนั้นจะรู้ความเข้มข้นภายในได้ (c) จะต้องรู้ค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ (k) และความเข้มข้นเริ่มต้น ( $c_0$ ) (Stenstrom, 2003)

จากสมการ (13) นำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ (ดัดแปลงจาก Reed *et al*, 1995 และ ITRC, 2003)

$$\text{จะได้ (Pollutant) outlet} = (\text{Pollutant) inlet} \exp^{-kt} \dots\dots\dots (14)$$

โดยที่; (Pollutant) inlet = inlet concentration (mg/L)

(Pollutant) outlet = outlet concentration (mg/L)

k = The rate constant ( $d^{-1}$ )

t = Residence time (d)

จากสมการที่ (14) จะเห็นได้ว่าจำเป็นต้องหาค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ (k)

### 1.5.5.3.2 ค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ (Kinetic coefficient)

ในการสร้างแบบจำลองโดยใช้สมการ ที่พัฒนาจากปฏิกิริยา 1<sup>st</sup> Order จำเป็นจะต้องหาค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ ซึ่งค่าคงที่ทางจลนศาสตร์สามารถหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ จากผลการเดินระบบจริง หรือจากเอกสารอ้างอิง

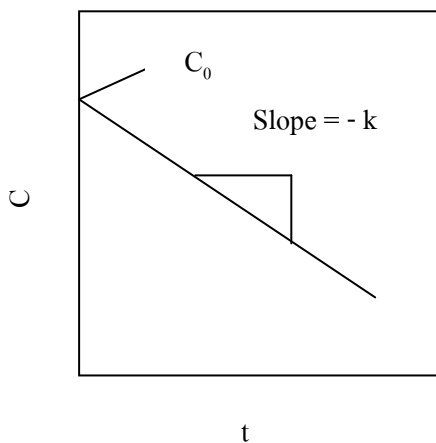
ในกรณีที่หาค่าคงที่ทางจลนศาสตร์จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และจากผลการเดินระบบจริง นั้น จะนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์ หาอันดับของ อัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังตารางที่ 1-8 จากนั้น สามารถคำนวณ ค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ ได้ โดยการสร้างกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเปลี่ยนแปลงของความสกปรกของน้ำต่อเวลา ซึ่งความชันของกราฟบ่งบอกค่า คงที่ทางจลนศาสตร์ ดังภาพที่ 1-9

ตารางที่ 1-8 การหาค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับต่างๆ จากการ Integration

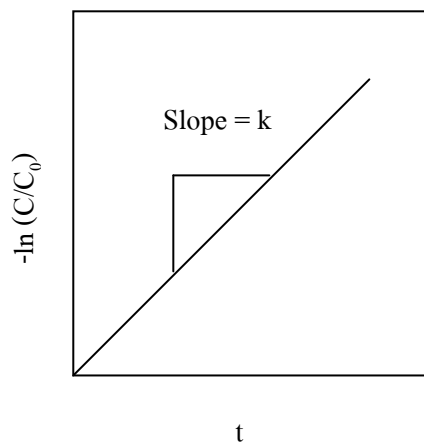
Order	Differential Form	Integrated Form
Zero-order reaction	$r_c = \frac{dc}{dt} = k$	$C - C_0 = -kt$
First-order reaction	$r_c = \frac{dc}{dt} = kC$	$\ln \frac{C}{C_0} = kt$
Second-order reaction	$r_c = \frac{dc}{dt} = kC^2$	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + kt$
Saturation reaction	$r_c = \frac{dc}{dt} = \frac{kC}{k + C}$	$kt = K \ln \frac{C_0}{C_t} + (C_0 - C_t)$

ที่มา: คัดแปลงจาก Metcalf and Eddy (2003)

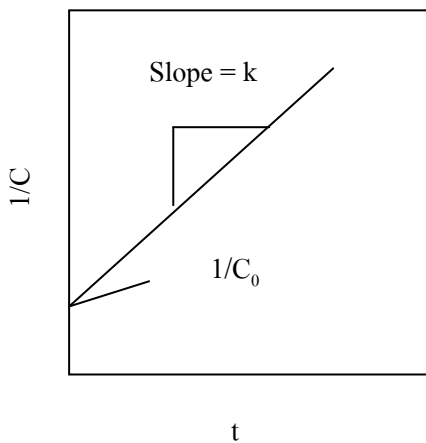
การหาค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับต่างๆ โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเปลี่ยนแปลงของความสกปรกของน้ำต่อเวลา ดังภาพที่ 1-9



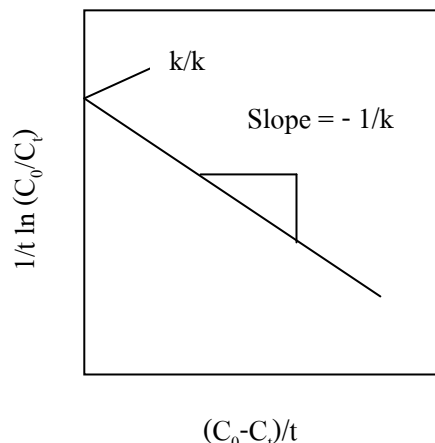
(a) Zero-order reaction



(b) First-order reaction



(c) Second-order reaction



(d) Saturation-type reaction

ภาพที่ 1-9 การหาค่าการเกิดปฏิกิริยาอันดับต่างๆ จากกราฟ  
ที่มา : Metcalf and Eddy (2003)

จากภาพที่ 1-9 จะได้สมการดังแสดงในสมการที่ 15

$$y = mx + c$$

..... (15)

โดยที่; m คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ

ดังนั้น  $m = k$

### 1.5.5.3.3 เปรอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Percentage error)

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน หรือ % Error คือ ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลองพิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้ต้องมีปริมาณที่เป็นจริงและถูกต้องไว้เปรียบเทียบกับด้วย (ทงนศักดิ์ ทวีศรี, 2555)

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{E - S}{S} \right| \times 100 \quad \dots\dots\dots (16)$$

โดยที่; E คือ ค่าที่ได้จากการทดลอง

S คือ ค่าจริง

จากสมการที่ (16) นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้จะได้

$$\% \text{ ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{\text{ค่าที่ได้จากแบบจำลอง} - \text{ค่าที่ได้จากการวัดจริง}}{\text{ค่าที่ได้จากการวัดจริง}} \right| \times 100 \quad \dots\dots (17)$$

ซึ่ง % ความคลาดเคลื่อนจะบอกถึงความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือ ในการทำนายของแบบจำลองได้

### 1.5.5.4 ซอฟแวร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

#### 1.5.5.4.1 โปรแกรม Microsoft office excel version 2007

Microsoft excel เป็นโปรแกรมที่อำนวยความสะดวกในการคำนวณ (Spreadsheet) โดยทำงานในรูปแบบของตาราง ซึ่งเรียกว่าตารางคำนวณ (Worksheet) นอกจากนี้ยังสามารถจัดการฐานข้อมูล (Database) และการแสดงผลด้วยรูปภาพ (Chart) ได้เป็นอย่างดี (กรัณท์รัตน์ ศรีกาหลง, 2547)

#### 1.5.5.4.2 โปรแกรม SPSS version 15.0

ใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์แบบ Multiple Linear Regression กล่าวคือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรตาม 1 ตัว และตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป การวิเคราะห์นี้เป็นการหาขนาดของความสัมพันธ์ และสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2540)

Multiple Linear Regression เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระหลายๆตัวกับตัวแปรตาม ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองสมการพยากรณ์ จะพิจารณาจากการมีตัวแปรอยู่ในระบบสมการ ซึ่งเรียกว่า การนำตัวแปรเข้าระบบสมการ ที่นิยมใช้ด้วยกัน 4 วิธี คือ

- All Enter ถือว่าตัวแปรอิสระทุกตัวมีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม จึงนำตัวแปรอิสระทุกตัวเข้าระบบสมการพร้อมกัน

- Forward กำหนดให้เริ่มต้นสร้างสมการยังไม่มีตัวแปรใดอยู่ในระบบสมการ จากนั้นให้เริ่มทำการสร้างระบบสมการ โดยนำตัวแปรอิสระที่มีขนาดของอิทธิพลสูงสุดเข้าไปสร้างสมการกับตัวแปรตามก่อน จากนั้นจึงนำตัวแปรอิสระที่เหลือที่มีขนาดของอิทธิพลรองลงไปเข้าทีละตัว และจะหยุดการนำตัวแปรอิสระเข้าระบบสมการหากพบว่าตัวแปรนั้นมีขนาดของอิทธิพลน้อย (ไม่มีนัยสำคัญ) หรือไม่มีอิทธิพลเลย

- Backward กำหนดให้เมื่อเริ่มสร้างสมการมีตัวแปรอิสระทุกตัวอยู่ครบในระบบสมการ จากนั้นให้ทำการดึงตัวแปรอิสระที่มีขนาดของอิทธิพลน้อยที่สุด (ไม่มีนัยสำคัญ) ออกจากสมการทีละตัว จนกระทั่งเหลือตัวแปรในระบบสมการเฉพาะที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

- Stepwise เป็นวิธีการที่นำตัวแปรอิสระเข้าสมการทีละตัวเช่นเดียวกับ Forward และเมื่อตัวแปรนั้นเข้าไปอยู่ในระบบสมการแล้ว จะทำการตรวจสอบย้อนกลับโดยวิธี Backward อีกทีหนึ่ง ในทุกครั้งที่มีการนำตัวแปรอิสระเข้าสมการ

#### 1.5.5.4.3 โปรแกรม Sigma plot version 11.0

เป็นโปรแกรมสำหรับการพล็อตกราฟจาก Datasheet ซึ่งสามารถป้อนข้อมูลลงในตารางซึ่งอยู่ในโปรแกรมได้เลย นอกจากนี้ยังสามารถดึงข้อมูล Datasheet จากไฟล์เอกสารจากโปรแกรม Microsoft office excel ก็ได้ จึงทำให้สามารถสร้างกราฟได้อย่างรวดเร็ว ใช้งานง่าย เหมาะสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องชาญ และ ไม่มีความเชี่ยวชาญในการใช้โปรแกรม ซึ่งโปรแกรม Sigma plot เป็นอีกหนึ่งโปรแกรมที่นิยมนำไปใช้ในการสร้างกราฟประกอบรายงานวิจัย เนื่องจาก สามารถสร้างกราฟแบบสามมิติ (Grant, 2012)

#### 1.5.5.4.4 โปรแกรม STELLA version 9.1.4

STELLA เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะในด้านการสร้างแบบจำลอง (Simulation software) ที่สามารถเชื่อมโยงองค์ประกอบต่างๆ ภายในระบบเชิงคณิตศาสตร์ อีกทั้งยังสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนอกระบบที่เรียกว่า Driven variable ที่สามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของระบบได้ ดังนั้นการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบที่เปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องมาจากผลกระทบของตัวแปรภายนอก หรือการวิเคราะห์สถานการณ์ จึงทำได้โดยง่ายถ้าหากว่ามีการสร้างแบบจำลองที่ดีและถูกต้อง (ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา, 2548)

### 1.5.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

National Environment Board (1976) ได้ใช้แบบจำลอง DOSAG-1 เพื่อคาดการณ์ค่า BOD และออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ของแม่น้ำแม่กลอง ช่วงเขื่อนวชิราลงกรณ์ จนถึงบริเวณที่มีผลกระทบจากการขึ้นลงของน้ำ โดยแบ่งลำน้ำออกเป็น 39 เอลิเมนต์ โดยแบบจำลองสามารถคาดการณ์ค่า BODL ที่ยอมให้มีได้สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย

Liengcharernsit (1979) ได้พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำ เพื่อใช้ทำนายกระแสน้ำ และระดับน้ำขึ้น น้ำลงรวมทั้งการสร้างแบบจำลองคุณภาพ น้ำ เพื่อศึกษาพารามิเตอร์คุณภาพน้ำต่าง ๆ ได้แก่ Salinity, Coliform Bacteria, Mercury, Nitrogen cycle, BOD และ DO ในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนพบว่า การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการกระจายของสารต่าง ๆ เกิดขึ้นค่อนข้างน้อย และการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่จะเกิดจากการไหลเนื่องจากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลมากกว่าการเปลี่ยนแปลงจากกระบวนการปฏิกิริยา

Wu and Ahlert (1979) ทำการศึกษาแบบจำลองคุณภาพน้ำภายใต้สภาพการไหลแบบคงที่ และพิจารณาการไหล โดยใช้แบบจำลองประมาณค่าบีโอดี ออกซิเจนละลายน้ำ แอมโมเนีย และไนโตรเจน ซึ่งระบบของแบบจำลองไม่คิดผลกระทบจากน้ำทะเล โดยแบบจำลองถูกประยุกต์ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

Liengcharernsit *et al.* (1980) ได้ศึกษาการแพร่กระจายของมวลสารในลำน้ำ เพื่อหาความเข้มข้นของมวลสาร โดยเขียนอยู่ในเทอมของค่าที่จุด (Node) ต่าง ๆ ซึ่งกำหนดขึ้นบนลำน้ำ พร้อมกับเปรียบเทียบผลที่แท้จริง โดยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ (Analytical Solutions)

Whitehead (1981) ทำการประยุกต์เทคนิคการประมาณค่ากับข้อมูลคุณภาพน้ำรายวัน เพื่ออธิบายแบบจำลองบีโอดี ออกซิเจนละลายน้ำ คลอไรด์ และไนเตรท ซึ่งแบบจำลองนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อออกแบบและจัดการกับ ปัญหาน้ำเสียที่มีผลกระทบต่อแม่น้ำมูลดิน โดยศึกษาการแพร่ของคุณภาพน้ำจากด้านท้ายน้ำ และประยุกต์ใช้แบบจำลองนี้เชื่อมต่อกับระบบเตือนภัยด้านคุณภาพน้ำ

Tischler *et al.* (1985) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง QUAL II และ HEC II เพื่อศึกษาคุณภาพ ในแม่น้ำฮานตอนล่าง ได้แก่ บีโอดี ออกซิเจนละลาย อุนหภูมิ แอมโมเนีย ไนเตรท ฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัส และคลอไรด์ พบว่า ผลการศึกษาพารามิเตอร์คุณภาพน้ำจากแบบจำลองและผลการสำรวจจริงมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และสามารถใช่แบบจำลองที่ศึกษาเป็นเค รื่องมือช่วยในการจัดลำดับความสำคัญในการควบคุมมลพิษทางน้ำสำหรับพื้นที่เมืองโซล (Greater Seoul Urban Area) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Beinkman *et al.* (1988) ได้ทำการศึกษาปริมาณและคุณภาพน้ำ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยแบบจำลองสามารถคำนวณค่า คงที่ที่เหมาะสมในการจัดการน้ำ ซึ่งมีระบบที่ซับซ้อน แบบจำลองประกอบไปด้วย 3 แบบจำลองย่อย คือ ABOPOL สำหรับการเคลื่อนตัวของน้ำท่า DELWAQ สำหรับคำนวณคุณภาพน้ำ และ BLOOM-II สำหรับคำนวณการเจริญเติบโตของพืชและแพลงก์ตอน

Boworsak (1992) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา พิจารณาการไหลเป็นแบบมิติเดียว โดยใช้ค่าบีโอดีและออกซิเจนละลายน้ำ เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง ซึ่งทำการแบ่งลำน้ำออกเป็น 33 ช่วงพิจารณาอัตราการไหลที่ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการศึกษาได้ทำนายคุณภาพของกลุ่มน้ำ เจ้าพระยาในปี ค.ศ. 2000 ว่าคุณภาพน้ำ จะต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คิดเป็น 84 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ต้องการบำบัด

กิริติ ลีวจนกุล (2531) ได้ศึกษาการแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา จากปากแม่น้ำจังหวัดสมุทรปราการ (กิโลเมตรที่ 0) ถึงอำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (กิโลเมตรที่ 108) ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนพฤษภาคม โดยหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำเค็มกับการขึ้นลงของระดับน้ำ และอัตราการไหลจากแม่น้ำ จากการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถใช้ในการคาดการณ์ได้ดีพอสมควร และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเค็มกับอัตราการไหลมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด โดยสามารถกำหนดอัตราการไหลเพื่อควบคุมความเค็มที่สูงสุดที่จะเกิดได้เป็นรายเดือนตามพิสัยน้ำขึ้นน้ำลง

กฤษฎา มหาสันทนะ (2539) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 เพื่อทำนายคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาโดยมีขอบเขตด้านเหนืออยู่ที่อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา และขอบเขตด้านท้ายน้ำ อยู่ที่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ รวมระยะทางที่ทำการศึกษาประมาณ 122 กิโลเมตร ปริมาณน้ำเสียที่ไหลลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาจะประเ มินจากกิจกรรมต่างๆ ตามแนวแม่น้ำ เจ้าพระยา ได้แก่ เกษตรกรรม อุตสาหกรรม พาณิชยกรรม ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาคุณภาพน้ำ ได้แก่ บีโอดี ออกซิเจนละลายน้ำ และอุณหภูมิ ในการศึกษาจะใช้แบบจำลอง MIKE 11 ทำนายคุณภาพน้ำ ในปี พ.ศ. 2540 2550 และ 2560 ผลจากการศึกษาพบว่า แม่น้ำเจ้าพระยามีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งประเภทที่ 4 โดยในปี พ.ศ. 2537 มีค่าบีโอดีสูงสุด เท่ากับ 6.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และผลจากการมีโครงการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพฯ ระยะที่ 1 ทำให้คุณภาพน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งประเภทที่ 4 จนถึงปี พ.ศ. 2540 เท่านั้น

อิสรา พิริยะพิเศษพงศ์ (2540) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 เพื่อการจัดการคุณภาพน้ำบริเวณโรงไฟฟ้าและเหมืองแม่เมาะ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถประยุกต์ใช้จำลองสภาพการไหลของน้ำ และการแพร่กระจายของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ คือ ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยได้ดี ซึ่งผลการคำนวณกับค่าที่ตรวจวัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

พรยศ เทียนทอง (2538) ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์บนโปรแกรมสำเร็จรูปโลตัส 1-2-3 รีลีส 2.01 เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำป่าสัก ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถพยากรณ์คุณภาพน้ำของแม่น้ำป่าสักได้ โดยคุณภาพน้ำมีแนวโน้มลดต่ำลงและสามารถใช้เพื่อการตัดสินใจในการวางแผนปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้ง โดยพิจารณาชุมชนสระบุรีเป็นอันดับสำคัญ ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการศึกษาได้เป็นอย่างมาก

ภัทรา เฟงธรรมกิริติ (2541) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อทำนายคุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง โดยมีขอบเขตด้านเหนือน้ำอยู่ที่อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี และขอบเขตด้านท้ายน้ำ อยู่ที่บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองคือ บีโอดี ออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ และความเค็ม จากการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระเท่ากับ 0.025 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเท่ากับ 100-300 ตารางเมตรต่อวินาที ผลจากการศึกษาพบว่าแม่น้ำแม่กลองตอนล่างในสภาพปัจจุบันมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำ ประเภทที่ 3 แต่พบความวิกฤตบางช่วงเวลาที่ค่า บีโอดีสูงกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และพื้นที่ที่มีความจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียคือเทศบาลเมืองราชบุรี และเทศบาลเมืองสมุทรสงคราม



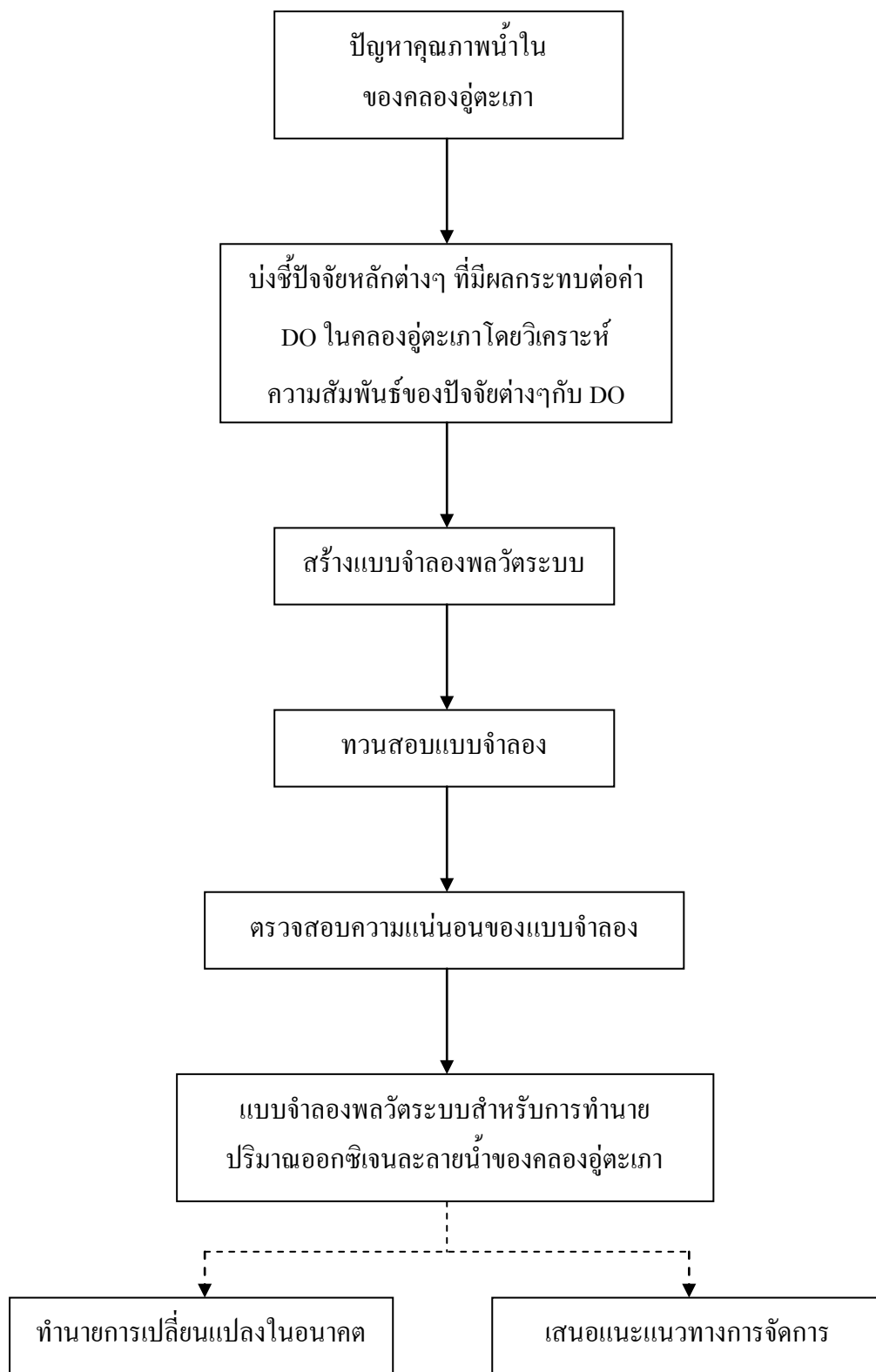
## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

#### 2.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัย เริ่มจากสาระสำคัญของทฤษฎีพลวัตระบบ (System dynamic) ซึ่งเชื่อว่าสิ่งต่างๆ ไม่ได้หยุดนิ่งแต่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ดังนั้นกรอบแนวคิดการวิจัยจึงอยู่ภายใต้กรอบแนวคิดของทฤษฎีพลวัตระบบ โดยการบ่งชี้ถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตตะเกา จากนั้นสร้างแบบจำลองพลวัตระบบที่สามารถจำลองสถานการณ์และทำนายการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น ภายใต้ขอบเขตของปัจจัยในตัวแบบจำลอง เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการน้ำสำหรับคลองอุตตะเกา ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

## 2.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

### 2.2.1 คอมพิวเตอร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์

### 2.2.2 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

### 2.2.3 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ

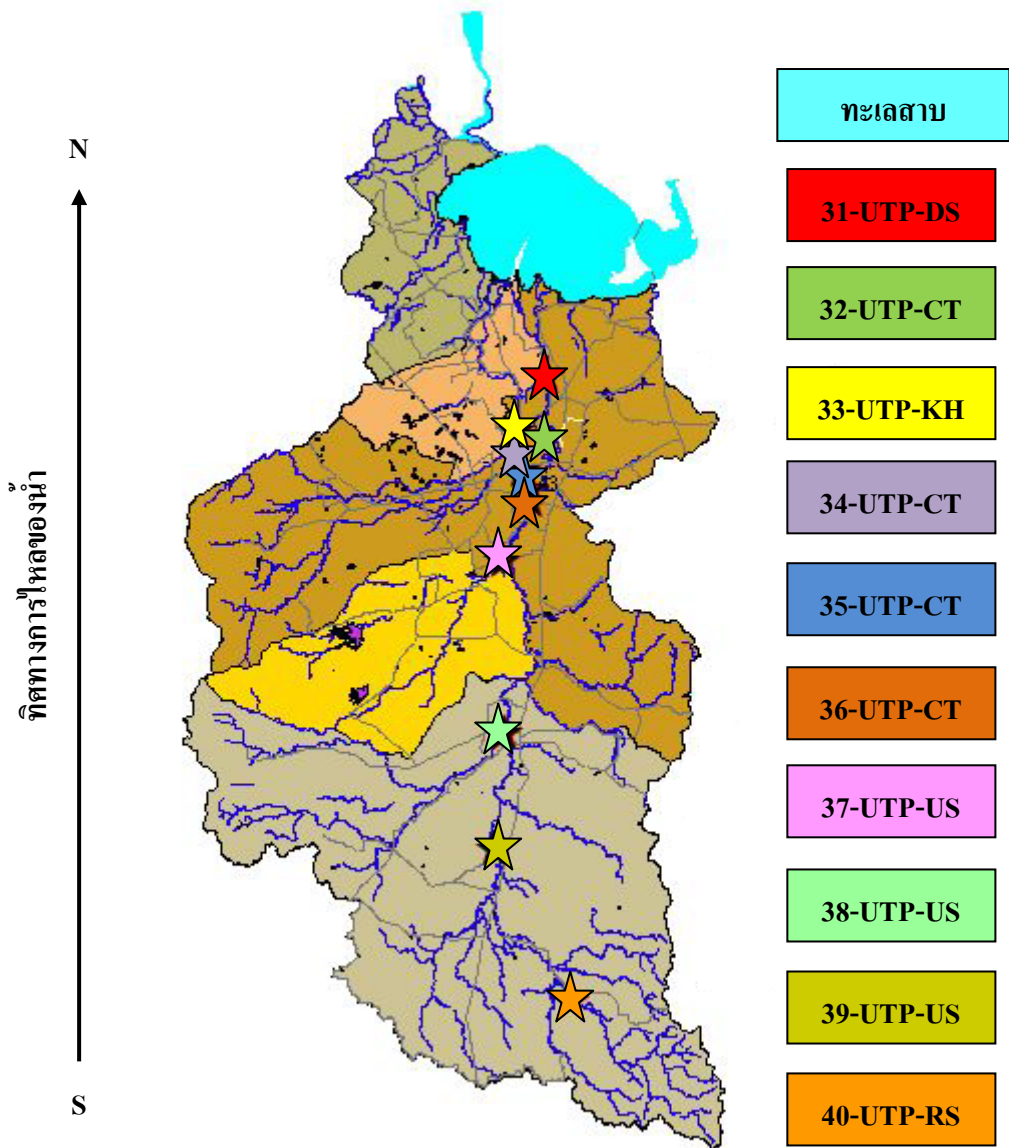
- ขวดพลาสติก ชนิด Polypropylene (PP) ขนาด 5 ลิตร จำนวน 10 ใบ
- ขวดพลาสติก ชนิด Polypropylene (PP) ขนาด 1 ลิตร จำนวน 10 ใบ
- Grab Sampling
- DO Meter ยี่ห้อ Lutron รุ่น PDO-520
- Turbidity Meter ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100P
- นาฬิกาทั่วไป สำหรับดูเวลาขณะเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละจุด

## 2.3 พื้นที่ศึกษา

คลองอุต๊ะเกาะมีพื้นที่รับน้ำประมาณ 2,535 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอสะเตาะ และอำเภอหาดใหญ่ และพื้นที่บางส่วนของอำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอนาหม่อม อำเภอบางกล่ำ อำเภอเมืองสงขลา และอำเภอควนเนียง ซึ่งทิศทางการไหลของน้ำของคลองอุต๊ะเกาะจะไหลจากทิศใต้ไปสู่ทิศเหนือ โดยมีจุดเริ่มจากชายแดนไทย-มาเลเซีย ไปสิ้นสุดที่ทะเลสาบสงขลา ตอนล่าง บริเวณบ้านท่าเมรุ อำเภอบางกล่ำ และบ้านแหลมโพธิ์ อำเภอหาดใหญ่ รวมความยาวทั้งสิ้นประมาณ 130 กิโลเมตรซึ่งมีสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 10 สถานี โดยสถานีต้นน้ำจะเริ่มจากสถานี 40-UTP-RS และสิ้นสุดที่สถานี 31-UTP-DS ซึ่งเป็นสถานีปลายน้ำ แสดงในตารางที่ 2-1 และภาพที่ 2-2

ตารางที่ 2-1 ชื่อและพิกัด UTM ของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS

สถานี	พิกัด UTM		บริเวณพื้นที่
	x	y	
31-UTP-DS	663026	782338	สะพานบ้านนารังนก อ.บางกล้า
32-UTP-CT	660446	777721	สะพาน ถนน 414 อ.หาดใหญ่
33-UTP-KH	660514	777065	สะพานรถไฟบางหัก อ.หาดใหญ่
34-UTP-CT	660851	774228	สะพาน ถนนเพชรเกษม อ.หาดใหญ่
35-UTP-CT	661579	772642	ประปาหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่
36-UTP-CT	661662	771730	สะพาน ถนน 43 ข้างประปาหาดใหญ่
37-UTP-US	659100	766403	สะพานบางศาลา อ.หาดใหญ่
38-UTP-US	659377	751500	สะพาน ถนน 4145 ต.ท่าโพธิ์ อ.สะเดา
39-UTP-US	658443	741432	สะพาน ถนนมิตรสงคราม อ.สะเดา
40-UTP-RS	665112	728194	อ่างเก็บน้ำสะเดา อ.สะเดา

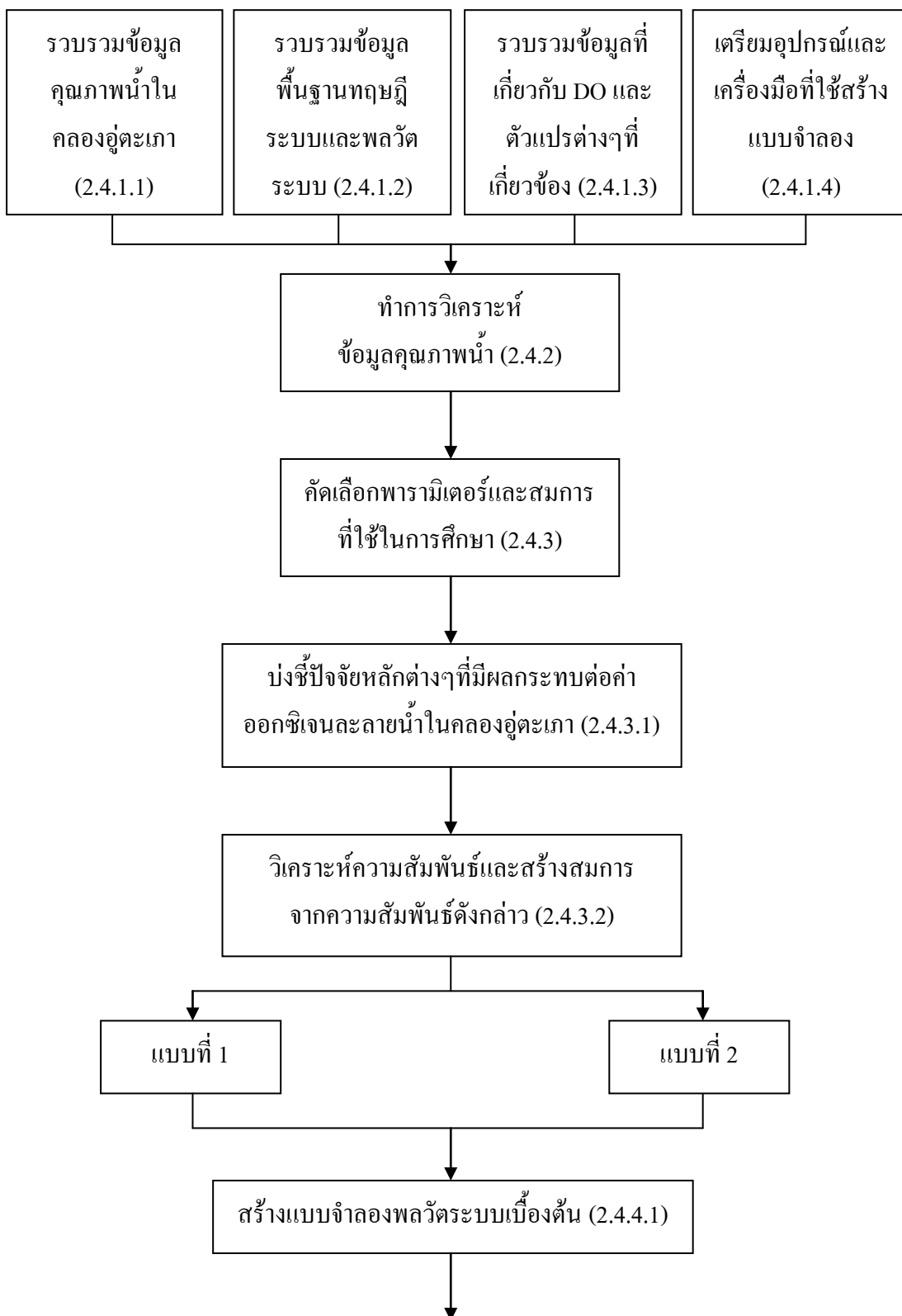


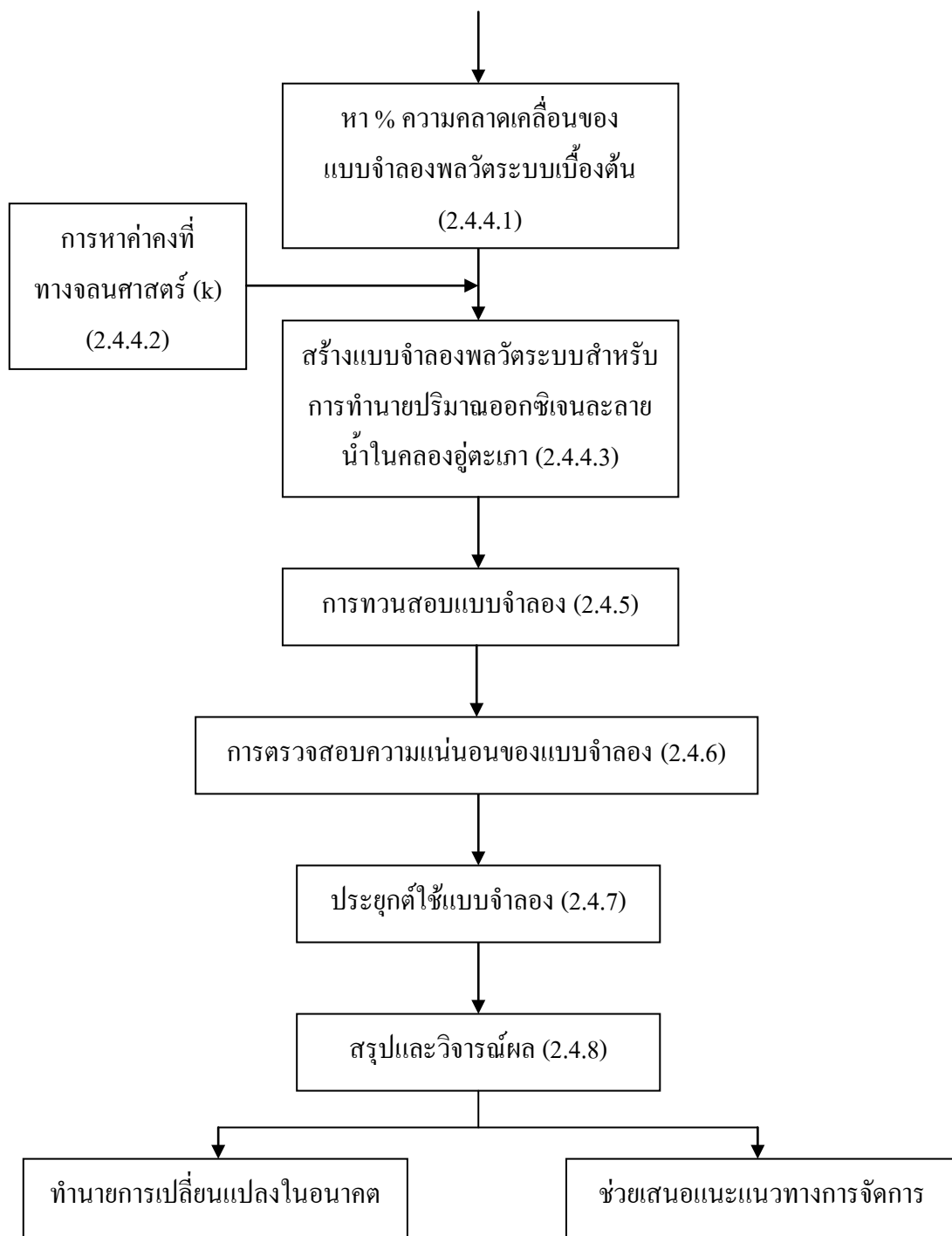
หมายเหตุ : สัญลักษณ์★ และ □ ที่มีสีเดียวกัน หมายถึง พิกัดและชื่อของสถานีเก็บน้ำ ณ.จุดเดียวกัน

ภาพที่ 2-2 ชื่อและจุดเก็บตัวอย่างน้ำของคลองอุตะเถา ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS

## 2.4 ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยทั้งหมดสามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ดังแสดงในภาพที่ 2-3





ภาพที่ 2-3 แผนภาพของขั้นตอนการวิจัยโดยสรุป

จากภาพที่ 2-3 อธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมของขั้นตอนการวิจัยได้ดังนี้

## 2.4.1 การเตรียมการและรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

### 2.4.1.1 รวบรวมข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอู่ตะเภา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลปฐมภูมิ โดยเป็นการดำเนินงานภายใต้ โครงการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประเมินคุณภาพน้ำผิวดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เพื่อนำมาควบคุม การเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา โดยมี การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอู่ตะเภาในเดือน พฤศจิกายน มกราคม และ มีนาคม ซึ่งครอบคลุมทั้งสองฤดูกาลของภาคใต้ คือฤดูร้อน ตั้งแต่ กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม และฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ (กรมอุตุฯ, 2552) โดยสามารถแบ่งข้อมูลได้เป็น 2 ชุดดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ชุดข้อมูลคุณภาพน้ำที่ใช้ในการศึกษา

ชุดที่	ข้อมูลคุณภาพน้ำ	การนำไปใช้
1	- เดือนพฤศจิกายน 2552 (ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 16 พฤศจิกายน 2552) - เดือนมกราคม 2553 (ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 13 มกราคม 2553) - เดือนมีนาคม 2553 (ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 1 มีนาคม 2553)	- การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ - การคัดเลือกพารามิเตอร์ - การหาค่าคงที่จลนศาสตร์ - การสร้างแบบจำลอง - การทดสอบแบบจำลอง - ประยุกต์ใช้แบบจำลอง
2	- เดือนมกราคม 2556 (ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 23 มกราคม 2556)	- ตรวจสอบความแน่นอน ของแบบจำลอง - ประยุกต์ใช้แบบจำลอง

2.4.1.2 รวบรวมข้อมูลพื้นฐานทฤษฎีระบบและพลวัตระบบ เนื่องจากในการศึกษาปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมของคลองอู่ตะเภาที่มีตัวแปรจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกัน และเปลี่ยนแปลงไปตามเงื่อนไขและเวลา ซึ่งในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ ตามกรอบของทฤษฎีพลวัตระบบจะทำให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบได้ดีขึ้น

2.4.1.3 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ หรือ Dissolved oxygen (DO) และตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อุณหภูมิ หรือ Temperature (Temp) ความเป็นกรด-ด่าง หรือ pH สารอินทรีย์ละลายน้ำ หรือ Dissolved organic carbon (DOC) ของแข็งแขวนลอย หรือ Suspended solids (SS) ความขุ่น หรือ Turbidity และไนเตรท หรือ Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)



2.4.1.4 เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์บันทึกข้อมูล โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ โปรแกรม Microsoft office excel version 2007 โปรแกรม SPSS version 15.0 โปรแกรม Sigma plot version 11.0 และ โปรแกรม STELLA version 9.1.4 และอุปกรณ์สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำ

#### 2.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำเป็นขั้นตอนแรกในการคัดเลือกพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการศึกษา ซึ่งในขั้นตอนนี้ทำได้โดยอาศัยโปรแกรม Microsoft office excel version 2007 โดยการสร้างแผนภูมิเส้นเพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ตามระยะทางและเวลาที่เปลี่ยนไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการสร้างแผนภูมิเส้นของ พารามิเตอร์ 7 ตัว ได้แก่ DO Temp pH DOC SS Turbidity และ Nitrate

ทำการเลือกพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางและเวลา และพารามิเตอร์นั้นต้องไม่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ไปใช้ในการศึกษาต่อไป

ส่วนพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตาม ระยะทางและเวลาน้อยมากหรือคงที่ รวมไปถึงพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ ที่ไม่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงได้ ก็จะมีการตัดพารามิเตอร์ตัวนั้นทิ้งไป

#### 2.4.3 การคัดเลือกพารามิเตอร์และสมการที่ใช้ในการศึกษา

2.4.3.1 บ่งชี้ปัจจัยหลักทางกายภาพและเคมีบางตัว ที่มีผลกระทบต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำ ในคลองอุต๊ะเกาที่ผ่านการคัดเลือกจากขั้นตอนการวิเคราะห์คุณภาพ

##### 2.4.3.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์และสร้างสมการจากความสัมพันธ์

ในการ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ และสร้างสมการจากความสัมพันธ์นั้น ทำได้โดยอาศัยโปรแกรม Microsoft office excel version 2007 SPSS version 15.0 และ Sigma plot version 11.0 โดยในการศึกษานี้ จะทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เพื่อดูความสัมพันธ์กันทางสถิติ และสร้างสมการจากความสัมพันธ์ โดยพิจารณาจากค่า  $R^2$  ของปัจจัย 2 แบบดังนี้

แบบที่ 1 ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และสร้างสมการจากความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งจะคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $P < 0.05$ ) โดยพิจารณาจากค่า  $R^2$  ที่มีค่าสูงที่สุด มาสร้างแบบจำลองพลวัตระบบเบื้องต้น

แบบที่ 2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ และสร้างสมการจากความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละตัวที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอื่นนอกเหนือจากค่าออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งจะคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอื่น สูงที่สุด โดยพิจารณาจากค่า  $R^2$  ที่มีค่าสูงที่สุด มาสร้างแบบจำลองพลวัตระบบเบื้องต้น

#### 2.4.4 การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบ

การสร้างแบบจำลองตามทฤษฎีพลวัตระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะช่วยให้สามารถเข้าใจระบบที่มี ความซับซ้อนได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยเฉพาะ การศึกษาปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมของคลองอุต๊ะเกาที่มีตัวแปรจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกัน และเปลี่ยนแปลงไปตามเงื่อนไขและเวลา รวมถึงสามารถ จำลองสถานการณ์และทำนายการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในแต่ละสถานการณ์ตามเงื่อนไขและความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะนำไปสู่การวางแผนการจัดการน้ำในคลองอุต๊ะเกาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

##### 2.4.4.1 สร้างแบบจำลองพลวัตระบบเบื้องต้น

สร้างแบบจำลอง พลวัตระบบเบื้องต้น โดยใช้ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีค่า  $R^2$  สูงที่สุด และสมการที่ได้ จากขั้นตอน การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และสร้างสมการจากความสัมพันธ์ โดยอาศัยโปรแกรม STELLA version 9.1.4 ในการสร้างแบบจำลอง

จากนั้นนำค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจริง และทำการหา % ความคลาดเคลื่อน ของแบบจำลอง พลวัตระบบเบื้องต้น โดยใช้สมการดังนี้

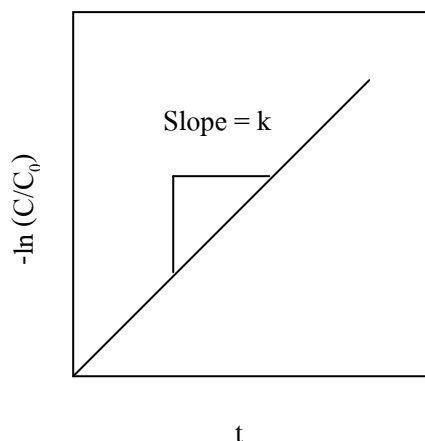
$$\% \text{ ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{\text{ค่าที่ได้จากแบบจำลอง} - \text{ค่าที่ได้จากการวัดจริง}}{\text{ค่าที่ได้จากการวัดจริง}} \right| \times 100 \dots\dots (17)$$

ซึ่งพิจารณาเลือกแบบจำลองพลวัตระบบเบื้องต้น ที่ทำนายค่าออกซิเจนละลายน้ำโดย มี % ความคลาดเคลื่อน น้อยที่สุดมาใช้ในการ สร้างแบบจำลองพลวัตระบบ สำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุต๊ะเกาตลอดลำน้ำ

##### 2.4.4.2 การหาค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ (k)

เมื่อได้แบบจำลองพลวัตระบบเบื้องต้นแล้ว จำเป็น ต้องหาค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ (k) เนื่องจากในการ สร้างแบบจำลองพลวัตระบบ สำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในคลองอุต๊ะเกาตลอดลำน้ำนั้น ใช้ สมการที่พัฒนาจากปฏิกิริยา  $1^{st}$  Order ซึ่งเป็นสมการที่ตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1

ซึ่งค่า  $k$  สามารถหาได้โดยการเก็บข้อมูลภาคสนามจริง และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของความสกปรกของน้ำต่อเวลา ค่า  $k$  คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 การหาค่าการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งจากกราฟ

จากนั้นนำค่า  $k$  ที่ได้มาใส่ในแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเถา แล้วหา % ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยการนำ ค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจริง แล้วพิจารณาเลือกค่า  $k$  ที่ทำให้แบบจำลองมีค่า % ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

2.4.4.3 สร้างแบบจำลอง พลวัตระบบ สำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในคลองอุตะเถา

ในการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเถา ทำได้โดยการนำแบบจำลอง พลวัตระบบเบื้องต้นที่มี % ความคลาดเคลื่อน ของแบบจำลองน้อยที่สุดมาเชื่อมต่อกันเป็น 10 สถานี (31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS) ซึ่งใช้สมการที่พัฒนาจากปฏิกิริยา 1<sup>st</sup> Order ดังสมการที่ (14) โดยอาศัยโปรแกรม STELLA version 9.1.4 เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง

$$(\text{Pollutant}) \text{ outlet} = (\text{Pollutant}) \text{ inlet} \exp^{(-kt)} \dots\dots\dots (14)$$

โดยที่;  $(\text{Pollutant}) \text{ inlet} = \text{inlet concentration (mg/L)}$

$(\text{Pollutant}) \text{ outlet} = \text{outlet concentration (mg/L)}$

$k = \text{The rate constant (d}^{-1}\text{)}$

$t = \text{Residence time (d)}$

#### 2.4.5 การทวนสอบแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุต๊ะเกา

ขั้นตอนนี้เป็น การทดลองการทำงานของแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุต๊ะเกา และความถูกต้องของผลลัพธ์ โดยการหา % ความคลาดเคลื่อนของค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจริง ขั้นตอนนี้จะใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในอดีตเป็นตัวทดสอบ ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 เป็นตัวทดสอบแบบจำลอง

#### 2.4.6 การตรวจสอบความแน่นอนของแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุต๊ะเกา

ขั้นตอนนี้เป็น การตรวจสอบความแน่นอนของแบบจำลอง เพื่อดูว่าแบบจำลองที่ได้ทำงานได้ดีและถูกต้องเพียงใด เมื่อกำหนดสภาวะต่างๆ ในการจัดการระบบเปลี่ยนไป ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำในเดือนมกราคม 2556 โดยพิจารณา % ความคลาดเคลื่อน ของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึงสถานี 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2556 เพื่อประเมินความสามารถและบ่งชี้ความแม่นยำของแบบจำลองในการทำนายค่า DO ในแต่ละสถานี

#### 2.4.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อทำนายค่า DOC

เนื่องจาก DOC เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ควรตรวจวัดในแหล่งน้ำที่ใช้ผลิตน้ำประปา เพราะเมื่อ DOC ผสมกับคลอรีนในกระบวนการผลิตน้ำประปา จะมีศักยภาพที่ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง หรือที่เรียกว่า THM แต่เนื่องจากการตรวจวัด DOC ทำได้ยาก เพราะมีข้อจำกัดในด้านเครื่องมือและเทคนิค อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงอีกด้วย ในงานวิจัยนี้จึง นำแบบจำลอง พลวัตระบบ (MODEL 1) ที่ได้มาประยุกต์ใช้ โดยการสร้างกราฟมาตรฐานของการประมาณค่าจากความสัมพันธ์ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำ โดยกำหนดให้ค่าของ DO DOC และ Nitrate อยู่ในช่วงระหว่างค่าต่ำสุดถึงสูงสุด ส่วนค่าของ SS และ Turbidity กำหนดให้เป็นค่าเฉลี่ย (จากผลที่ได้ในการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของ DOC SS Turbidity และ Nitrate ที่ส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของ DO แบบสามแกนคือ แกน (x, y, z) ซึ่งแทนด้วย Nitrate DOC และ DO ตามลำดับ โดยอาศัย โปรแกรม Sigma plot ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ) จากข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจริง ซึ่งครอบคลุมข้อมูลทั้ง 4 เดือน คือ พฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 มีนาคม 2553 และมกราคม 2556 เพื่อนำกราฟมาตรฐานของการประมาณค่าจากความสัมพันธ์ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำที่ได้มาใช้ในการทำนายค่า DOC

### บทที่ 3

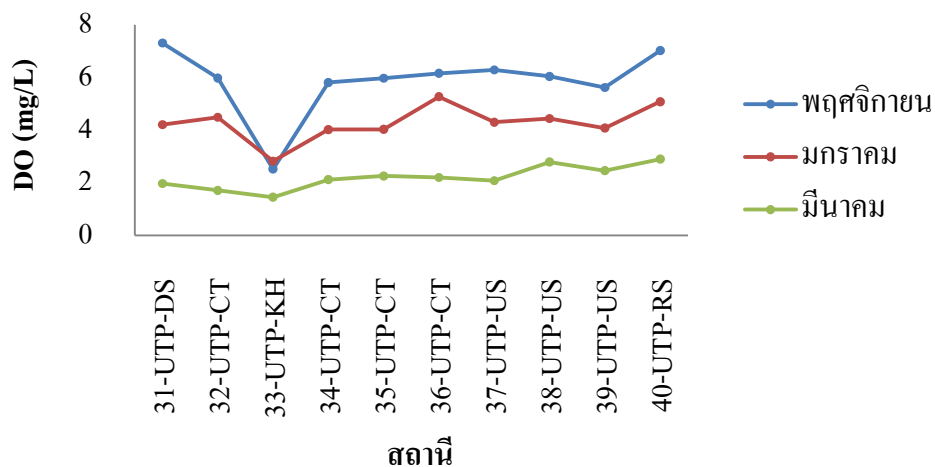
#### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

##### 3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ข้อมูลที่นำ มาใช้เป็นข้อมูลปฐมภูมิ ซึ่งเป็น การดำเนินงานภายใต้ (โครงการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประเมินคุณภาพน้ำผิวดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เพื่อนำมาควบคุมการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา) ได้ทำการตรวจวัด พารามิเตอร์บ่งชี้ความสกปรกของน้ำ ทั้งหมด 7 ตัว คือ ออกซิเจนละลายน้ำ หรือ Dissolved oxygen (DO) อุณหภูมิ หรือ Temperature (Temp) ความเป็นกรด-ด่าง หรือ pH สารอินทรีย์ละลายน้ำ หรือ Dissolved organic carbon (DOC) ของแข็งแขวนลอย หรือ Suspended solids (SS) ความขุ่น หรือ Turbidity และไนเตรท หรือ Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )

ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทำได้โดยอาศัยโปรแกรม Microsoft office excel version 2007 โดยการสร้างแผนภูมิเส้นเพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ตามระยะทางและเวลาที่เปลี่ยนไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการสร้างแผนภูมิเส้นของพารามิเตอร์ 7 ตัว ได้แก่ DO Temp pH DOC SS Turbidity และ Nitrate

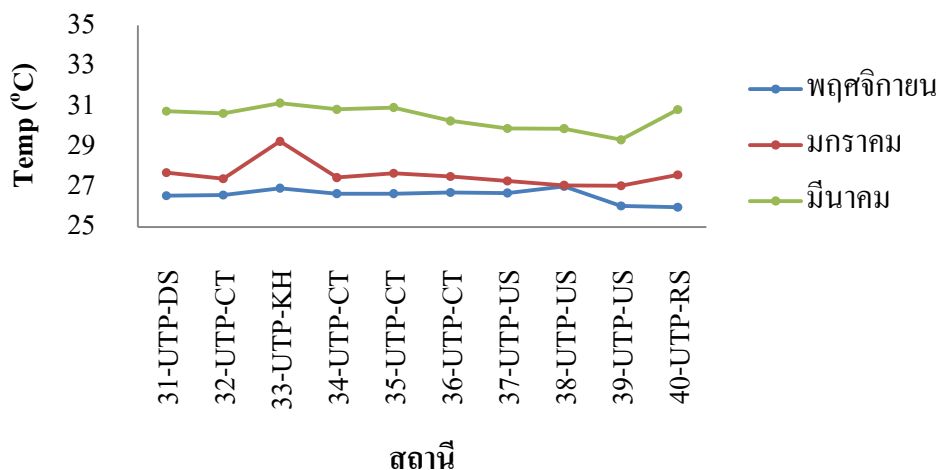
โดยทำการเลือกพารามิเตอร์ที่มีค่าของการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามเงื่อนไข คือ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาที่เปลี่ยนไป และเป็นปัจจัยที่ไม่ ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ไปใช้ในการศึกษาต่อไป ส่วนพารามิเตอร์ที่มี ค่าการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางและเวลาน้อยมากหรือคงที่ รวมไปถึงพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ ที่ไม่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงได้ ก็จะทำการตัดพารามิเตอร์ตัวนั้นทิ้งไป ซึ่งผลที่ได้ดังภาพที่ 3-1 ถึง 3-7



ภาพที่ 3-1 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอุตตะเกา

จากภาพที่ 3-1 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีค่าการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนที่ตรวจวัดด้วย ซึ่งค่า DO มีช่วงของการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ประมาณ 2-8 mg/L

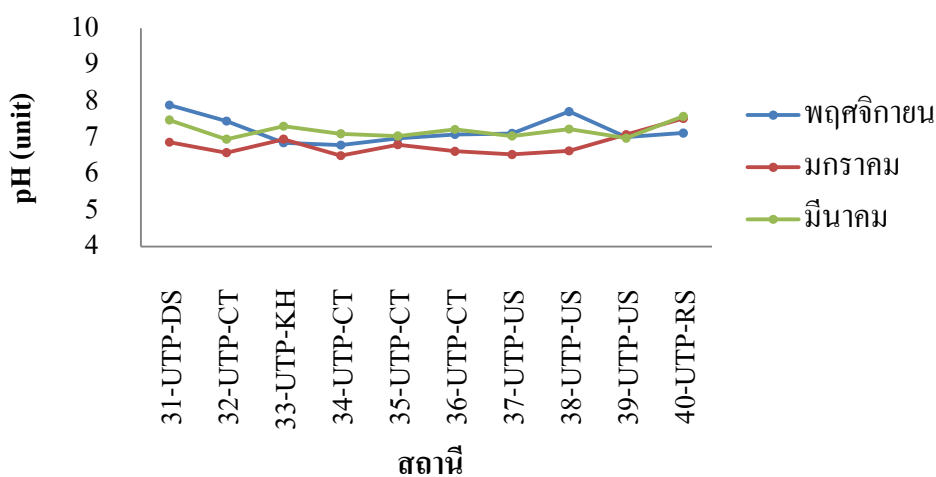
ดังนั้น DO จึงเป็นปัจจัยที่มีค่าของการเปลี่ยนแปลง เป็นไปตามเงื่อนไข คือ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาที่เปลี่ยนไป



ภาพที่ 3-2 ค่าอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอุตตะเกา

จากภาพที่ 3-2 ค่าอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีค่าการเปลี่ยนแปลงไป ตามระยะทาง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS น้อยมาก หรือประมาณ 1-2 °C เท่านั้น แต่จะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไป ตามฤดูที่เปลี่ยนไป โดยมีช่วงของการเปลี่ยนแปลง ในแต่ละเดือน อยู่ที่ประมาณ 26-31 °C

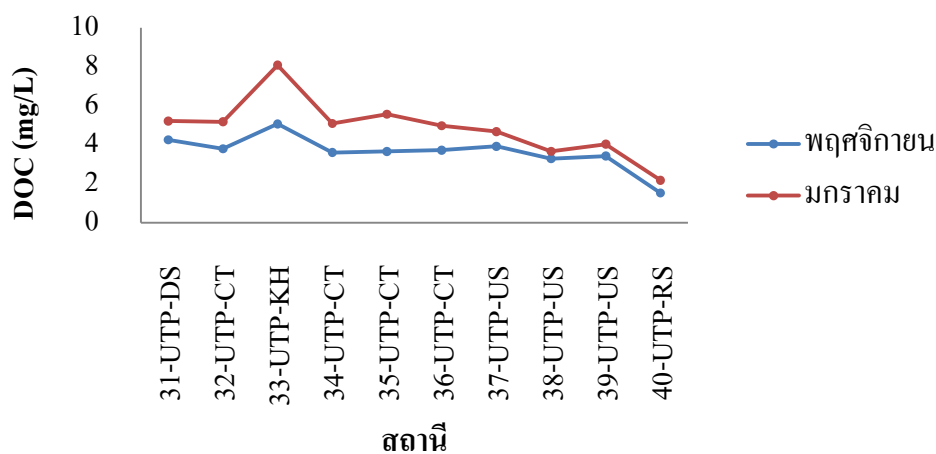
ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็น ปัจจัยที่มีค่าของการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นไปตามเงื่อนไข คือ มีการเปลี่ยนแปลง ไปตามระยะทาง น้อยมาก แต่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลา เปลี่ยนไป และที่สำคัญ อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ ซึ่งไม่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงของ ปัจจัยได้



ภาพที่ 3-3 ค่า pH ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในเดือนพฤษภาคม 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอู่ตะเภา

จากภาพที่ 3-3 ค่า pH ที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีค่าการเปลี่ยนแปลงไป ตามระยะทางตั้งแต่ สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนที่ตรวจวัดน้อยมาก ซึ่งค่า pH มีช่วงของการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ประมาณ 1-2 unit เท่านั้น

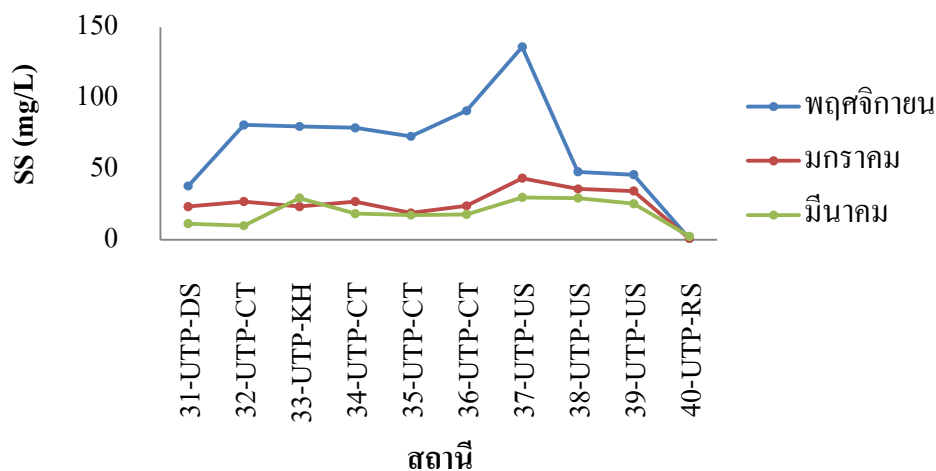
ดังนั้น pH จึงเป็นปัจจัยที่มีค่าของการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นไปตามเงื่อนไข คือ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาที่เปลี่ยนไปน้อยมากหรือคงที่



ภาพที่ 3-4 ค่า DOC ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอุตตะเกา

จากภาพที่ 3-4 ค่า DOC ที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีค่าการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนที่ตรวจวัดด้วย ซึ่งค่า DOC มีช่วงของการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ประมาณ 1-9 mg/L

ดังนั้น DOC จึงเป็นปัจจัยที่มีค่าของการเปลี่ยนแปลง เป็นไปตามเงื่อนไข คือ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาที่เปลี่ยนไป และเป็นปัจจัยที่ไม่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่

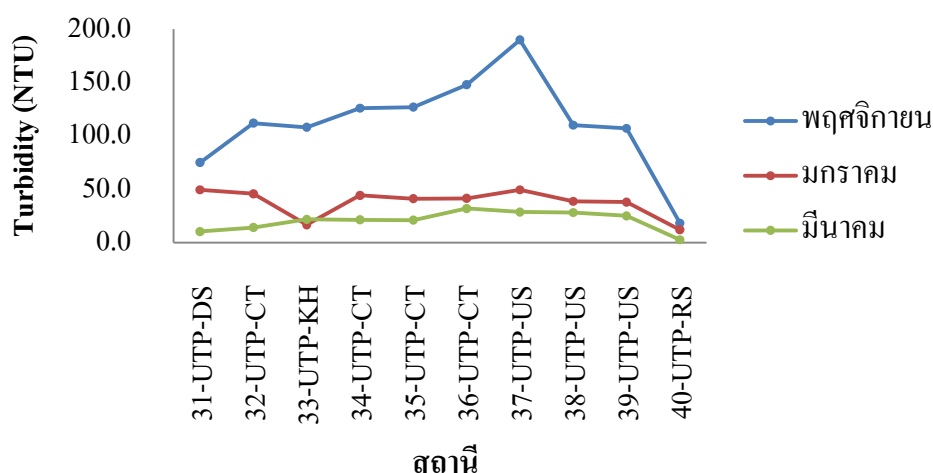


ภาพที่ 3-5 ค่า SS ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอุตตะเกา



จากภาพที่ 3-5 ค่า SS ที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีค่าการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนที่ตรวจวัดด้วย ซึ่งค่า SS มีช่วงของการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ประมาณ 1-130 mg/L

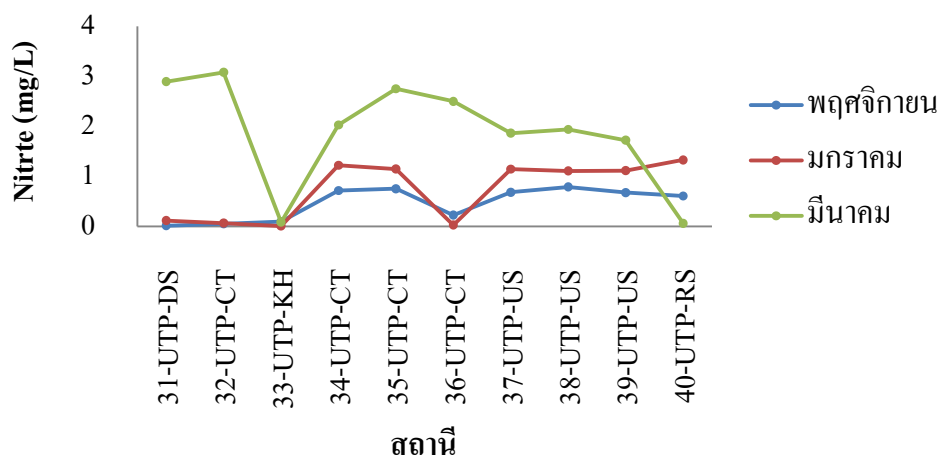
ดังนั้น SS จึงเป็นปัจจัยที่มีค่าของการเปลี่ยนแปลง เป็นไปตามเงื่อนไข คือ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาที่เปลี่ยนไป และเป็นปัจจัยที่ไม่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่



ภาพที่ 3-6 ค่า Turbidity ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอู่ตะเภา

จากภาพที่ 3-6 ค่า Turbidity ที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีค่าการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนที่ตรวจวัดด้วย ซึ่งค่า Turbidity มีช่วงของการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ประมาณ 1-200 NTU

ดังนั้น Turbidity จึงเป็นปัจจัยที่มีค่าของการเปลี่ยนแปลง เป็นไปตามเงื่อนไข คือ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาที่เปลี่ยนไป และเป็นปัจจัยที่ไม่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่



ภาพที่ 3-7 ค่า Nitrate ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนมีนาคม 2553 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในคลองอู่ตะเภา

จากภาพที่ 3-7 ค่า Nitrate ที่ได้จากการตรวจวัดจริง มีค่าการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนที่ตรวจวัดด้วย ซึ่งค่า Nitrate มีช่วงของการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ประมาณ 0-3 mg/L

ดังนั้น Nitrate จึงเป็นปัจจัยที่มีค่าของการเปลี่ยนแปลง เป็นไปตามเงื่อนไข คือ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาที่เปลี่ยนไป และเป็นปัจจัยที่ไม่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของ พารามิเตอร์ ทั้ง 7 ตัว คือ DO Temp pH DOC SS Turbidity และ Nitrate (ภาพที่ 3-1 ถึง 3-7) พบว่าปัจจัยที่มีค่าของการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามเงื่อนไข คือ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาที่เปลี่ยนไป และเป็นปัจจัยที่ไม่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ มีทั้งหมด 5 ปัจจัย คือ DO DOC SS Turbidity และ Nitrate ดังนั้นปัจจัยทั้ง 5 ตัวนี้จะถูกใช้ในการศึกษาต่อไป ส่วนปัจจัยที่มีค่าของการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นไปตามเงื่อนไข คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาที่เปลี่ยนไป และเป็นปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ มีทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ Temp และ pH ดังนั้นปัจจัย 2 ตัวนี้จะถูกตัดทิ้งและไม่นำมาใช้ในการศึกษาต่อไป

ดังนั้นสรุปได้ว่าในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจะมีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด 5 ปัจจัย คือ DO DOC SS Turbidity และ Nitrate

จากนั้นนำปัจจัยที่ได้ คือ DO DOC SS Turbidity และ Nitrate มาทำการคัดเลือกพารามิเตอร์ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัย เพื่อสร้างสมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองต่อไป

### 3.2 ผลการคัดเลือกพารามิเตอร์และสมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ในการคัดเลือกพารามิเตอร์และสมการที่จะใช้ในการสร้างแบบจำลอง ทำได้โดยอาศัยโปรแกรม Microsoft office excel version 2007 โปรแกรม SPSS version 15.0 และโปรแกรม Sigma plot version 11.0 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ DOC SS Turbidity และ Nitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความสัมพันธ์ของ DOC SS Turbidity และ Nitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO แบบ Multiple regression analysis (เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (y) จำนวน 1 ตัว กับตัวแปรอิสระ (x) หรือตัวแปรทำนาย ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ดูเพิ่มเติมในบทที่ 1 หัวข้อ 1.5.5.4.2) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรม SPSS ในการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าว ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ค่า  $R^2$  ของ DOC SS Turbidity และ Nitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และ มีนาคม 2553

เดือน	ค่า $R^2$				
	DO-DOC	DO-SS	DO-Turbidity	DO-Nitrate	* DO-ทุกพารามิเตอร์
พฤศจิกายน 2552	0.356	0.189	0.039	0.040	0.492
มกราคม 2553	0.845	0.056	0.026	0.020	0.825
มีนาคม 2553	-	0.032	0.008	0.028	0.124
พ.ย, ม.ค และ มี.ค	0.487	0.275	0.397	0.307	0.873

\* DO-ทุกพารามิเตอร์ หมายถึง ผลรวมของ DOC SS Turbidity Nitrate

จากตารางที่ 3-1 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO โดยมีสัมประสิทธิ์การทำนาย ( $R^2$ ) ก่อนข้างสูง คือ ความสัมพันธ์ของ DOC ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO ในเดือนมกราคม 2553 มีค่า  $R^2 = 0.845$ , ความสัมพันธ์ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO ในเดือนมกราคม 2553 มีค่า  $R^2 = 0.825$  และความสัมพันธ์ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และ มีนาคม 2553 มีค่า  $R^2 = 0.873$

การศึกษาครั้งนี้จะเลือกใช้ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO โดยมีสัมประสิทธิ์การทำนาย ( $R^2$ ) สูงสุด

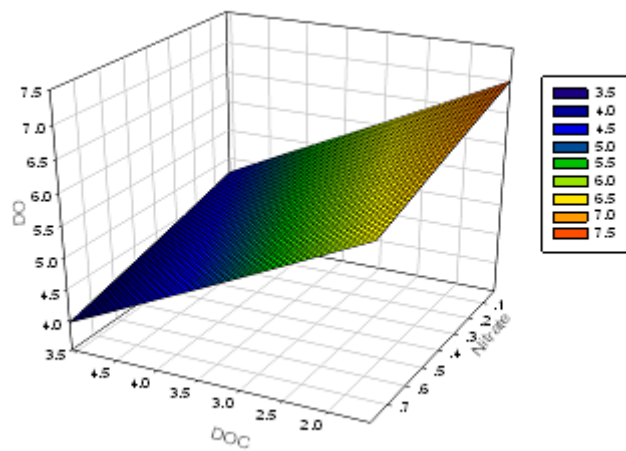
ดังนั้นจึงเลือกใช้ ความสัมพันธ์ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และ มีนาคม 2553 สูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $P < 0.05$ ) โดยมีค่า  $R^2 = 0.873$  (ภาคผนวก) ในการสร้างแบบจำลอง โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$DO = 8.012 - (0.641 * DOC) - (1.058 * Nitrate) - (0.009 * SS) + (0.013 * Turbidity) \dots\dots\dots (18)$$

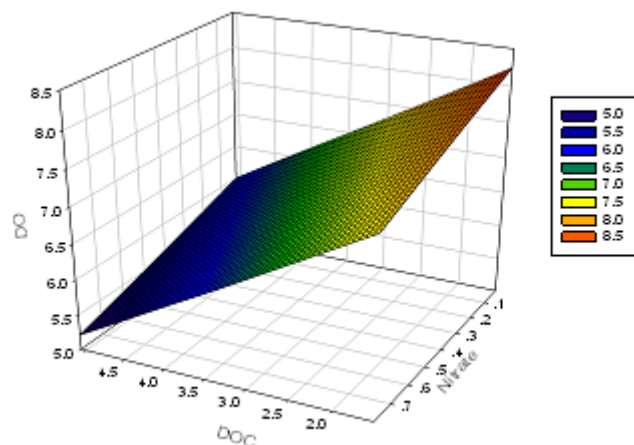
นอกจากนี้ในการใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับ DOC SS Turbidity และNitrate ซึ่งนำตัวแปรเข้าระบบสมการโดยใช้วิธี Forward (ดูเพิ่มเติมในบทที่ 1 หัวข้อ 1.5.5.4.2) พบว่า DOC ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO สูงที่สุด รองลงมาคือ Nitrate SS และTurbidity ตามลำดับ (ภาคผนวก)

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของ DO แบบสามแกนคือ แกน (x, y, z) ซึ่งแทนด้วย Nitrate DOC และDO ตามลำดับ โดยอาศัยโปรแกรม Sigma plot เพื่อใช้ยืนยันผลข้างต้นที่ได้จากการใช้โปรแกรม SPSS

ทำการทดสอบโดย จำลองเหตุการณ์ กำหนดให้ SS และTurbidity เป็นปัจจัยรองซึ่งมีความสัมพันธ์กับ DO ต่ำกว่า DOC และNitrate ที่เป็นปัจจัยหลัก จึงจำลองเหตุการณ์ ขึ้นสองแบบ ทั้งสองแบบพิจารณาช่วงค่า SS และ Turbidity ต่ำสุดและสูงสุดของคุณภาพน้ำในคลองอุตตะเกา โดยแบบแรกวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง ระหว่าง DO DOC และ Nitrate โดยกำหนดให้ SS และTurbidity มีค่าต่ำสุด ผลที่ได้ดังภาพที่ 3-8 ส่วนแบบที่สองวิเคราะห์ความสัมพันธ์และแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง ระหว่าง DO DOC และNitrate โดยกำหนดให้ SS และ Turbidity มีค่าสูงสุด ผลที่ได้ดังภาพ ที่ 3-9 เพื่อศึกษาว่า ในช่วงค่าที่ตรวจวัดได้จริงจากภาคสนามทั้งกรณีที่มี SS และTurbidity มีค่าต่ำสุดและสูงสุด นั้น จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO DOC และNitrate เหมือนกันหรือต่างกัน และนำผลที่ได้ไปใช้ในการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตตะเกา (ภาพที่ 3-26)



ภาพที่ 3-8 ค่า DO DOC และNitrate ในกรณีที่ทำให้ SS และTurbidity มีค่าต่ำสุด โดยที่; SS=0, Turbidity=0



ภาพที่ 3-9 ค่า DO DOC และNitrate ในกรณีที่ทำให้ SS และTurbidity มีค่าสูงสุด โดยที่; SS=150, Turbidity=200

จากภาพที่ 3-8 และ 3-9 แสดงให้เห็นว่ากรณีที่มีค่าต่ำสุดและกรณีที่มีค่าสูงสุดของ SS และ Turbidity ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO DOC และ Nitrate เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจากการใช้โปรแกรม SPSS ที่พบว่า DOC ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO สูงที่สุด รองลงมาคือ Nitrate SS และ Turbidity ตามลำดับนั้นเป็นจริง

ซึ่งนอกจากการศึกษาความสัมพันธ์ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO แล้ว จำเป็นจะต้องศึกษาด้วยว่า DOC SS Turbidity และNitrate มีความสัมพันธ์ต่อกันอย่างไร โดยใช้โปรแกรม Microsoft office excel และ โปรแกรม SPSS ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ค่า  $R^2$  ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DOC SS Turbidity และNitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และมีนาคม 2553

เดือน	Y x	DOC	SS	Turbidity	Nitrate
พฤศจิกายน 2552	DOC	-	$R^2 = 0.4995$ $P = 0.022$ $y = 91.865x - 232.21$	$R^2 = 0.2975$ $P = 0.103$ $y = 27.379x + 12.9$	$R^2 = 0.2520$ $P = 0.139$ $y = -0.181x + 1.12$
	SS	$R^2 = 0.4995$ $P = 0.022$ $y = 0.0054x + 3.076$	-	$R^2 = 0.0716$ $P = 0.455$ $y = 0.1034x + 101.7$	$R^2 = 0.1407$ $P = 0.286$ $y = -0.001x + 0.567$
	Turbidity	$R^2 = 0.2997$ $P = 0.103$ $y = 0.0109x + 2.405$	$R^2 = 0.0716$ $P = 0.455$ $y = 0.693x + 23.006$	-	$R^2 = 0.0218$ $P = 0.684$ $y = 0.0011x + 0.344$
	Nitrate	$R^2 = 0.2520$ $P = 0.139$ $y = -1.3938x + 4.27$	$R^2 = 0.1407$ $P = 0.286$ $y = -135.35x + 163.4$	$R^2 = 0.0218$ $P = 0.684$ $y = 20.557x + 103$	-
มกราคม 2553	DOC	-	$R^2 = 0.0404$ $P = 0.604$ $y = 1.5171x + 18.52$	$R^2 = 0.0024$ $P = 0.894$ $y = 0.4168x + 35.60$	$R^2 = 0.3789$ $P = 0.058$ $y = -0.238x + 1.887$
	SS	$R^2 = 0.0404$ $P = 0.604$ $y = 0.0266x + 4.175$	-	$R^2 = 0.4224$ $P = 0.042$ $y = 0.7385x + 18.50$	$R^2 = 0.0003$ $P = 0.939$ $y = 0.0009x + 0.707$

ตารางที่ 3-2 ค่า  $R^2$  ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DOC SS Turbidity และNitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และมีนาคม 2553 (ต่อ)

เดือน	Y		DOC	SS	Turbidity	Nitrate
	x					
มกราคม 2553 (ต่อ)	Turbidity		$R^2 = 0.0024$ $P = 0.894$ $y = 0.0057x + 4.651$	$R^2 = 0.4224$ $P = 0.042$ $y = 0.572x + 4.3771$	-	$R^2 = 0.0062$ $P = 0.829$ $y = -0.003x + 0.862$
	Nitrate		$R^2 = 0.3789$ $P = 0.058$ $y = -1.592x + 6.03$	$R^2 = 0.0003$ $P = 0.939$ $y = 0.3307x + 25.66$	$R^2 = 0.0062$ $P = 0.829$ $y = -1.7402x + 38.9$	-
มีนาคม 2553	SS		-	-	$R^2 = 0.6677$ $P = 0.004$ $y = 0.7885x + 5.281$	$R^2 = 0.0120$ $P = 0.769$ $y = -0.012x + 2.132$
	Turbidity		-	$R^2 = 0.6677$ $P = 0.004$ $y = 0.847x + 1.9241$	-	$R^2 = 0.0509$ $P = 0.531$ $y = 0.0265x + 1.353$
	Nitrate		-	$R^2 = 0.0120$ $P = 0.769$ $y = -0.967x + 21.082$	$R^2 = 0.0509$ $P = 0.531$ $y = 1.9239x + 16.81$	-

จากตารางที่ 3-2 ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DOC SS Turbidity และNitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และมีนาคม 2553 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอื่น สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $P < 0.05$ ) โดยมีค่า  $R^2$  สูงสุด คือ SS ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Turbidity และ Turbidity ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ SS โดยมีค่า  $R^2 = 0.6677$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง SS กับ Turbidity ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถสร้างแบบจำลองได้สองแบบ โดยแบบแรกกำหนดให้ Turbidity ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ SS โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 19

$$SS = (0.8468 * \text{Turbidity}) + 1.9241 \dots \dots \dots (19)$$

และ แบบที่สองกำหนดให้ SS ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ Turbidity โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 20

$$\text{Turbidity} = (0.7885 \cdot \text{SS}) + 5.2812 \quad \dots\dots\dots (20)$$

จากผลการคัดเลือกพารามิเตอร์และสมการที่ใช้ในการศึกษาโดยใช้โปรแกรม Microsoft office excel และ SPSS สรุปได้ว่าสามารถสร้างแบบจำลองเบื้องต้นได้ทั้งหมด 3 แบบดังนี้

- แบบที่ 1 หรือ MODEL 1 กำหนดให้ DOC SS Turbidity และ Nitrate ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ DO ในคลองอุตตะเกา โดยสมการที่ใช้ใน MODEL 1 ดังตารางที่ 3-3

- แบบที่ 2 หรือ MODEL 2 กำหนดให้ DOC SS Turbidity และ Nitrate ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ DO ในคลองอุตตะเกา และกำหนดให้ Turbidity ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ SS โดยสมการที่ใช้ใน MODEL 2 ดังตารางที่ 3-3

- แบบที่ 3 หรือ MODEL 3 กำหนดให้ DOC SS Turbidity และ Nitrate ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ DO ในคลองอุตตะเกา และกำหนดให้ SS ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ Turbidity โดยสมการที่ใช้ใน MODEL 3 ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 สมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเบื้องต้นของ MODEL 1 MODEL 2 และ MODEL 3

MODEL	สมการที่ใช้
1	$\text{DO} = 8.012 - (0.641 \cdot \text{DOC}) - (1.058 \cdot \text{Nitrate}) - (0.009 \cdot \text{SS}) + (0.013 \cdot \text{Turbidity})$
2	$\text{DO} = 8.012 - (0.641 \cdot \text{DOC}) - (1.058 \cdot \text{Nitrate}) - (0.009 \cdot \text{SS}) + (0.013 \cdot \text{Turbidity})$ และ $\text{SS} = (0.8468 \cdot \text{Turbidity}) + 1.9241$
3	$\text{DO} = 8.012 - (0.641 \cdot \text{DOC}) - (1.058 \cdot \text{Nitrate}) - (0.009 \cdot \text{SS}) + (0.013 \cdot \text{Turbidity})$ และ $\text{Turbidity} = (0.7885 \cdot \text{SS}) + 5.2812$



### 3.3 การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบ

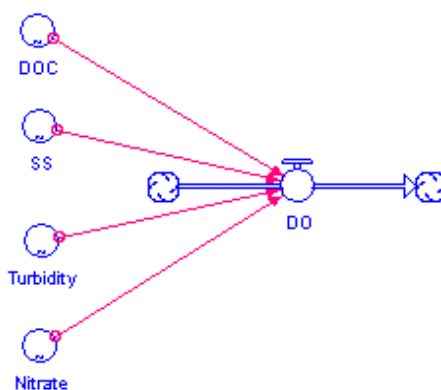
#### 3.3.1 สร้างแบบจำลองพลวัตระบบเบื้องต้น

สร้างแบบจำลองพลวัตระบบ เบื้องต้นที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ของ DOC SS Turbidity และNitrate ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ DO ทั้งหมด 3 แบบ โดยใช้โปรแกรม STELLA version 9.1.4

##### - MODEL 1

กำหนดให้ DOC Nitrate SS และTurbidity ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ DO ในเดือน พฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ดังภาพที่ 3-10 โดยสมการที่ใช้ใน MODEL 1 ดังนี้

$$DO = 8.012 - (0.641 * DOC) - (1.058 * Nitrate) - (0.009 * SS) + (0.013 * Turbidity)$$



ภาพที่ 3-10 แบบจำลองพลวัตระบบของออกซิเจนละลายน้ำเบื้องต้น หรือ MODEL 1

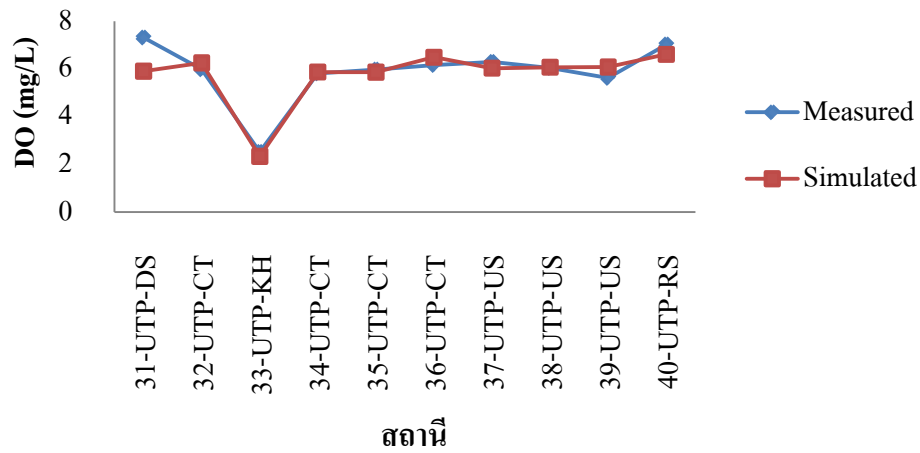
MODEL 1 DOC Nitrate SS และTurbidity ทำนายค่า DO โดยใส่ค่าของ DOC Nitrate SS และTurbidity ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือน พฤศจิกายน 2552 และ มกราคม 2553 ลงในแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ค่า DO ที่ได้จากการ ตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 1 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553

สถานี	พฤศจิกายน		มกราคม	
	DO	DO	DO	DO
	(Measured)	(Simulated)	(Measured)	(Simulated)
31-UTP-DS	7.31	5.90	4.21	4.98
32-UTP-CT	5.98	6.25	4.49	4.98
33-UTP-KH	2.52	2.34	2.82	4.17
34-UTP-CT	5.81	5.87	4.02	3.79
35-UTP-CT	5.97	5.86	4.03	3.59
36-UTP-CT	6.16	6.49	5.27	5.12
37-UTP-US	6.29	6.03	4.30	4.06
38-UTP-US	6.04	6.07	4.44	4.67
39-UTP-US	5.62	6.08	4.08	4.42
40-UTP-RS	7.02	6.61	5.08	5.36

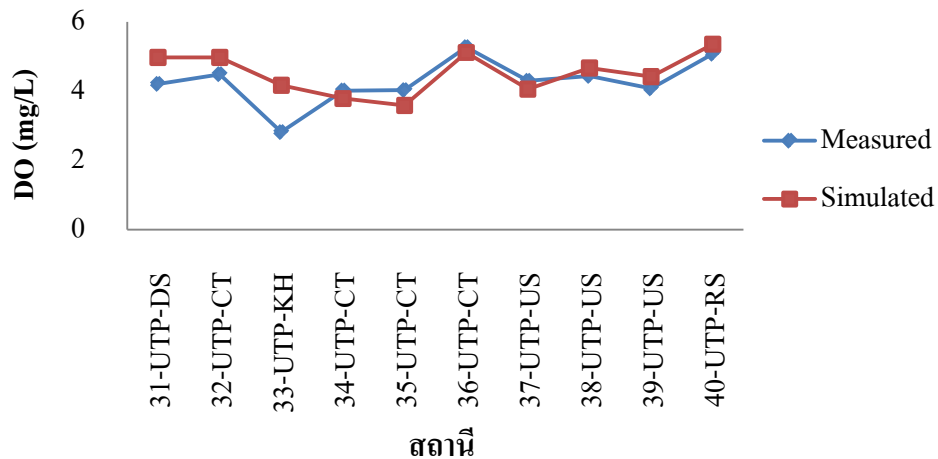
จากตารางที่ 3-4 นำผลที่ได้มาสร้างกราฟ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความต่าง ของค่า DO ที่ได้จากการ ตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 1 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 (ภาพที่ 3-11) และ มกราคม 2553 (ภาพที่ 3-12) ได้ง่ายยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ทำการหา % ความคลาดเคลื่อนของ ค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 1 ผลที่ได้ดังภาพที่ 3-19 เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการพิจารณาเลือกแบบจำลองพลวัตระบบเบื้องต้น (MODEL 1 MODEL 2 และ MODEL 3) ที่มีค่า % ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ไปใช้ในการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกาต่อไป



ภาพที่ 3-11 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 1 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552

จากภาพที่ 3-11 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 1 ในเดือนพฤศจิกายน 2552 ที่สถานี 32-UTP-CT ถึง 40-UTP-RS มีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนสถานี 31-UTP-DS ค่าที่ได้จากแบบจำลองต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง



ภาพที่ 3-12 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 1 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2553

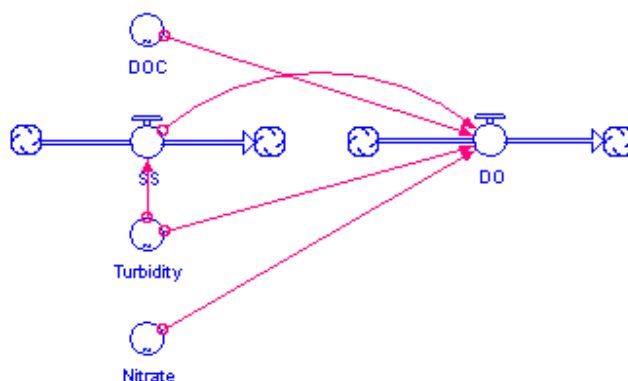
จากภาพที่ 3-12 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 1 ในเดือนมกราคม 2553 ที่สถานี 32-UTP-CT และสถานี 34-UTP-CT ถึงสถานี 40-UTP-RS มีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนสถานี 31-UTP-DS และสถานี 33-UTP-KH ค่าที่ได้จากแบบจำลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง

#### - MODEL 2

กำหนดให้ DOC Nitrate SS และ Turbidity ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ DO และ Turbidity ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ดังภาพที่ 3-13 โดยสมการที่ใช้ใน MODEL 2 ดังนี้

$$DO = 8.012 - (0.641 * DOC) - (1.058 * Nitrate) - (0.009 * SS) + (0.013 * Turbidity)$$

$$\text{และ } SS = (0.8468 * Turbidity) + 1.9241$$



ภาพที่ 3-13 แบบจำลองพลวัตระบบของออกซิเจนละลายน้ำเบื้องต้น หรือ MODEL 2

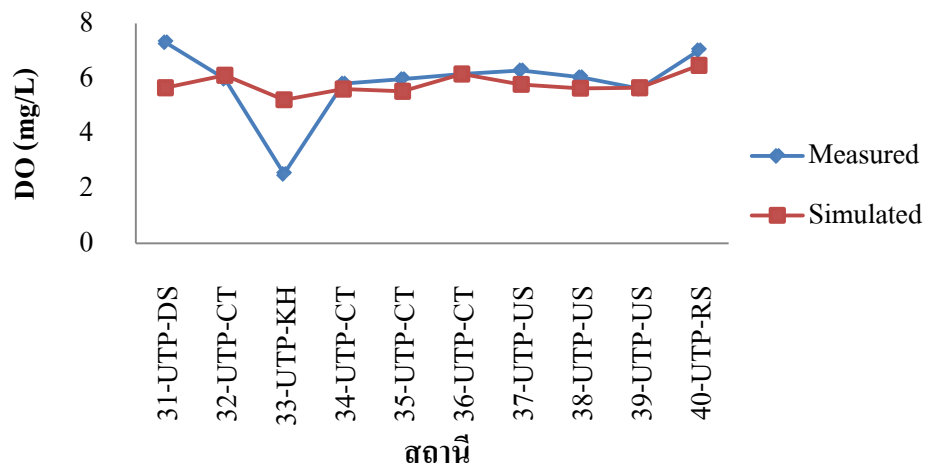
MODEL 2 DOC Nitrate SS และ Turbidity ทำนายค่า DO โดยใช้ค่าของ DOC Nitrate และ Turbidity ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือน พฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ลงในแบบจำลอง ส่วนค่า SS จะได้จากการทำนายของ Turbidity จึงไม่ต้องใส่ค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงลงในแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ค่า DO ที่ได้จากการ ตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553

สถานี	พฤศจิกายน		มกราคม	
	DO	DO	DO	DO
	(Measured)	(Simulated)	(Measured)	(Simulated)
31-UTP-DS	7.31	5.66	4.21	4.90
32-UTP-CT	5.98	6.11	4.49	4.85
33-UTP-KH	2.52	5.22	2.82	2.89
34-UTP-CT	5.81	5.61	4.02	3.68
35-UTP-CT	5.97	5.53	4.03	3.43
36-UTP-CT	6.16	6.16	5.27	5.00
37-UTP-US	6.29	5.78	4.30	4.05
38-UTP-US	6.04	5.64	4.44	4.68
39-UTP-US	5.62	5.66	4.08	4.43
40-UTP-RS	7.02	6.47	5.08	5.26

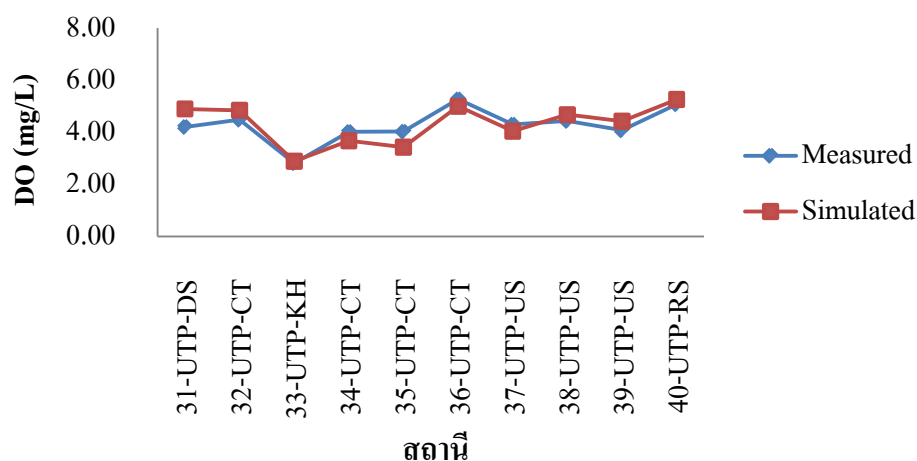
จากตารางที่ 3-5 นำผลที่ได้มาสร้างกราฟ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความต่าง ของค่า DO ที่ได้จากการ ตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 (ภาพที่ 3-14) และ มกราคม 2553 (ภาพที่ 3-15) ได้ง่ายยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ทำการหา % ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ผลที่ได้ดังภาพที่ 3-19 เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการพิจารณาเลือกแบบจำลองพลวัตระบบเบื้องต้น (MODEL 1 MODEL 2 และ MODEL 3) ที่มีค่า % ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ไปใช้ในการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตตะเกาต่อไป



ภาพที่ 3-14 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552

จากภาพที่ 3-14 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ในเดือนพฤศจิกายน 2552 ที่สถานี 32-UTP-CT และสถานี 34-UTP-CT ถึง 40-UTP-RS มีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนสถานี 31-UTP-DS ค่าที่ได้จากแบบจำลองต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง และสถานี 33-UTP-KH ค่าที่ได้จากแบบจำลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง



ภาพที่ 3-15 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2553

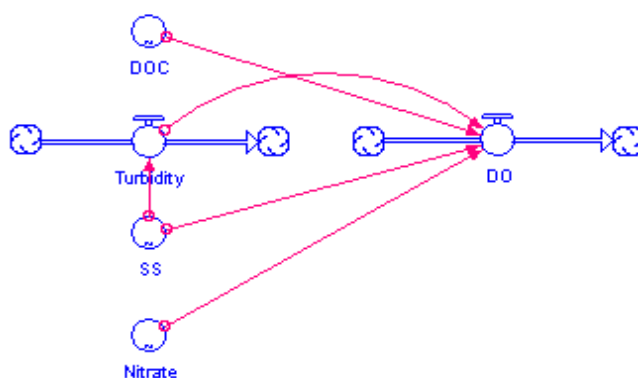
จากภาพที่ 3-15 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ในเดือนมกราคม 2553 ที่สถานี 32-UTP-CT ถึงสถานี 40-UTP-RS มีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนสถานี 31-UTP-DS ค่าที่ได้จากแบบจำลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงเล็กน้อย

### - MODEL 3

กำหนดให้ DOC Nitrate SS และ Turbidity ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ DO และ SS ทำนายการเปลี่ยนแปลงของ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ดังภาพที่ 3-16 โดยสมการที่ใช้ใน MODEL 3 ดังนี้

$$DO = 8.012 - (0.641 * DOC) - (1.058 * Nitrate) - (0.009 * SS) + (0.013 * Turbidity)$$

$$\text{และ Turbidity} = (0.7885 * SS) + 5.2812$$



ภาพที่ 3-16 แบบจำลองพลวัตระบบของออกซิเจนละลายน้ำเบื้องต้น หรือ MODEL 3

MODEL 3 DOC Nitrate SS และ Turbidity ทำนายค่า DO โดยใช้ค่าของ DOC Nitrate และ SS ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ลงในแบบจำลอง ส่วนค่า Turbidity จะได้จากการทำนายของ SS จึงไม่ต้องใส่ค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงลงในแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 3-6

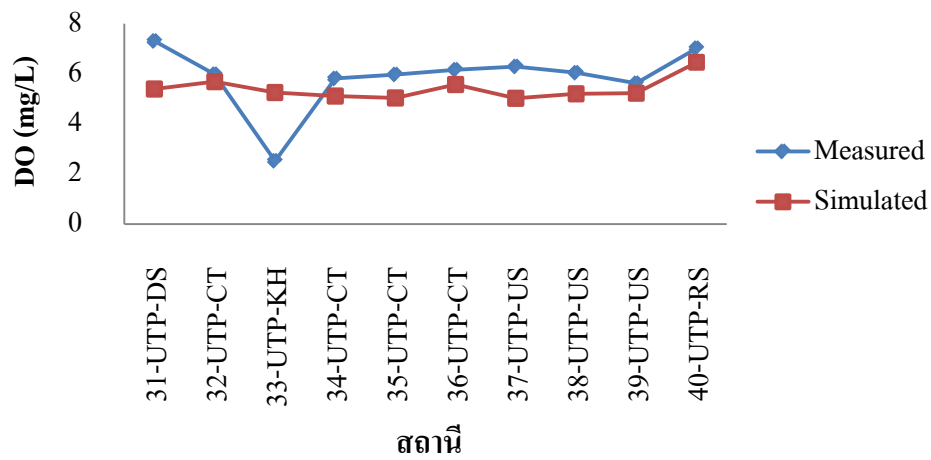
ตารางที่ 3-6 ค่า DO ที่ได้จากการ ตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 3 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553

สถานี	พฤศจิกายน		มกราคม	
	DO	DO	DO	DO
	(Measured)	(Simulated)	(Measured)	(Simulated)
31-UTP-DS	7.31	5.39	4.21	4.64
32-UTP-CT	5.98	5.69	4.49	4.73
33-UTP-KH	2.52	5.25	2.82	2.92
34-UTP-CT	5.81	5.11	4.02	3.56
35-UTP-CT	5.97	5.03	4.03	3.32
36-UTP-CT	6.16	5.57	5.27	4.89
37-UTP-US	6.29	5.02	4.30	3.93
38-UTP-US	6.04	5.20	4.44	4.6
39-UTP-US	5.62	5.23	4.08	4.36
40-UTP-RS	7.02	6.46	5.08	5.28

จากตารางที่ 3-6 นำผลที่ได้มาสร้างกราฟ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความต่าง ของค่า DO ที่ได้จากการ ตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 3 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 (ภาพที่ 3-17) และ มกราคม 2553 (ภาพที่ 3-18) ได้ง่ายยิ่งขึ้น

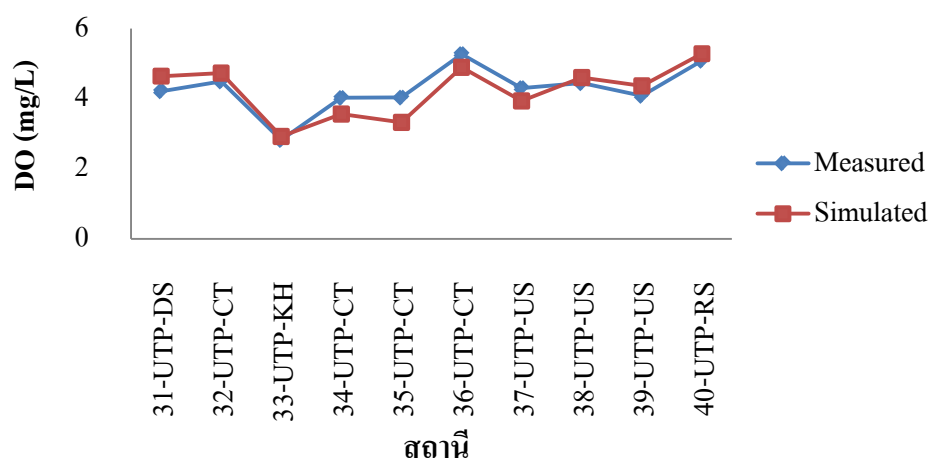
นอกจากนี้ทำการหา % ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 3 ผลที่ได้ดังภาพที่ 3-19 เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการพิจารณาเลือกแบบจำลองพลวัตระบบเบื้องต้น (MODEL 1 MODEL 2 และ MODEL 3) ที่มีค่า % ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ไปใช้ในการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตตะเกาต่อไป





ภาพที่ 3-17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 3 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552

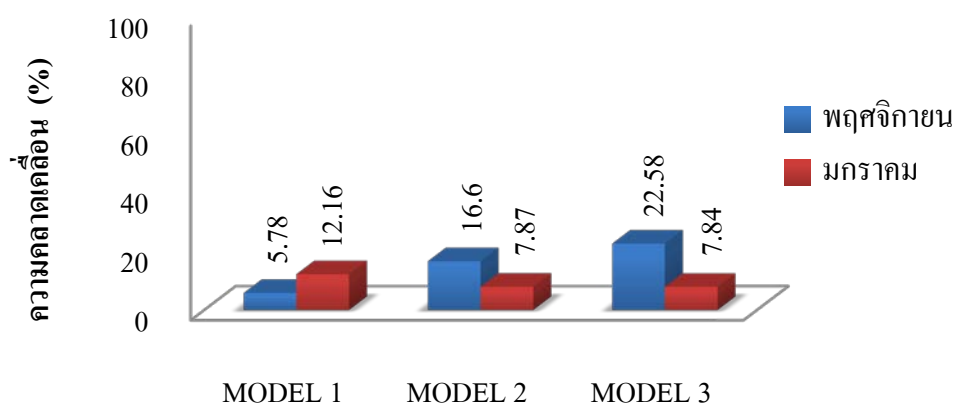
จากภาพที่ 3-17 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 3 ในเดือนพฤศจิกายน 2552 ที่สถานี 32-UTP-CT สถานี 39-UTP-US และสถานี 40-UTP-RS มีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนสถานี 31-UTP-DS และสถานี 34-UTP-CT ถึงสถานี 38-UTP-US ค่าที่ได้จากแบบจำลองต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง และสถานี 33-UTP-KH ค่าที่ได้จากแบบจำลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงค่อนข้างมาก



ภาพที่ 3-18 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 2 ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2553

จากภาพที่ 3-18 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองของ MODEL 3 ในเดือนมกราคม 2553 ที่สถานี 31-UTP-DS ถึงสถานี 34-UTP-CT และสถานี 36-UTP-CT ถึงสถานี 40-UTP-RS มีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนสถานี 35-UTP-CT ค่าที่ได้จากแบบจำลองต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงเล็กน้อย

จากการหา % ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ของ MODEL 1 MODEL 2 และ MODEL 3 เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการพิจารณาเลือกแบบจำลองพลวัตระบบเบื้องต้น ที่มีค่า % ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง พลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุต๊ะเกาะต่อไป ซึ่งผลที่ได้ดังภาพที่ 3-19



ภาพที่ 3-19 % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ของ MODEL 1 MODEL 2 และ MODEL 3

จากภาพที่ 3-19 % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่า DO ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ของ MODEL 1 มีค่าเท่ากับ 5.78 % และ 12.16 % ตามลำดับ ส่วน % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่า DO ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ของ MODEL 2 มีค่าเท่ากับ 16.6 % และ 7.87 % ตามลำดับ และ % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่า DO ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ของ MODEL 3 มีค่าเท่ากับ 22.58 % และ 7.84 % ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่า DO ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ของ MODEL 1 มี % ความคลาดเคลื่อนน้อย ยที่สุด แสดงว่าค่า DO ที่ได้จาก MODEL 1 มีค่าใกล้เคียงกับค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่สุด รองลงมาคือ MODEL 2 และ MODEL 3 ตามลำดับ

ฉะนั้น MODEL 1 จึงมีประสิทธิภาพในการทำนาย ค่า DO ดีที่สุด จึงเลือกใช้ MODEL 1 เป็นแบบจำลองเบื้องต้นในการสร้าง แบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา

ซึ่งในการสร้าง แบบจำลอง พลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา นั้น จะทำการนำแบบจำลองของ MODEL 1 มาเชื่อมต่อกันให้เป็น 10 สถานี (31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS) โดยการใช้สมการที่พัฒนาจากปฏิกิริยา 1<sup>st</sup> Order ซึ่งเป็นสมการที่ตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ดังแสดง

$$(\text{Pollutant}) \text{ outlet} = (\text{Pollutant}) \text{ inlet} \exp^{-kt}$$

โดยที่;  $(\text{Pollutant}) \text{ inlet} = \text{inlet concentration (mg/L)}$

$$(\text{Pollutant}) \text{ outlet} = \text{outlet concentration (mg/L)}$$

$$k = \text{The rate constant (d}^{-1}\text{)}$$

$$t = \text{Residence time (d)}$$

จากสมการดังกล่าวจะเห็นได้ว่าจำเป็นต้องหาค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ (k) ซึ่งค่า k หาได้โดยการเก็บข้อมูลภาคสนามจริง และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของความสกปรกของน้ำต่อเวลา ค่า k คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ (ดูเพิ่มเติมในบทที่ 1 ภาพที่ 1-10 การหาค่าการเกิดปฏิกิริยาอันดับต่างๆ จากกราฟ)

### 3.3.2 การหาค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ (k)

ซึ่งค่า k หาได้โดยการเก็บข้อมูลภาคสนามจริง ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และ มีนาคม 2553 เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของความสกปรกของน้ำต่อเวลา ค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ (k) คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ โดยงานวิจัยนี้ทำการหาค่า k จำนวน 2 ตัว คือ  $k_{\text{DOC}}$  และ  $k_{\text{Nitrate}}$

#### - การหาค่า $k_{\text{DOC}}$

ค่า  $k_{\text{DOC}}$  คำนวณจาก ค่า DOC ที่เข้าและออกระบบที่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนพฤศจิกายน 2552 กับเดือนมกราคม 2553 รวมกัน

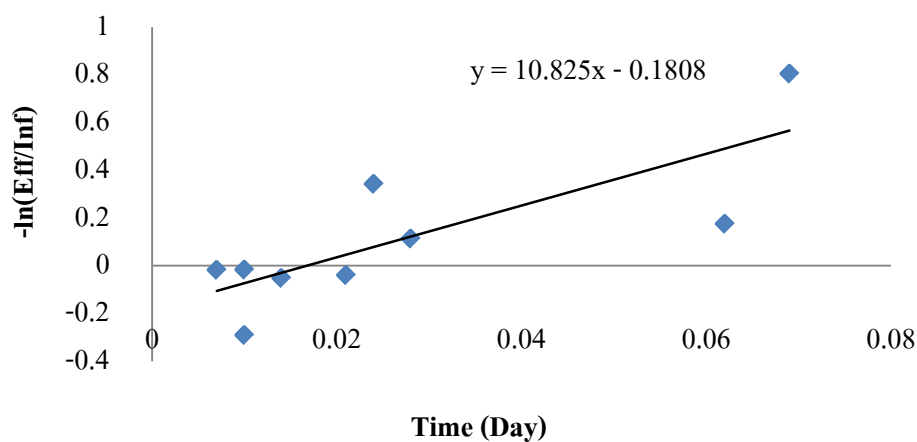
ตารางที่ 3-7 ข้อมูลที่ใช้ในการ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เพื่อหาค่า  $k_{\text{DOC}}$

Inf	Eff	Eff/Inf	$\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$	T (day)	$-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$
4.251	3.791	0.892	-0.114	0.028	0.114
3.791	5.068	1.337	0.290	0.010	-0.290
5.068	3.600	0.710	-0.343	0.024	0.343
3.600	3.658	1.016	0.016	0.010	-0.016
3.658	3.722	1.017	0.017	0.007	-0.017
3.722	3.916	1.052	0.051	0.014	-0.051
3.916	3.286	0.839	-0.176	0.062	0.176
3.286	3.418	1.040	0.039	0.021	-0.039
3.418	1.529	0.447	-0.805	0.069	0.805

หมายเหตุ: Inf; ปริมาณน้ำเข้าระบบ

Eff; ปริมาณน้ำออกจากระบบ

จากข้อมูลในตารางที่ 3-7 นำมาสร้างกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เพื่อหาค่า  $k_{\text{DOC}}$  ซึ่งผลที่ได้ดังภาพที่ 3-20



ภาพที่ 3-20 ค่า  $k_{DOC}$  จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552

จากภาพ ที่ 3-20 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 พบว่า ค่า  $k_{DOC}$  มีค่าเท่ากับ 10.825

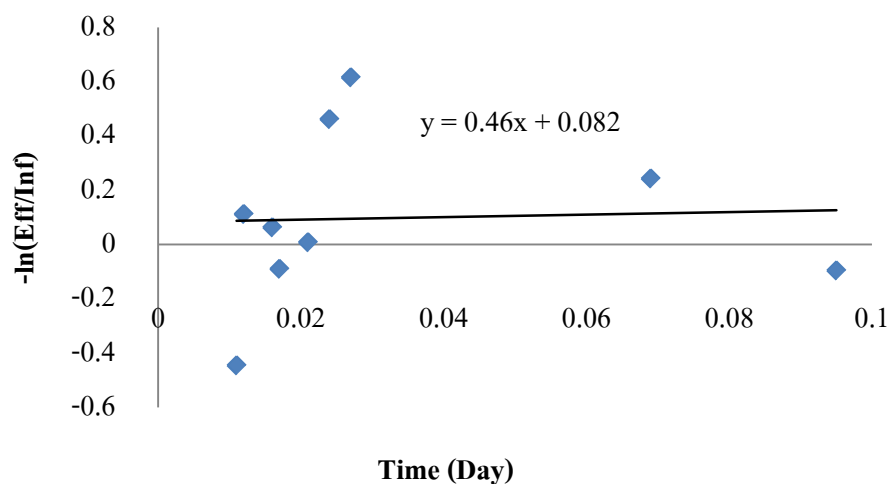
ตารางที่ 3-8 ข้อมูลที่ใช้ในการ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนมกราคม 2553 เพื่อหาค่า  $k_{DOC}$

Inf	Eff	Eff/Inf	$\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$	T (day)	$-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$
5.218	5.175	0.992	-0.008	0.021	0.008
5.175	8.083	1.562	0.446	0.011	-0.446
8.083	5.090	0.630	-0.462	0.024	0.462
5.09	5.567	1.094	0.090	0.017	-0.090
5.567	4.975	0.894	-0.112	0.012	0.112
4.975	4.672	0.939	-0.063	0.016	0.063
4.672	3.661	0.784	-0.243	0.069	0.243
3.661	4.029	1.101	0.096	0.095	-0.096
4.029	2.176	0.540	-0.616	0.027	0.616

หมายเหตุ: Inf; ปริมาณน้ำเข้าระบบ

Eff; ปริมาณน้ำออกจากระบบ

จากข้อมูลในตารางที่ 3-8 นำมาสร้างกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนมกราคม 2553 เพื่อหาค่า  $k_{\text{DOC}}$  ซึ่งผลที่ได้ดังภาพที่ 3-21



ภาพที่ 3-21 ค่า  $k_{\text{DOC}}$  จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนมกราคม 2553

จากภาพที่ 3-21 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนมกราคม 2553 พบว่า ค่า  $k_{\text{DOC}}$  มีค่าเท่ากับ 0.46

ตารางที่ 3-9 ข้อมูลที่ใช้ในการ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือน พฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน เพื่อหาค่า  $k_{\text{DOC}}$

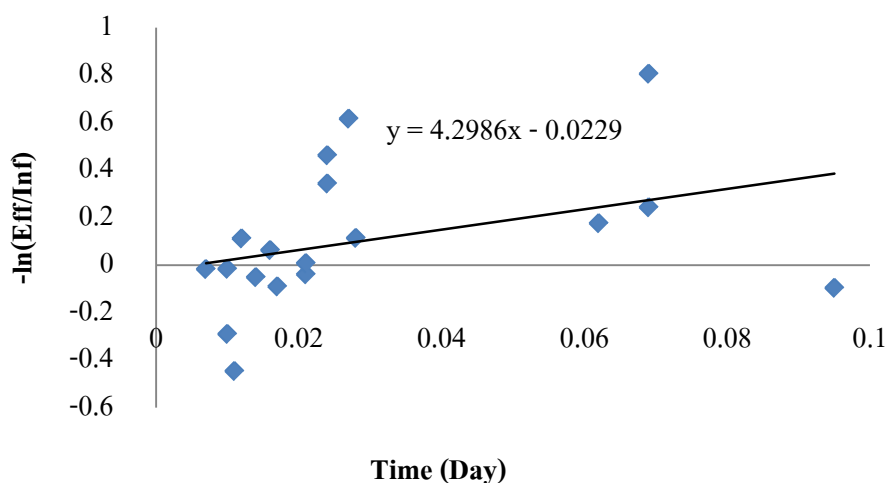
Inf	Eff	Eff/Inf	$\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$	T (day)	$-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$
4.251	3.791	0.892	-0.114	0.028	0.114
3.791	5.068	1.337	0.290	0.010	-0.290
5.068	3.600	0.710	-0.343	0.024	0.343
3.600	3.658	1.016	0.016	0.010	-0.016
3.658	3.722	1.017	0.017	0.007	-0.017
3.722	3.916	1.052	0.051	0.014	-0.051
3.916	3.286	0.839	-0.176	0.062	0.176
3.286	3.418	1.040	0.039	0.021	-0.039
3.418	1.529	0.447	-0.805	0.069	0.805

Inf (ต่อ)	Eff (ต่อ)	Eff/Inf (ต่อ)	ln(Eff/Inf) (ต่อ)	T (day) (ต่อ)	-ln(Eff/Inf) (ต่อ)
5.218	5.175	0.992	-0.008	0.021	0.008
5.175	8.083	1.562	0.446	0.011	-0.446
8.083	5.090	0.630	-0.462	0.024	0.462
5.09	5.567	1.094	0.090	0.017	-0.090
5.567	4.975	0.894	-0.112	0.012	0.112
4.975	4.672	0.939	-0.063	0.016	0.063
4.672	3.661	0.784	-0.243	0.069	0.243
3.661	4.029	1.101	0.096	0.095	-0.096
4.029	2.176	0.540	-0.616	0.027	0.616

หมายเหตุ: Inf; ปริมาณน้ำเข้าระบบ

Eff; ปริมาณน้ำออกจากระบบ

จากข้อมูลในตารางที่ 3-19 นำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน เพื่อหาค่า  $k_{\text{DOC}}$  ซึ่งผลที่ได้ดังภาพที่ 3-22



ภาพที่ 3-22 ค่า  $k_{\text{DOC}}$  จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน

จากภาพ ที่ 3-22 ซึ่งเป็น กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน พบว่า ค่า  $k_{\text{DOC}}$  มีค่าเท่ากับ 4.2986

ดังนั้นจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือน พฤศจิกายน 2552 กับเดือนมกราคม 2553 รวมกัน เพื่อหาค่า  $k_{\text{DOC}}$  พบว่า ได้  $k_{\text{DOC}}$  ทั้งหมด 3 ค่า ดังนี้ 10.825, 0.46 และ 4.2986

#### - การหาค่า $k_{\text{Nitrate}}$

ค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  คำนวณจาก ค่า Nitrate ที่เข้าและออกระบบ ที่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือนพฤศจิกายน 2552 กับเดือนมกราคม 2553 รวมกัน

ตารางที่ 3-10 ข้อมูลที่ใช้ในการ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เพื่อหาค่า  $k_{\text{Nitrate}}$

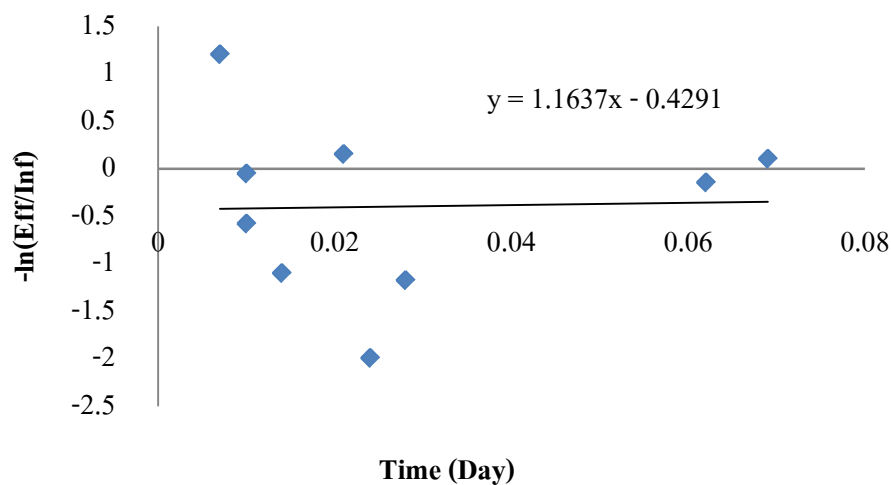
Inf	Eff	Eff/Inf	$\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$	T (day)	$-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$
0.017	0.055	3.235	1.174	0.028	-1.174
0.055	0.098	1.782	0.578	0.010	-0.578
0.098	0.718	7.327	1.992	0.024	-1.992
0.718	0.755	1.052	0.051	0.010	-0.051
0.755	0.227	0.300	-1.204	0.007	1.204
0.227	0.683	3.001	1.099	0.014	-1.099
0.683	0.790	1.156	0.145	0.062	-0.145
0.790	0.677	0.857	-0.154	0.021	0.154
0.677	0.610	0.901	-0.104	0.069	0.104

หมายเหตุ: Inf; ปริมาณน้ำเข้าระบบ

Eff; ปริมาณน้ำออกจากระบบ

จากข้อมูลในตารางที่ 3-10 นำมาสร้างกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เพื่อหาค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  ซึ่งผลที่ได้ดังภาพที่ 3-23





ภาพที่ 3-23 ค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552

จากภาพ ที่ 3-23 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 พบว่า ค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  มีค่าเท่ากับ 1.1637

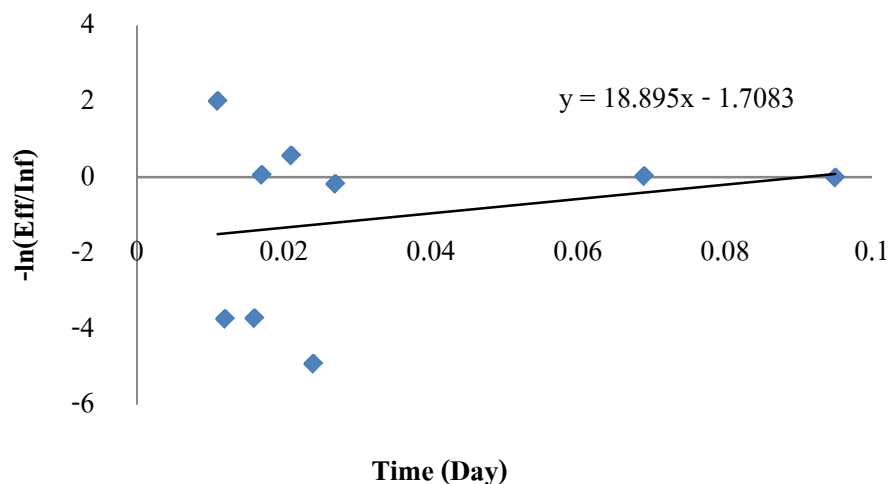
ตารางที่ 3-11 ข้อมูลที่ใช้ในการ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนมกราคม 2553 เพื่อหาค่า  $k_{\text{Nitrate}}$

Inf	Eff	Eff/Inf	$\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$	T (day)	$-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$
0.119	0.067	0.563	-0.574	0.021	0.574
0.067	0.009	0.134	-2.010	0.011	2.010
0.009	1.223	135.89	4.912	0.024	-4.912
1.223	1.148	0.939	-0.063	0.017	0.063
1.148	0.028	0.024	3.730	0.012	-3.730
0.028	1.146	40.93	3.712	0.016	-3.712
1.146	1.110	0.969	-0.031	0.069	0.031
1.110	1.118	1.007	0.007	0.095	-0.007
1.118	1.330	1.190	0.174	0.027	-0.174

หมายเหตุ: Inf; ปริมาณน้ำเข้าระบบ

Eff; ปริมาณน้ำออกจากระบบ

จากข้อมูลในตารางที่ 3-11 นำมาสร้างกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนมกราคม 2553 เพื่อหาค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  ซึ่งผลที่ได้ดังภาพที่ 3-24



ภาพที่ 3-24 ค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนมกราคม 2553

จากภาพที่ 3-24 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนมกราคม 2553 พบว่า ค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  มีค่าเท่ากับ 18.895

ตารางที่ 3-12 ข้อมูลที่ใช้ในการ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือน พฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน เพื่อหาค่า  $k_{\text{Nitrate}}$

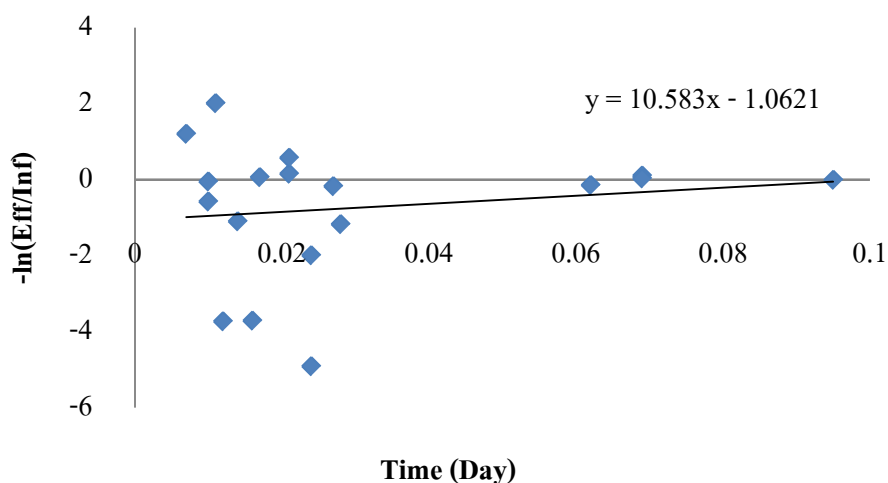
Inf	Eff	Eff/Inf	$\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$	T (day)	$-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$
0.017	0.055	3.235	1.174	0.028	-1.174
0.055	0.098	1.782	0.578	0.010	-0.578
0.098	0.718	7.327	1.992	0.024	-1.992
0.718	0.755	1.052	0.051	0.010	-0.051
0.755	0.227	0.300	-1.204	0.007	1.204
0.227	0.683	3.001	1.099	0.014	-1.099
0.683	0.790	1.156	0.145	0.062	-0.145
0.790	0.677	0.857	-0.154	0.021	0.154
0.677	0.610	0.901	-0.104	0.069	0.104

Inf (ต่อ)	Eff (ต่อ)	Eff/Inf (ต่อ)	ln(Eff/Inf) (ต่อ)	T (day) (ต่อ)	-ln(Eff/Inf) (ต่อ)
0.119	0.067	0.563	-0.574	0.021	0.574
0.067	0.009	0.134	-2.010	0.011	2.010
0.009	1.223	135.89	4.912	0.024	-4.912
1.223	1.148	0.939	-0.063	0.017	0.063
1.148	0.028	0.024	3.730	0.012	-3.730
0.028	1.146	40.93	3.712	0.016	-3.712
1.146	1.110	0.969	-0.031	0.069	0.031
1.110	1.118	1.007	0.007	0.095	-0.007
1.118	1.330	1.190	0.174	0.027	-0.174

หมายเหตุ: Inf; ปริมาณน้ำเข้าระบบ

Eff; ปริมาณน้ำออกจากระบบ

จากข้อมูลในตารางที่ 3-12 นำมาสร้างกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน เพื่อหาค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  ซึ่งผลที่ได้ ดังภาพที่ 3-25



ภาพที่ 3-25 ค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  จากความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน

จากภาพ ที่ 3-25 ซึ่งเป็น กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือน พฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 รวมกัน พบว่า ค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  มีค่าเท่ากับ 10.583

ดังนั้นจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือน พฤศจิกายน 2552 กับเดือนมกราคม 2553 รวมกัน เพื่อหาค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  พบว่า ได้  $k_{\text{Nitrate}}$  ทั้งหมด 3 ค่า ดังนี้ 1.1637, 18.895 และ 10.583

จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ  $-\ln(\text{Eff}/\text{Inf})$  ในเดือนพฤศจิกายน 2552 เดือนมกราคม 2553 และเดือน พฤศจิกายน 2552 กับเดือนมกราคม 2553 รวมกัน เพื่อหาค่า  $k_{\text{DOC}}$  และ  $k_{\text{Nitrate}}$  สามารถสรุปค่า  $k_{\text{DOC}}$  และ  $k_{\text{Nitrate}}$  ที่ได้ดังตารางที่ 3-13

ตารางที่ 3-13 สรุปค่า  $k_{\text{DOC}}$  และ  $k_{\text{Nitrate}}$

เดือน	ค่า k	
	$k_{\text{DOC}}$	$k_{\text{Nitrate}}$
พฤศจิกายน 2552	10.825	1.1637
มกราคม 2553	0.46	18.895
พฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 รวมกัน	4.30	10.583

จากนั้นนำค่า  $k_{\text{DOC}}$  และ  $k_{\text{Nitrate}}$  ที่ได้ มาใส่ใน แบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนาย ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา โดยการจับคู่ค่า  $k_{\text{DOC}}$  และ  $k_{\text{Nitrate}}$  ใส่ในแบบจำลอง แล้ว หาค่า % ความคลาดเคลื่อน ของแบบจำลอง โดยการนำค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริง มา เปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง แล้วพิจารณาเลือกค่า  $k_{\text{DOC}}$  และ  $k_{\text{Nitrate}}$  ที่ใส่ใน แบบจำลอง แล้วทำให้แบบจำลองมีค่า % ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ผลที่ได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-14 % ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยการนำค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริง มาเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง จากการนำค่า  $k_{\text{DOC}}$  และ  $k_{\text{Nitrate}}$  ใส่ในแบบจำลอง

สถานี	% ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจากการนำค่า $k_{\text{DOC}}$ และ $k_{\text{Nitrate}}$ ใส่ในแบบจำลอง								
	$k_{\text{DOC}} = 10.825$			$k_{\text{DOC}} = 0.46$			$k_{\text{DOC}} = 4.30$		
	$k_{\text{Nitrate}} =$ <b>1.1637</b>	$k_{\text{Nitrate}} =$ <b>18.895</b>	$k_{\text{Nitrate}} =$ <b>10.583</b>	$k_{\text{Nitrate}} =$ <b>1.1637</b>	$k_{\text{Nitrate}} =$ <b>18.895</b>	$k_{\text{Nitrate}} =$ <b>10.583</b>	$k_{\text{Nitrate}} =$ <b>1.1637</b>	$k_{\text{Nitrate}} =$ <b>18.895</b>	$k_{\text{Nitrate}} =$ <b>10.583</b>
31-UTP-DS	19.29	19.29	19.29	19.29	19.29	19.29	19.29	19.29	19.29
32-UTP-CT	12.04	12.21	12.21	0.84	1.00	1.00	5.35	5.52	5.52
33-UTP-KH	186.91	187.30	186.91	151.98	152.38	152.38	166.67	167.06	166.67
34-UTP-CT	29.78	29.95	29.78	7.92	8.26	8.09	17.73	17.9	17.9
35-UTP-CT	29.82	29.98	29.98	6.37	6.7	6.53	17.25	17.42	17.42
36-UTP-CT	29.06	29.22	29.22	5.03	5.36	5.19	16.40	16.56	16.56
37-UTP-US	31.16	31.48	31.32	5.41	5.56	5.56	17.97	18.12	18.12
38-UTP-US	40.56	40.89	40.73	6.95	7.12	7.12	25.83	26.16	25.99
39-UTP-US	52.49	52.85	52.85	14.95	15.3	15.12	37.01	37.37	37.19
40-UTP-RS	14.53	14.67	14.67	17.52	17.24	17.24	3.70	3.85	3.85

จากตารางที่ 3-14 จะเห็นได้ว่า เมื่อนำค่า  $k_{\text{DOC}} = 10.825$  และค่า  $k_{\text{Nitrate}} = 18.895, 10.583, 1.1637$  ใส่แบบจำลอง ทำให้ % ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยการนำค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริง มาเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้ มี % ความคลาดเคลื่อน สูงที่สุด รองลงมาคือ ค่า  $k_{\text{DOC}} = 4.30$  และค่า  $k_{\text{Nitrate}} = 18.895, 10.583, 1.1637$  และค่า  $k_{\text{DOC}} = 0.46$  และค่า  $k_{\text{Nitrate}} = 18.895, 10.583, 1.1637$  ตามลำดับ

ในการศึกษานี้จะเลือก ค่า  $k_{\text{DOC}}$  และค่า  $k_{\text{Nitrate}}$  ที่ใส่ในแบบจำลอง แล้วทำให้ % ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยการนำค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงมาเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้ มี % ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

ดังนั้นจึงเลือก ค่า  $k_{\text{DOC}} = 0.46$  และ ค่า  $k_{\text{Nitrate}} = 1.1637$  มาใช้กับแบบจำลองพลวัตระบบ สำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา

### 3.3.3 แบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา

ในการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา ทำได้โดยการใช้แบบจำลองเบื้องต้นที่ได้ทำการคัดเลือกมาแล้วว่ามีประสิทธิภาพในการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ดีที่สุด ซึ่งแบบจำลองเบื้องต้นที่กล่าวถึงคือ แบบจำลองของ MODEL 1 ซึ่งมีวิธีการคือ นำแบบจำลองของ MODEL 1 มาเชื่อมต่อกันเป็น 10 สถานี ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึงสถานี 40-UTP-RS โดยใช้สมการที่พัฒนาจากปฏิกิริยา 1<sup>st</sup> Order ดังภาพที่ 3-26

สมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา มีดังนี้

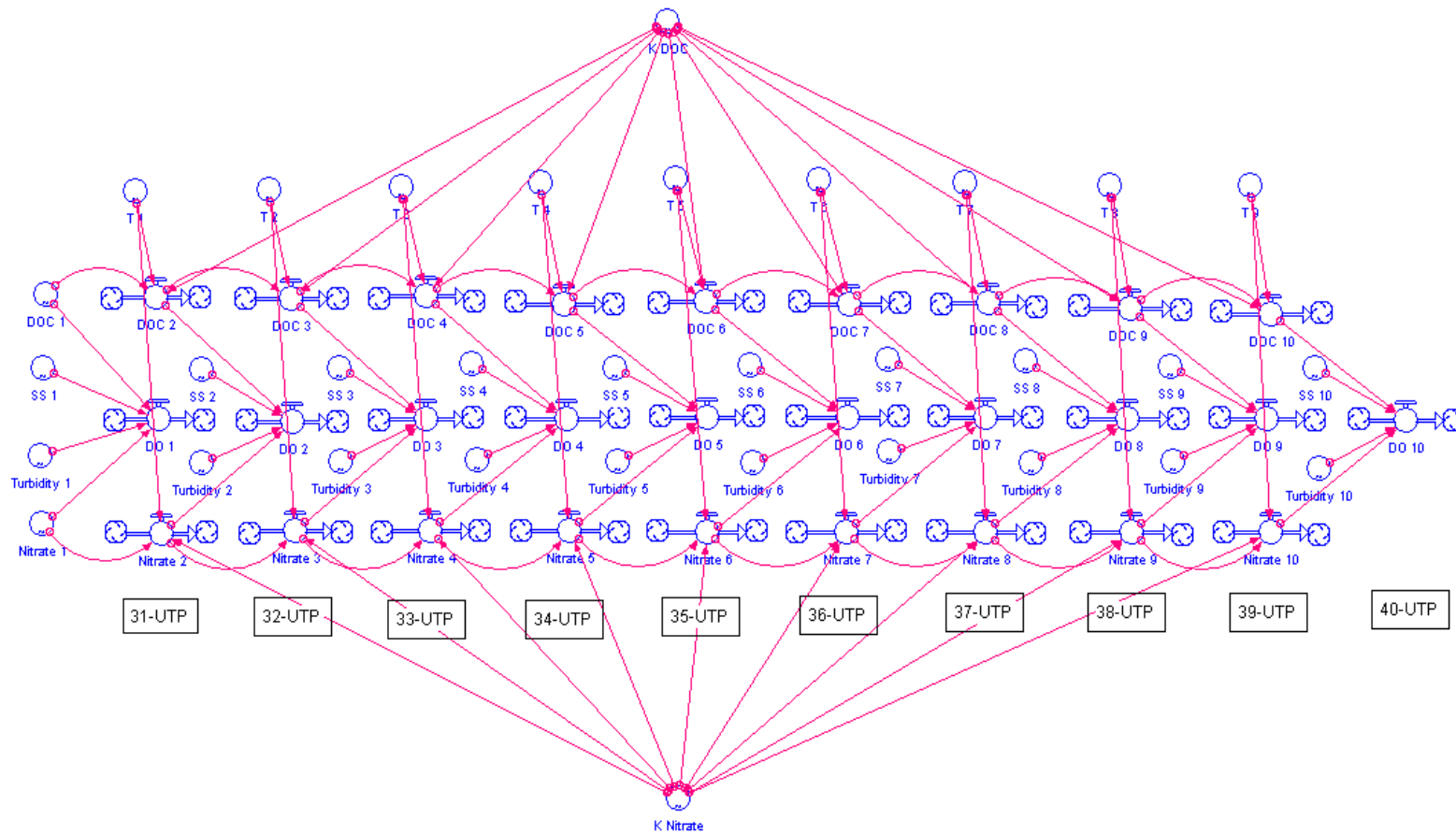
$$\text{DO} = 8.012 - (0.641 * \text{DOC}) - (1.058 * \text{Nitrate}) - (0.009 * \text{SS}) + (0.013 * \text{Turbidity})$$

$$\text{DOC (outlet)} = \text{DOC (inlet)} \exp(-k_{\text{DOC}} t) \quad \dots \dots \dots (21)$$

$$\text{Nitrate (outlet)} = \text{Nitrate (inlet)} \exp(-k_{\text{Nitrate}} t) \quad \dots \dots \dots (22)$$

โดยที่;  $k_{\text{DOC}} = 0.46$

$$k_{\text{Nitrate}} = 1.1637$$



หมายเหตุ: K DOC และ K Nitrate คือ  $k_{DOC}$  และ  $k_{Nitrate}$  ตามลำดับ

ภาพที่ 3-26 แบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตตะเกา

จากภาพที่ 3-26 DOC Nitrate SS และ Turbidity ทำนายค่า DO ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง สถานี 40-UTP-RS โดยใส่ค่าของ SS Turbidity  $k_{DOC}$   $k_{Nitrate}$  และ Time ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในทุกสถานีตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึงสถานี 40-UTP-RS ลงในแบบจำลอง ส่วนค่าของ DOC และ Nitrate ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ใส่ค่าที่สถานี 31-UTP-DS เท่านั้น

### 3.4 การทวนสอบแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตตะเกา

ขั้นตอนนี้เป็นารทดลองการทำงานของแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตตะเกา และความถูกต้องของผลลัพธ์ โดยการหา % ความคลาดเคลื่อนของ DO ที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับ DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ขั้นตอนนี้จะใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในอดีตเป็นตัวทดสอบ ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 เป็นตัวทดสอบแบบจำลอง

ทำการทวนสอบแบบจำลองโดย ให้ DOC Nitrate SS และ Turbidity ทำนายค่า DO ตั้งแต่ สถานี 31-UTP-DS ถึงสถานี 40-UTP-RS โดยใส่ค่าของ SS Turbidity  $k_{DOC}$   $k_{Nitrate}$  และ Time ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือน พฤศจิกายน 2552 และ มกราคม 2553 ในทุกสถานีตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึงสถานี 40-UTP-RS ลงในแบบจำลอง ส่วนค่าของ DOC และ Nitrate ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในเดือน พฤศจิกายน 2552 และ มกราคม 2553 ใส่ค่าที่สถานี 31-UTP-DS เท่านั้น (ภาพที่ 3-26) ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 3-15

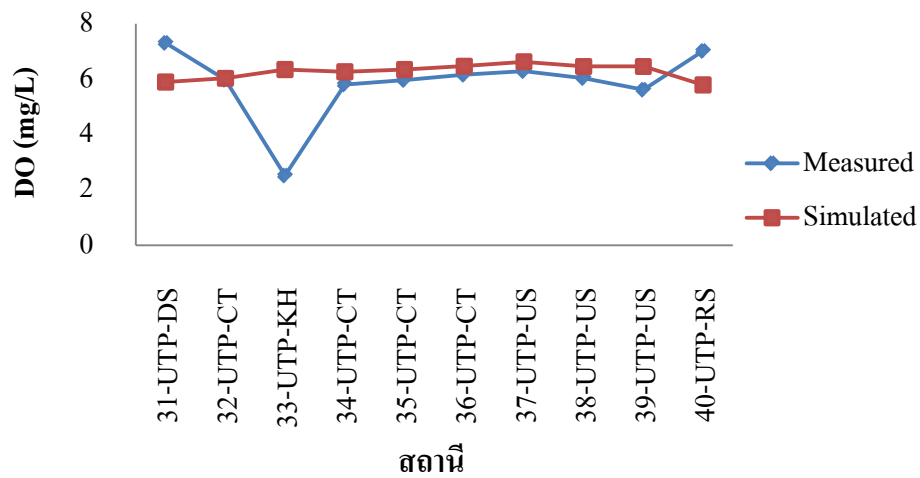


ตารางที่ 3-15 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553

สถานี	พฤศจิกายน		มกราคม	
	DO (Measured)	DO (Simulated)	DO (Measured)	DO (Simulated)
31-UTP-DS	7.31	5.90	4.21	4.98
32-UTP-CT	5.98	6.03	4.49	4.93
33-UTP-KH	2.52	6.35	2.82	4.6
34-UTP-CT	5.81	6.27	4.02	4.97
35-UTP-CT	5.97	6.35	4.03	5.03
36-UTP-CT	6.16	6.47	5.27	5.00
37-UTP-US	6.29	6.63	4.30	4.96
38-UTP-US	6.04	6.46	4.44	4.99
39-UTP-US	5.62	6.46	4.08	5.14
40-UTP-RS	7.02	5.79	5.08	5.15

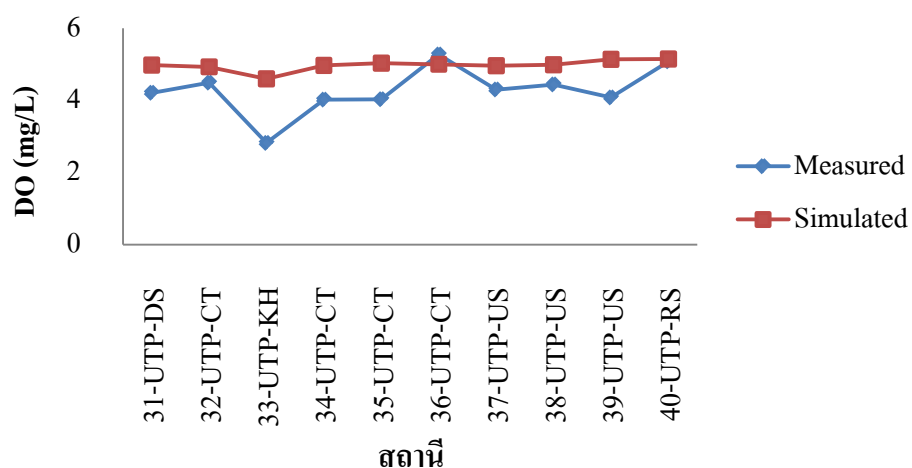
จากตารางที่ 3-15 นำผลที่ได้มาสร้างกราฟ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความต่างของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 (ภาพที่ 3-27) และมกราคม 2553 (ภาพที่ 3-28) ได้ง่ายยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ทำการหา % ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละสถานี ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ผลที่ได้ดังภาพที่ 3-29 และหา % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในเดือน พฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ด้วย



ภาพที่ 3-27 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552

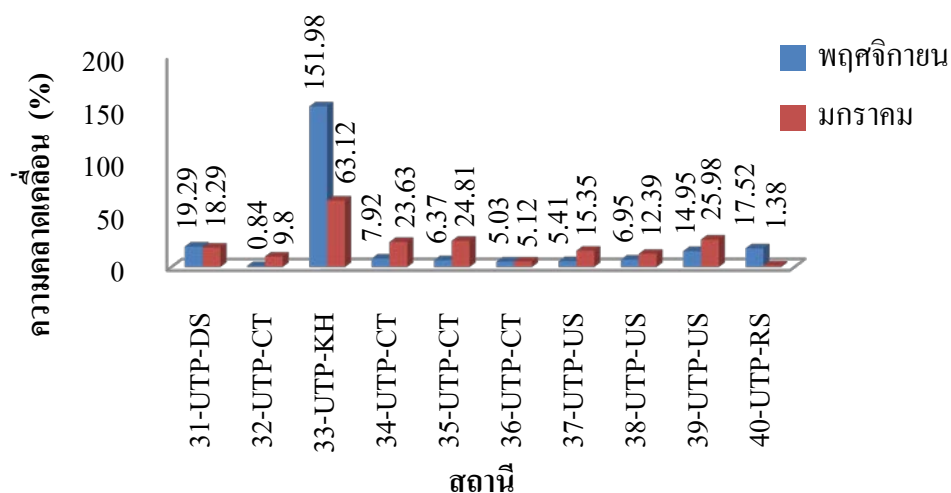
จากภาพที่ 3-27 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ในเดือนพฤศจิกายน 2552 ที่สถานี 32-UTP-CT สถานี 34-UTP-CT ถึงสถานี 39-UTP-US มีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนสถานี 31-UTP-DS และสถานี 40-UTP-RS ค่าที่ได้จากแบบจำลองต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง และสถานี 33-UTP-KH ค่าที่ได้จากแบบจำลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงค่อนข้างมาก



ภาพที่ 3-28 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2553

จากภาพที่ 3-28 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ในเดือนมกราคม 2553 ที่สถานี 32-UTP-CT สถานี 36-UTP-CT และสถานี 40-UTP-RS มีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนสถานี 31-UTP-DS สถานี 33-UTP-KH ถึงสถานี 35-UTP-CT และสถานี 37-UTP-US ถึงสถานี 39-UTP-US ค่าที่ได้จากแบบจำลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง

จากตารางที่ 3-21 ทำการหา % ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้ดังภาพที่ 3-29



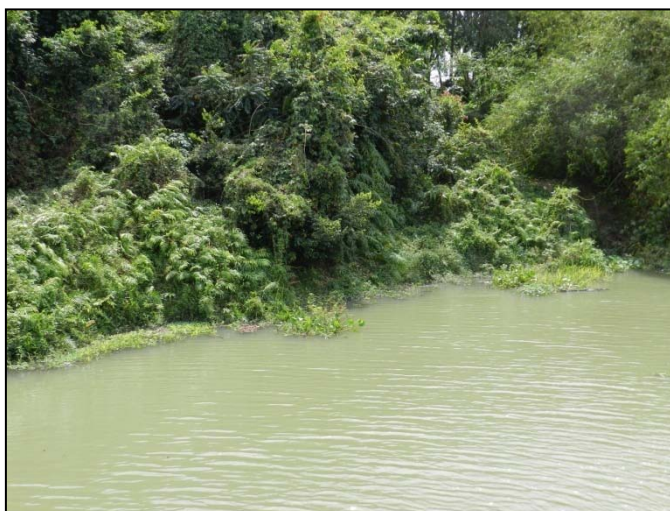
ภาพที่ 3-29 % ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553

จากภาพที่ 3-29 % ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 ที่สถานี 32-UTP-CT และสถานี 34-UTP-CT ถึงสถานี 39-UTP-US มีค่า % ความคลาดเคลื่อนค่อนข้างต่ำ ส่วนสถานี 31-UTP-DS สถานี 33-UTP-KH และสถานี 40-UTP-RS มีค่า % ความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

สถานี 31-UTP-DS ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริง สูงกว่าค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งสถานีนี้เป็นสถานีปลายน้ำ ควรมีค่า DO ต่ำ (Chaudhury *et al.*, 1997) เนื่องจากได้รับของเสียและน้ำเสียที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสะสมมาตั้งแต่ต้นน้ำ แต่อาจเป็นเพราะคลองสาขาที่ไหลมาบรรจบและความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้ค่า DO ตรงจุดนี้มีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงเมื่อเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง มี % ความคลาดเคลื่อน สูง ซึ่งพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 31-UTP-DS ดังภาพที่ 3-30 และ 3-31



ภาพที่ 3-30 แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 31-UTP-DS

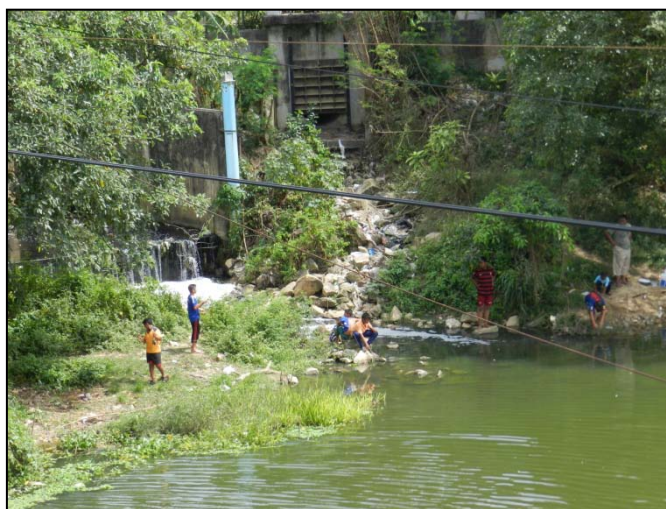


ภาพที่ 3-31 แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 31-UTP-DS

สถานี 33-UTP-KH ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ต่ำกว่าค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง เนื่องจากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ สถานี 33-UTP-KH นี้ ถูกชาวบ้านรื้อกล้าพื้นที่ โดยการถมที่รื้อกล้าเข้ามาในส่วนพื้นที่ของลำน้ำ และบริเวณนี้มีท่อระบายน้ำขนาดใหญ่สำหรับปล่อยน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานลงสู่แหล่งน้ำ รวมถึงมีการทิ้งขยะบริเวณนี้อีกด้วย จึงทำให้ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงเมื่อเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง มี % ความคลาดเคลื่อน สูง ซึ่งพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 33-UTP-KH ดังภาพที่ 3-32 และ 3-33



ภาพที่ 3-32 แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 33-UTP-KH



ภาพที่ 3-33 แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 33-UTP-KH



สถานี 40-UTP-RS ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริง สูงกว่าค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งสถานีนี้เป็นสถานีต้นน้ำ ซึ่งไม่มีการรุกร้ำพื้นที่ของชาวบ้าน ไม่มีการปล่อยน้ำเสียและทิ้งขยะลงสู่แหล่งน้ำ ที่สำคัญเนื่องจากสถานีนี้เป็นอ่างเก็บน้ำ ซึ่งน้ำในอ่างเก็บน้ำจะไม่มีการไหลแบบ Plug flow เหมือนสถานีอื่นๆ แต่ในแบบจำลองที่สร้างขึ้นเป็นการศึกษาการไหลแบบ Plug flow จึงทำให้ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริง เมื่อเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง มี % ความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 31-UTP-DS ดังภาพที่ 3-34 และ 3-35



ภาพที่ 3-34 แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 40-UTP-RS



ภาพที่ 3-35 แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 40-UTP-RS

จากภาพที่ 3-29 หา % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ของ ค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการ ตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองในเดือนพฤศจิกายน 2552 และเดือนมกราคม 2553 พบว่า ค่า % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในเดือนพฤศจิกายน 2552 เท่ากับ 23.63 % และในเดือนมกราคม 2553 เท่ากับ 19.99 % ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่า % ความคลาดเคลื่อน เฉลี่ยค่อนข้างสูง นั้นมาจากสถานี 31-UTP-DS สถานี 33-UTP-KH และสถานี 40-UTP-RS ดังอธิบายแล้วข้างต้น

### 3.5 การตรวจสอบความแน่นอนของ แบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตตะเกา

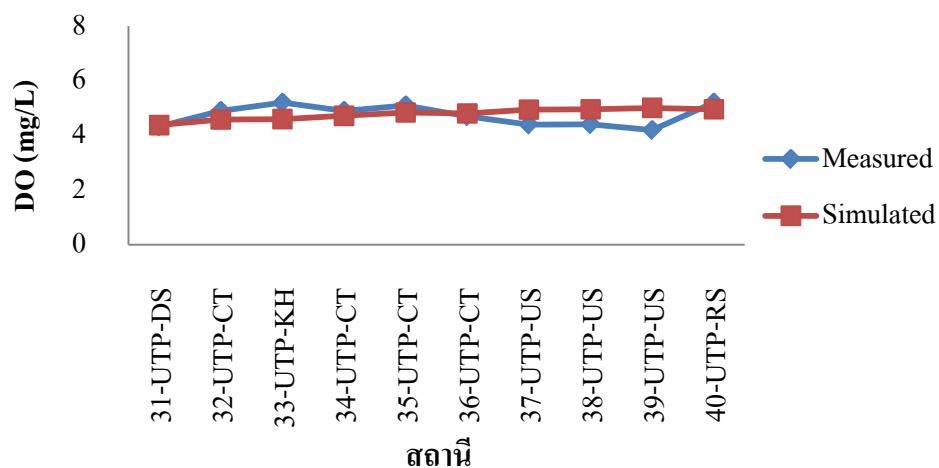
การตรวจสอบความแน่นอนของแบบจำลอง เพื่อที่ว่า แบบจำลอง ที่ได้ทำงานได้ดีและถูกต้องเพียงใด เมื่อกำหนดสภาวะต่างๆ ในการจัดการระบบเปลี่ยนไป ซึ่งในขั้นตอนนี้ใช้ ข้อมูลคุณภาพน้ำในเดือนมกราคม 2556 โดยพิจารณา % ความคลาดเคลื่อน ของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการ ตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึงสถานี 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2556 เพื่อประเมินความสามารถและบ่งชี้ความแม่นยำของแบบจำลองในการทำนายค่า DO ในแต่ละสถานี ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 3-16

ตารางที่ 3-16 ค่า DO ที่ได้จากการ ตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2556

สถานี	DO (Measured)	DO (Simulated)
31-UTP-DS	4.33	4.38
32-UTP-CT	4.90	4.58
33-UTP-KH	5.20	4.60
34-UTP-CT	4.90	4.72
35-UTP-CT	5.10	4.84
36-UTP-CT	4.70	4.81
37-UTP-US	4.40	4.95
38-UTP-US	4.41	4.96
39-UTP-US	4.20	5.01
40-UTP-RS	5.20	4.96

จากตารางที่ 3-16 นำผลที่ได้มาสร้างกราฟ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความต่าง ของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2556 ดังภาพที่ 3-36 ได้ง่ายยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ทำการหา % ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละสถานี ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ผลที่ได้ดังภาพที่ 3-37 และหา % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในเดือน พฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553 ด้วย

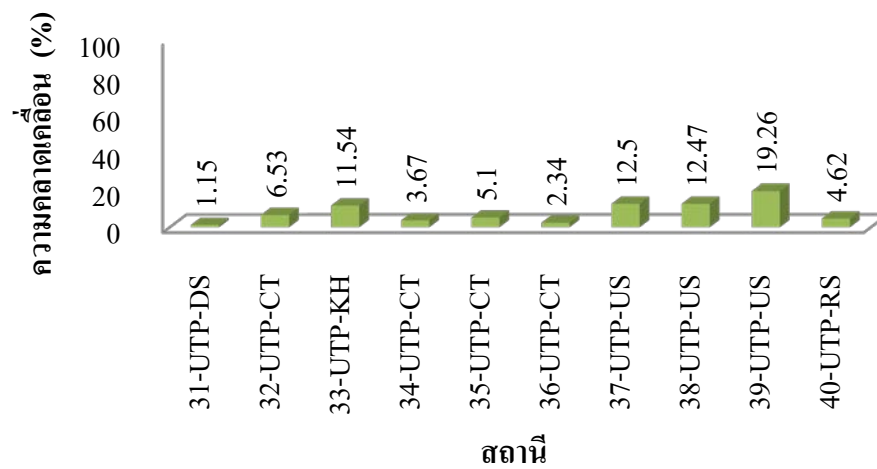


ภาพที่ 3-36 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2556

จากภาพที่ 3-36 ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ในเดือนมกราคม 2556 ที่สถานี 31-UTP-DS ถึงสถานี 38-UTP-US และสถานี 40-UTP-RS มีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนสถานี 39-UTP-US ค่าที่ได้จากแบบจำลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงเล็กน้อย

จากตารางที่ 3-16 ทำการหา % ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้ดังภาพที่ 3-37





ภาพที่ 3-37 % ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึง 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2556

จากภาพที่ 3-37 % ความคลาดเคลื่อนของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ในเดือนมกราคม 2556 ที่สถานี 31-UTP-DS ถึง สถานี 38-UTP-US และสถานี 40-UTP-RS มีค่า % ความคลาดเคลื่อน ค่อนข้างต่ำ ส่วน สถานี 39-UTP-US มีค่า % ความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

สถานี 39-UTP-US ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ต่ำกว่าค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งสถานีนี้เป็นสถานีต้นน้ำ ซึ่งยังได้รับของเสียจากการปล่อยน้ำเสียและทิ้งขยะลงสู่แหล่งน้ำน้อย แต่จากการลงพื้นที่ พบว่าที่ 39-UTP-US ถูกชาวบ้านรुक้ำพื้นที่ โดยการถมที่รुक้ำเข้ามาในส่วนพื้นที่ของลำน้ำ ทำให้ลำน้ำช่วงนั้นมีช่วงแคบมาก จึงทำให้ค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริง เมื่อเปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง มี % ความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 33-UTP-KH ดังภาพที่ 3-38 และ 3-39



ภาพที่ 3-38 แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 39-UTP-US



ภาพที่ 3-39 แสดงพื้นที่โดยรอบของสถานีเก็บน้ำที่ 39-UTP-US

จากภาพที่ 3-37 หา % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ของ ค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองในเดือนมกราคม 2556 พบว่า ค่า % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในเดือนมกราคม 2556 เท่ากับ 7.92 %

ดังนั้นจากการตรวจสอบความแน่นอนของแบบจำลอง เพื่อดูว่าแบบจำลองที่ได้ทำงานได้ดี และถูกต้องเพียงใด เมื่อกำหนดสภาวะต่างๆ ในการจัดการระบบเปลี่ยนไป โดยการ ใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำในเดือนมกราคม 2556 โดยพิจารณา % ความคลาดเคลื่อน ของค่า DO โดยเปรียบเทียบระหว่างค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง ตั้งแต่สถานี 31-UTP-DS ถึงสถานี 40-UTP-RS ในเดือนมกราคม 2556 เพื่อประเมินความสามารถและบ่งชี้ความแม่นยำของแบบจำลองในการทำนาย ค่า DO พบว่าแบบจำลอง พลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตตะเกาที่ได้ มีความแม่นยำในการทำนายค่า DO ประมาณ 7.92 %

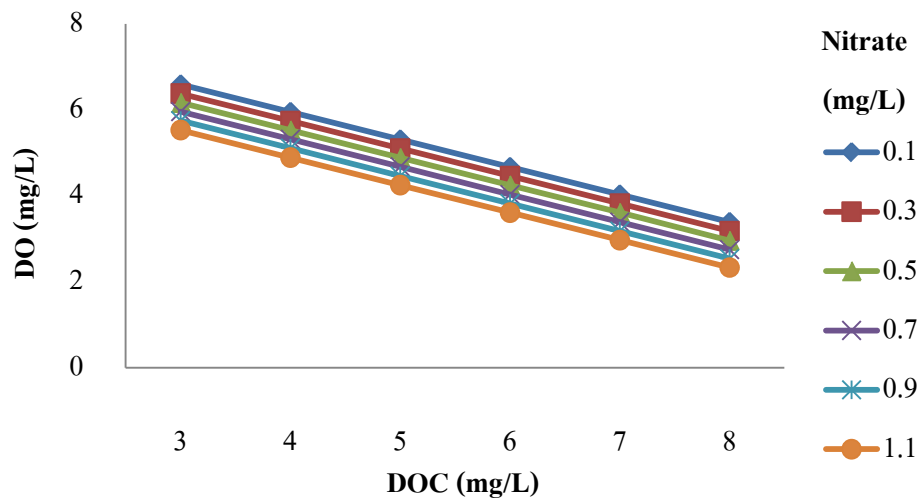
### 3.6 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อทำนายค่า DOC

นำแบบจำลอง พลวัตระบบ (MODEL 1) ที่ได้มาประยุกต์ใช้ ซึ่ง MODEL 1 มีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$DO = 8.012 - (0.641 * DOC) - (1.058 * Nitrate) - (0.009 * SS) + (0.013 * Turbidity)$$

ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองพลวัตระบบที่ได้ โดยการสร้างกราฟมาตรฐานของการประมาณค่าจากความสัมพันธ์ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำ เพื่อนำกราฟมาตรฐานของการประมาณค่าจากความสัมพันธ์ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำที่ได้มาใช้ในการทำนายค่า DOC

โดยการนำค่า DOC Nitrate SS และ Turbidity ใส่ในแบบจำลอง พลวัตระบบ (MODEL 1) เพื่อให้แบบจำลองทำนายค่า DO จากนั้นนำค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง และ DOC กับ Nitrate ที่ใส่ในแบบจำลองมาสร้าง กราฟมาตรฐานของการประมาณค่าจากความสัมพันธ์ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำ เพื่อใช้ในการทำนายค่า DOC โดยกำหนดให้ค่าของ DO DOC และ Nitrate อยู่ในช่วงระหว่างค่าต่ำสุดถึงสูงสุด ส่วนค่าของ SS และ Turbidity กำหนดให้เป็นค่าเฉลี่ย (จากผลที่ได้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ DOC SS Turbidity และ Nitrate ที่ส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของ DO แบบสามแกนคือ แกน (x, y, z) ซึ่งแทนด้วย Nitrate DOC และ DO ตามลำดับ โดยอาศัยโปรแกรม Sigma plot ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ) จากข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจริง ซึ่งครอบคลุมข้อมูลทั้ง 4 เดือน คือ พฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 มีนาคม 2553 และมกราคม 2556 ผลที่ได้ดังภาพที่ 3-40



ภาพที่ 3-40 กราฟมาตรฐานของการประมาณค่าจากความสัมพันธ์ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำ (กำหนดให้ SS = 50 mg/L และ Turbidity = 81.5 NTU)

จากภาพที่ 3-40 กราฟมาตรฐานของการประมาณค่าจากความสัมพันธ์ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำนี้ สามารถใช้ในการทำนายค่า DOC ได้เมื่อทราบค่า DO และ Nitrate โดยไม่ต้องทำการตรวจวัด ตัวอย่างเช่น DO ในแหล่งน้ำมีค่าประมาณ 4 mg/L และ Nitrate มีค่าประมาณ 0.5 mg/L จะทำให้สามารถทำนาย DOC ได้ประมาณ 6 mg/L โดยไม่ต้องทำการตรวจวัด เป็นต้น

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอุตะเกา สามารถนำประยุกต์ใช้โดยการสร้างกราฟมาตรฐานของการประมาณค่าความสัมพันธ์ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำ เพื่อใช้ในการทำนายค่า DOC ได้

## บทที่ 4

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ บ่งชี้ถึงปัจจัยหลักทางกายภาพและเคมี และศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าวที่มีผลกระทบต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา เพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้มาพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบ สำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา และสามารถจำลองสถานการณ์และทำนายการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในแต่ละสถานการณ์ตามเงื่อนไขและความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันได้

#### 4.1 สรุปผลการวิจัย

##### 4.1.1 การบ่งชี้ปัจจัยหลักทางกายภาพและเคมี ที่มีผลกระทบต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในคลองอู่ตะเภา ได้ทำการตรวจวัด พารามิเตอร์บ่งชี้ความสกปรกของน้ำ ทั้งหมด 7 ตัว คือ DO Temp pH DOC SS Turbidity และ Nitrate ซึ่งจากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และการคัดเลือกพารามิเตอร์พบว่า ปัจจัยหลักทางกายภาพและเคมีที่มีผลกระทบต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) มีทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ DOC SS Turbidity และ Nitrate โดยมีสัมประสิทธิ์การทำนาย  $R^2 = 0.873$

##### 4.1.2 การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา

เมื่อนำปัจจัยทั้ง 4 ตัว คือ DOC SS Turbidity และ Nitrate มาสร้างแบบจำลองพลวัตระบบ สำหรับการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา เมื่อทำการ ทวนสอบแบบจำลองพบว่า แบบจำลองมีค่า % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ในเดือนพฤศจิกายน 2552 ประมาณ 23.63 % และในเดือนมกราคม 2553 ประมาณ 19.99 % และเมื่อทำการตรวจสอบความแน่นอนของแบบจำลองพบว่า แบบจำลองมี % ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในเดือนมกราคม 2556 ประมาณ 7.92 %

##### 4.1.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อทำนายค่า DOC

แบบจำลองที่ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ โดยการสร้างกราฟมาตรฐานของการประมาณค่าจากความสัมพันธ์ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำ เพื่อใช้ในการทำนายค่า DOC เมื่อทราบค่า DO และ Nitrate ได้

## **4.2 ข้อเสนอแนะ**

### **4.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป**

แบบจำลองที่ได้ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนระดับหนึ่ง สำหรับใน การศึกษาครั้งต่อไป ควรมี การพิจารณาจุดเก็บตัวอย่างน้ำโดยพิจารณาถึงคลองสาขาและลักษณะของลำคลองร่วมด้วย เพื่อช่วย ในการลดปัจจัยรบกวนในส่วนนี้ออกไป

### **4.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง**

สำหรับการประปาส่วนภูมิภาคสามารถนำแบบจำลองนี้ ไปใช้ในการทำนายค่า DOC เพื่อ ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับการผลิตน้ำประปาต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2552. การคาดหมายลักษณะอากาศช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย พ .ศ.2552-2553.วารสารอุตุนิยมวิทยา 9(3): 12-14.
- กฤษฎา มหาสันทนะ . 2539. การทำนายคุณภาพ น้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Mike 11. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กิริติ ลีจันกุล. 2531. การแพร่ของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16. 2553. สถานการณ์คุณภาพน้ำคลองอู่ตะเภาและคลองสาขา ปี 2553: โครงการเฝ้าระวังและติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำวิกฤตในพื้นที่จังหวัดสงขลา (คลองสำโรง คลองอู่ตะเภาและคลองสาขา). สำนักงานปลัดกระทรวงธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ชนินทร์ ทองธรรมชาติ. 2540. ดัชนีคุณภาพน้ำ. วารสาร คพ. 2(1): 8 – 11.
- ทวิวงศ์ ศรีบุรี. 2541. การประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการคุณภาพน้ำ ในลำน้ำธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพและคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงศ์พัฒน์ สันทะมิโน . 2547. ต้นแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการจัดการมูลฝอยชุมชน ในเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา . วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรยศ เทียนทอง. 2539. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำ ในแม่น้ำป่าสักตอนล่าง บริเวณจังหวัดสระบุรี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พัชรินทร์ อุ๋นเอมใจ. 2548. การบูรณาการลินซิกซ์ซิกมาและซีเอ็มเอ็มไอเข้าสู่วิสาหกิจโดยใช้แบบจำลองพลวัต กรณีศึกษา: บริษัท สแปนชั่น (ไทยแลนด์) จำกัด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ วิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พิสิฐ ศรีวรานันท์. 2534. การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการปรับปรุงระบบระบายน้ำในเมือง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. ม.ป.ป. การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียเบื้องต้น. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กัทร่า เฟ่งธรรมกิริติ. 2541. การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการ คาดการณ์ คุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง . วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภาคิวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ . 2552. การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึง ประดิษฐ์. เอกสารประกอบการ ประชุมภายใต้โครงการ Decentralized Wastewater Management Using Constructed Wetland Technology.
- บุญเสถียร บุญสูง . ม.ป.ป. มาตรฐานคุณภาพน้ำและดัชนีชีวภาพ . เอกสารประกอบการบรรยาย วิชา 424482 ชีววิทยาของมลพิษ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ลักขณา ละอองศิริวงศ์. 2551. การแลกเปลี่ยนไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และออกซิเจนระหว่างน้ำ และตะกอนดินในรอ บปี และผลกระทบต่อการศึกษาปลากร ะพงขาว (*Lates calcarifer*) ในกระชังบริเวณเกาะยอ ทะเลสาบสงขลาตอนนอก . วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร มหาบัณฑิต , สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการ สิ่งแวดล้อม , มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. 2548. การใช้ Stella ในการจำลองระบบเกษตร . การประชุมวิชาการระบบ เกษตรแห่งชาติครั้งที่ 5: พลังงานทดแทนและความมั่นคงทางอาหารเพื่อมนุษยชาติ.
- สมพร จันทระ. 2549. อุทกภาค. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สำนักงานนโยบายและแผนท ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม . 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนากลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.
- อิสรา พิริยะพิเศษพงศ์. 2540. การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการจัดการคุณภาพ น้ำผิวดินบริเวณโรงไฟฟ้าและเหมืองแม่เมาะ . วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Amon, R. M. W. and Benner, R. 1996. Photochemical and microbial consumption of dissolved oranic carbon and dissolved oxygen in the Amazon River system. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60(10): 1783-1792.
- Angelo, F., Chiara, M., Norbert, M., Antonio, V. and Enzo, T. 2007. Nonlinear time series analysis of dissolved oxygen in the Orbetello Lagoon (Italy). *Ecological modeling* 203: 339-348.



- Anil, K. T., Ramesh S. V. T. and Ormsbee, L. 2003. Modeling adaptive water quality management strategies using system dynamics simulation. *Environmental Informatics Archives* 1: 245-253.
- Arranz, A., Bordel, S., Villaverde, S., Zamarreno, J.M., Guieysse, B. and Munoz, R. 2008. Modeling photosynthetically oxygenated biodegradation processes using artificial neural networks. *Journal of Hazardous Materials* 155: 51–57.
- Beinkman, J.P., Grifioen S. and Los, F.J. 1988. A water quality and quality model for the evaluate of water management strategies in the Netherland application to the province of fishland. Mc Graw Hill, New York.
- Boworsak, W. 1992. Water Quality Analysis for a Basin-wide Planning. M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology.
- Chaudhury, R., Sobrinho, J. A. H. S., Wright R. M. and Sreenivas M. 1997. Dissolved oxygen modeling of the Blackstone river (northeastern united states) S0043-1354(98).
- Changjuan, Z., Suiliang, H., Min, W., Shenglan, D. Miklas, S. and Feng, G. 2011. Comparison of Relationships Between pH, Dissolved Oxygen and Chlorophyll a for Aquaculture and Non-aquaculture Waters. *Water Air Soil Pollut* 219: 157–174.
- Chihhao, F., Wei-Shen, W., and Ming-Chu, L. 2007. Impact of tidal effects on water quality simulation of rivers running through urban area – a case study in northern Taiwan. *Environment Informaticd Archives* 5: 409-414.
- Christian, H., Zach L., Jeramie, M., Clinton, D. and Andy, R. 2006. Dissolved Oxygen Dynamics in the Carson River, Nevada: Results from field programs during the summers of 2003and 2004. Desert Research Institute Reno NV 89512.
- Cox, B.A. 2003. A review of dissolved oxygen modelling techniques for lowland rivers. *The Science of the Total Environment* 314 –316: 303–334.
- Curi, W. F., Unny, T. E. and Kay, J. J. 1995. A stochastic physical system approach to modeling river water quality. *Stochastic Hydrology and Hydraulics* 9: 117-132.
- Dennis, A. 2001. Marine dissolved organic matter and the carbon cycle. *Oceanography* 14(4).
- DHI. 1988. Mike 11 users' guide. Denmark.

- Edwin, J. N. and David, H. S. 2009. Dissolved oxygen, temperature and salinity effects on the ecophysiology and survival of juvenile Atlantic sturgeon in estuarine waters: II. Model development and testing. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 161-172.
- Elmahdi, A., Malane, H., and Etchells, T. 2007. Using system dynamics to model water reallocation. *Environmentalist* 27(1): 3-12.
- Elshorbagy, A. and Ormsbee, L. 2006. Object-oriented modeling approach to surface water quality management. *Environmental Modelling & Software* 21: 689-698.
- Evans, C.D., Monteith, D.T. and Cooper, D.M. 2005. Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: Observations, possible causes and environmental impacts. *Environmental Pollution* 137: 55-71.
- Fowler, C. 2003. Construction of a wetland to accept tertiary treated wastewater at the University of California, Davis. *Environmental Biology and Management*.
- Hull, V., Parrellab L., and Falcucci, M. 2008. Modelling dissolved oxygen dynamics in coastal lagoons. *Ecological Modelling* 468-480.
- James, P. 1998. Diel Cycles of Temperature and Dissolved Oxygen Stratification In Deep Rain-fed Ponds. University of Hawaii, Manoa, Hawaii, USA.
- Liengcharernsit, W., Thanh, N.C. and Suphat, V. 1980. Substance dispersion model by finite element technique with quadratic triangular element. *Environment Technol Letters* 1: 21-30.
- Liengcharernsit, W., Omori, Y., Araki, H. and Koga, K. 1995. Water Quality Optimization Model Using Finite Element Method with Linear and Non-Linear Programming.
- Lisa, E. S. 1999. Modeling oxygen mass transfer limitations during biosparging. Master of science in geological engineering, Michigan technological university.
- Mack, P. 2003. Dissolved oxygen and the three s' s. River Monitoring Program 1-12.
- Masters, M.G. 1991. Introduction of Environment Engineering and Science. Prentice-Hall International., Inc., USA.
- Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.
- Michael, E. L. 2006. Dissolved oxygen: molecular oxygen (oxygen gas) dissolved in water. Dissolved Oxygen, Version 2.1.

- Michael, K. 2003. Fundamentals of Chemical Reactor Theory. Civil & Environmental Engineering Department.
- Mills, W.B., Porcella, D.B., Unga, M.J., Gherini, S.A. and Summers, K.V. 1985. Water Quality Assessment: A Screening Procedure for Toxic and Conventional Pollutants. Environmental Research.
- Mwegoha, W. J. S., Kaseva, M. E. and Sabai, S. M. M. 2010. Mathematical Modeling of Dissolved Oxygen in Fish Ponds. *Int. J. Environ. Res* 5(2): 307-320.
- National Environment Board. 1976. Reliability for Environment Planning A Case of The Mae Klong River. Final Rep 192.
- Paul, M. 2003. Dissolved Oxygen and The Three S's. Sierra Club / RPG River monitoring program December 1.
- Pinto, U., Maheshwari, B., Shrestha, S. and Morris, C. 2012. Modelling Eutrophication and Microbial Risks in Peri-urban River Systems using Discriminant Function Analysis. *Water Research*, doi: 10.1016/j.watres.2012.09.025.
- Rajat, R., Jose, A. H., Raymond, M. and Makam, S. 1997. Dissolved oxygen modeling of the blackstone river (Northeastern United States). *Water research* 32(8): 2400-2412.
- Ritesh, P. 2007. Modelling of Eutrophication in Roxo Reservoir, Alentejo, Portugal -A System Dynamic Based Approach. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- Roberto, D. A., Margherita, F., Vincent, H. and Luisa, P. 2004. Short time dissolved oxygen dynamics in shallow water ecosystems. *Ecological Modelling* 179: 297-306.
- Steven, D. C. and Raul, H. P. 1996. Aquaculture pond ecosystem model: temperature and dissolved oxygen prediction-mechanism and application. *Ecological Modelling* 89: 231-258.
- Susanne, W., Sally, H., Kerry, W. and Darren, B. 2010. Understanding the relationship between low dissolved oxygen blackwater events and managed flows in the Edward-Wakool river system. The Murray-Darling Freshwater Research Centre PO Box 991. Wodonga Vic 3689.

- Tanirala, A.K., Teegaravapu, R.S.V. and Ormsbee, L. 2003. Modeling adaptive water quality management strategies using system dynamics simulation. *Environmental Information Achieves* 1: 245-253.
- Tischler, L.F., Bradley, R.M., Park, S.J. and Rhee, D.G. 1985. Water quality modeling of the Lower Han River. *Water Science and Technology* 17: 44-51.
- Vassilis, Z. A. and Sultana, K. G. 2003. Simulation of water temperature and dissolved oxygen distribution in Lake Vegoritis, Greece. *Ecological Modelling* 160: 39-53.
- Viessman, W., Lewis, G.L. and Knapp, J.W. 1989. *Introduction to Hydrology*. 3rd ed. Harper Row, New York.
- Vincent, H., Luisa, P. and Margherita, F. 2008. Modelling dissolved oxygen dynamics in coastal lagoons. *Ecological modelling* 211: 468–480.
- Whitehead, J. 1981. A System Modeling of Streamflow and Water Quality in the Bedford Ouse River System-II. *Water Res* 15: 1157-1171.
- Wijarn, S. 2004. Climate change Impacts on water environment: Thailand's preliminary study. Deputy Director General, Pollution Control Department Ministry of Natural Resources and Environment Thailand.
- Wu and Ahleart. 1970. Application of Steady-state, One-dimensional Water Quality Model. *Water Resource Bulletin* 15: 660-670.
- University of Georgia Cooperative Extension Circular. 2010. Understanding Laboratory Wastewater Tests: I. ORGANICS (BOD, COD, TOC, O&G). Colleges of Agricultural and Environmental Sciences & Family and Consumer Sciences.
- Yannie, A. B. 2006. Effect of raw water quality on coagulant dosage and optimum pH. Master of Engineering (Civil-Environmental Management), Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia.
- Yudianto, D. and Yuebo, X. 2008. The development of simple dissolved oxygen sag curve in lowland non-tidal river by using matlab. *Journal of applied sciences in environment sanitation* 3,no.3: 137-155.

**ภาคผนวก ก**  
**ข้อมูลคุณภาพน้ำ**

**ก.1 ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2552**

**ตารางภาคผนวกที่ ก.1 ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2552**

Sta.	Date	Time	Temp (°C)	pH (units)	DO (mg/L)	DOC (mg/L)	SS (mg/L)	Turbidity (NTU)	Nitrate (mg/L)
31-UTP-DS	16-Nov-52	9.35	26.56	7.89	7.31	4.251	38	75.0	0.017
32-UTP-CT	16-Nov-52	10.15	26.59	7.45	5.98	3.791	81	112.0	0.055
33-UTP-KH	16-Nov-52	10.00	26.93	6.85	2.52	5.068	80	108.0	0.098
34-UTP-CT	16-Nov-52	10.35	26.66	6.79	5.81	3.600	79	126.0	0.718
35-UTP-CT	16-Nov-52	10.50	26.66	6.97	5.97	3.658	73	127.0	0.755
36-UTP-CT	16-Nov-52	11.00	26.72	7.08	6.16	3.722	91	148.0	0.227
37-UTP-US	16-Nov-52	11.20	26.69	7.11	6.29	3.916	136	190.0	0.683
38-UTP-US	16-Nov-52	12.50	27.02	7.71	6.04	3.286	48	110.0	0.790
39-UTP-US	16-Nov-52	13.20	26.05	7.01	5.62	3.418	46	107.0	0.677
40-UTP-RS	16-Nov-52	15.00	25.99	7.12	7.02	1.529	1	18.2	0.610

ก.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนมกราคม พ.ศ. 2553

ตารางภาคผนวกที่ ก.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนมกราคม พ.ศ. 2553

Sta.	Date	Time	Temp (°C)	pH (units)	DO (mg/L)	DOC (mg/L)	SS (mg/L)	Turbidity (NTU)	Nitrate (mg/L)
31-UTP-DS	13-Jan-53	9.38	27.70	6.87	4.21	5.218	23	49.4	0.119
32-UTP-CT	13-Jan-53	10.08	27.40	6.58	4.49	5.175	27	45.7	0.067
33-UTP-KH	13-Jan-53	9.52	29.25	6.95	2.82	8.083	23	16.6	0.009
34-UTP-CT	13-Jan-53	10.26	27.46	6.50	4.02	5.09	27	44.2	1.223
35-UTP-CT	13-Jan-53	10.50	27.67	6.80	4.03	5.567	19	41.1	1.148
36-UTP-CT	13-Jan-53	11.07	27.51	6.62	5.27	4.975	24	41.4	0.028
37-UTP-US	13-Jan-53	11.30	27.29	6.53	4.30	4.672	43	49.4	1.146
38-UTP-US	13-Jan-53	13.09	27.07	6.63	4.44	3.661	36	38.6	1.110
39-UTP-US	13-Jan-53	15.26	27.05	7.08	4.08	4.029	35	37.9	1.118
40-UTP-RS	13-Jan-53	14.47	27.59	7.52	5.08	2.176	1	12.0	1.330

ก.3 ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนมีนาคม พ.ศ. 2553

ตารางภาคผนวกที่ ก.3 ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนมีนาคม พ.ศ. 2553

Sta.	Date	Time	Temp (°C)	pH (units)	DO (mg/L)	DOC (mg/L)	SS (mg/L)	Turbidity (NTU)	Nitrate (mg/L)
31-UTP-DS	3-Mar-53	10.11	30.75	7.48	1.97	-	11	10.3	2.896
32-UTP-CT	3-Mar-53	10.38	30.64	6.95	1.71	-	10	14.1	3.082
33-UTP-KH	3-Mar-53	10.27	31.15	7.31	1.45	-	30	21.7	0.086
34-UTP-CT	3-Mar-53	10.51	30.84	7.10	2.12	-	19	21.3	2.031
35-UTP-CT	3-Mar-53	11.08	30.93	7.04	2.26	-	18	21.0	2.753
36-UTP-CT	3-Mar-53	11.20	30.27	7.22	2.20	-	18	31.9	2.501
37-UTP-US	3-Mar-53	11.37	29.89	7.04	2.08	-	30	28.6	1.866
38-UTP-US	3-Mar-53	13.16	29.88	7.23	2.79	-	30	28.1	1.941
39-UTP-US	3-Mar-53	13.33	29.33	6.98	2.46	-	26	25.0	1.725
40-UTP-RS	3-Mar-53	14.57	30.83	7.58	2.90	-	2	2.6	0.063

ก.4 ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนมกราคม พ.ศ. 2556

ตารางภาคผนวกที่ ก.4 ข้อมูลคุณภาพน้ำเดือนมกราคม พ.ศ. 2556

Sta.	Date	Time	Temp (°C)	pH (units)	DO (mg/L)	DOC (mg/L)	SS (mg/L)	Turbidity (NTU)	Nitrate (mg/L)
31-UTP-DS	23-Jan-56	9.3	28.80	-	4.33	2.5	6	10.5	2
32-UTP-CT	23-Jan-56	10.36	29.10	-	4.90	2.5	12	19.1	2.57
33-UTP-KH	23-Jan-56	11.02	29.20	-	5.20	2.4	15	19.0	2.45
34-UTP-CT	23-Jan-56	11.37	28.80	-	4.90	2.9	18	24.5	2.93
35-UTP-CT	23-Jan-56	12.05	29.50	-	5.10	2.8	22	32.0	2.910
36-UTP-CT	23-Jan-56	12.10	30.10	-	4.70	2.7	13	23.2	3.41
37-UTP-US	23-Jan-56	13.13	28.80	-	4.40	2.2	20	29.8	3.000
38-UTP-US	23-Jan-56	13.40	28.60	-	4.41	2.2	16	23.8	3.06
39-UTP-US	23-Jan-56	14.04	29.10	-	4.20	2.9	16	24.1	2
40-UTP-RS	23-Jan-56	15.04	28.80	-	5.20	2.1	3	3.5	0.05

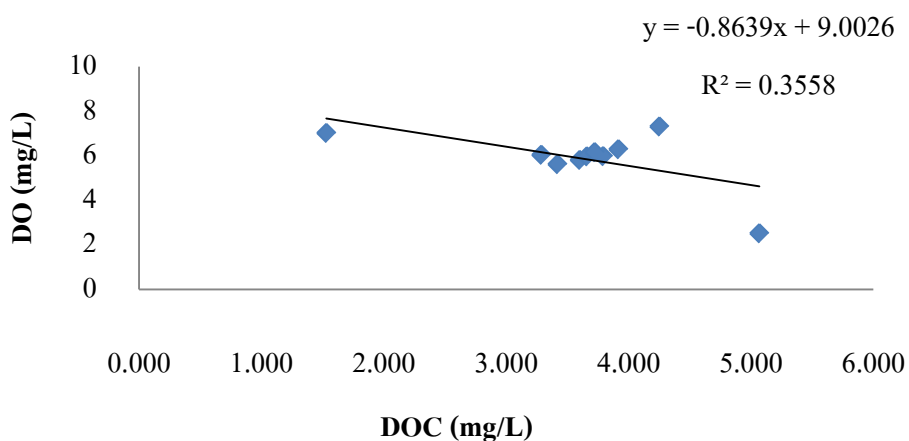


### ภาคผนวก ข

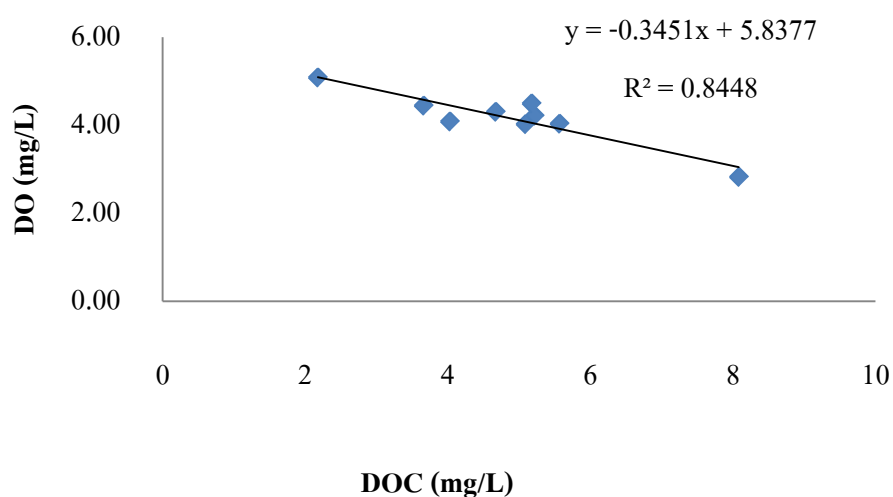
#### การคัดเลือกพารามิเตอร์และสมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ข.1 ค่าร้อยละของความผิดพลาด ( $R^2$ ) ของปัจจัยต่างๆ (x) ที่มีผลต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำ (y) โดยใช้โปรแกรม Microsoft office excel

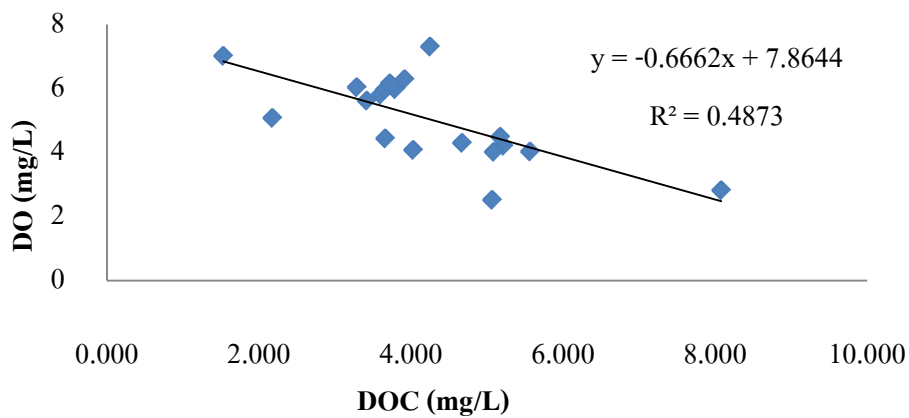
ข.1.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ DOC



ภาพภาคผนวกที่ ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ DOC ในเดือนพฤศจิกายน 2552

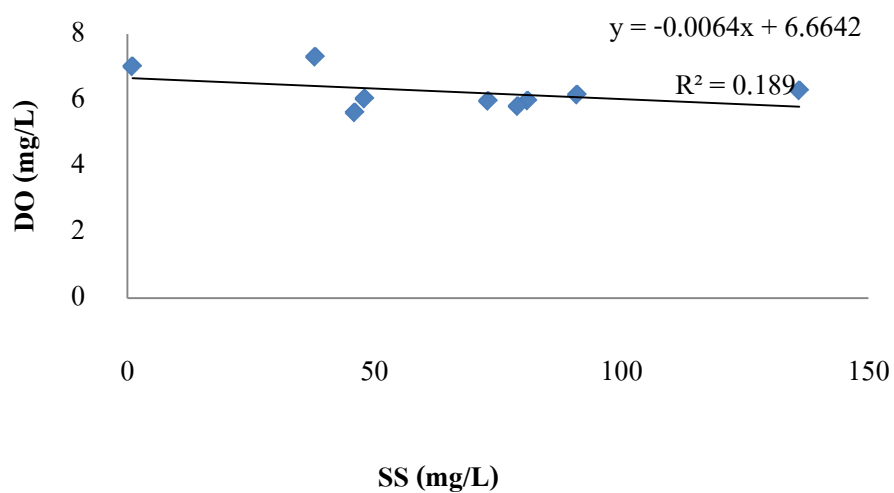


ภาพภาคผนวกที่ ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ DOC ในเดือนมกราคม 2553

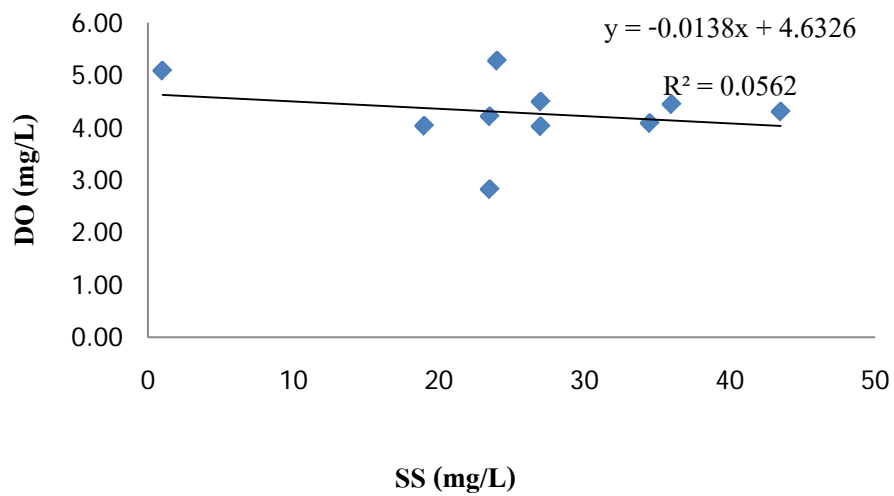


ภาพภาคผนวกที่ ข.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ DOC ในเดือน พฤศจิกายน 2552 และมกราคม 2553

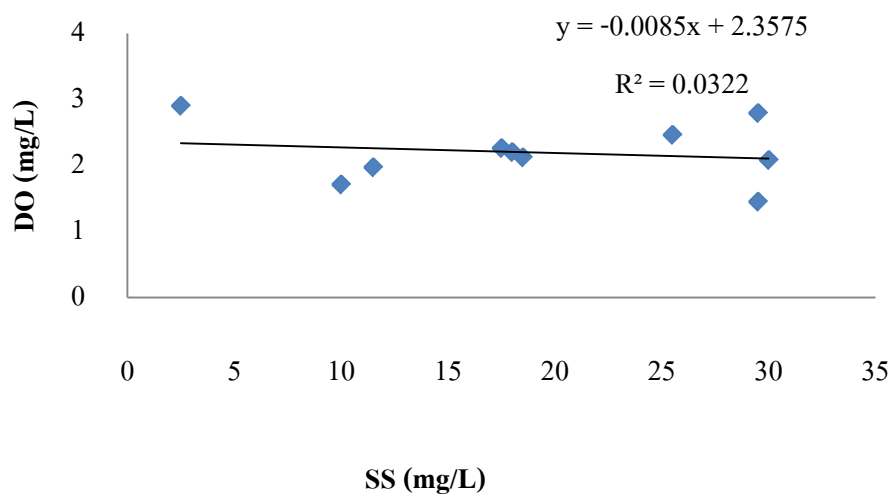
#### ข.1.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ SS



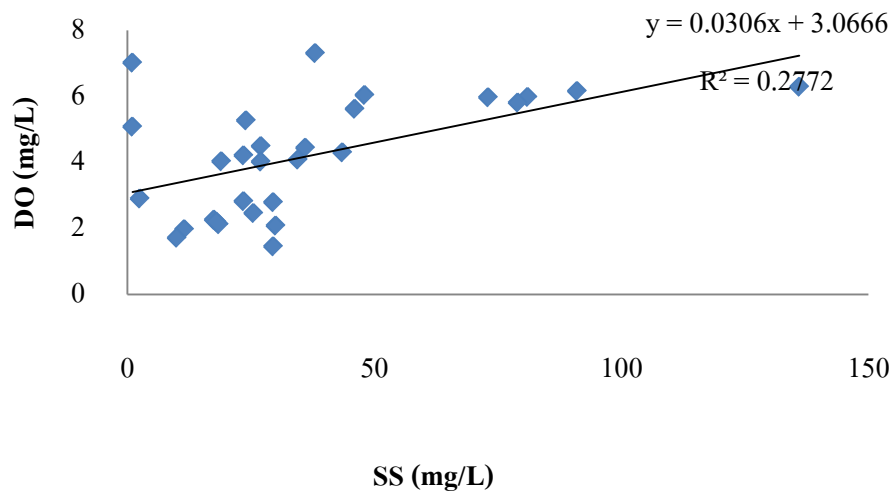
ภาพภาคผนวกที่ ข.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ SS ในเดือน พฤศจิกายน 2552



ภาพภาคผนวกที่ ข.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ SS ในเดือนมกราคม 2553

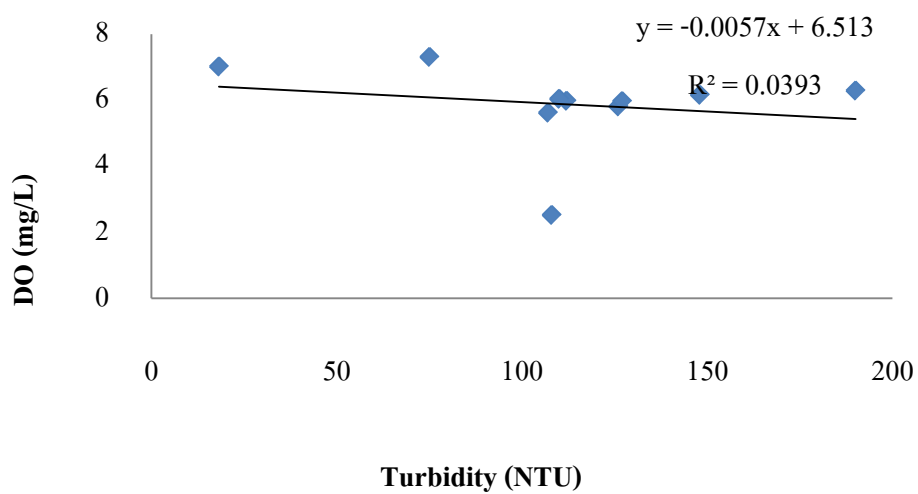


ภาพภาคผนวกที่ ข.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ SS ในเดือนมีนาคม 2553

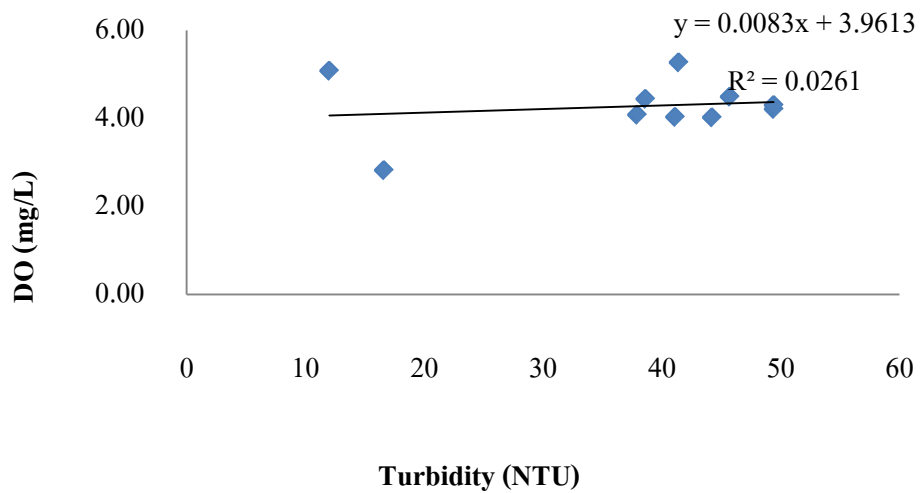


ภาพภาคผนวกที่ ข.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และมีนาคม 2553

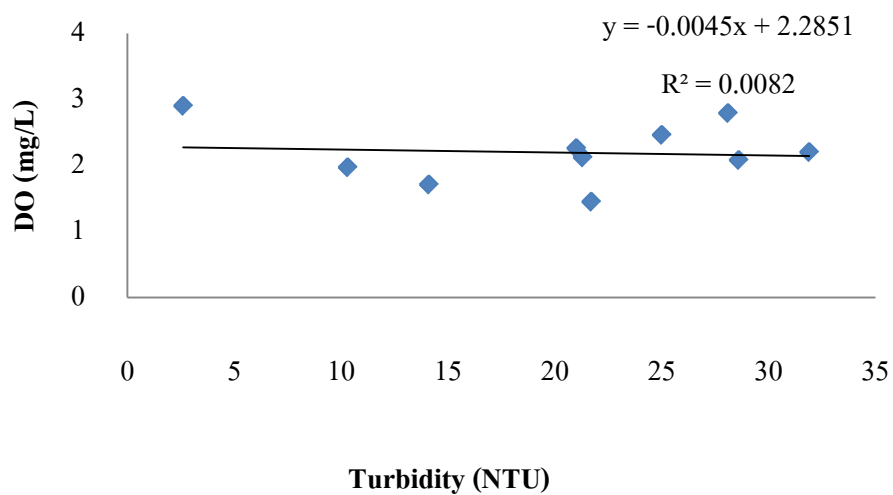
#### ข.1.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Turbidity



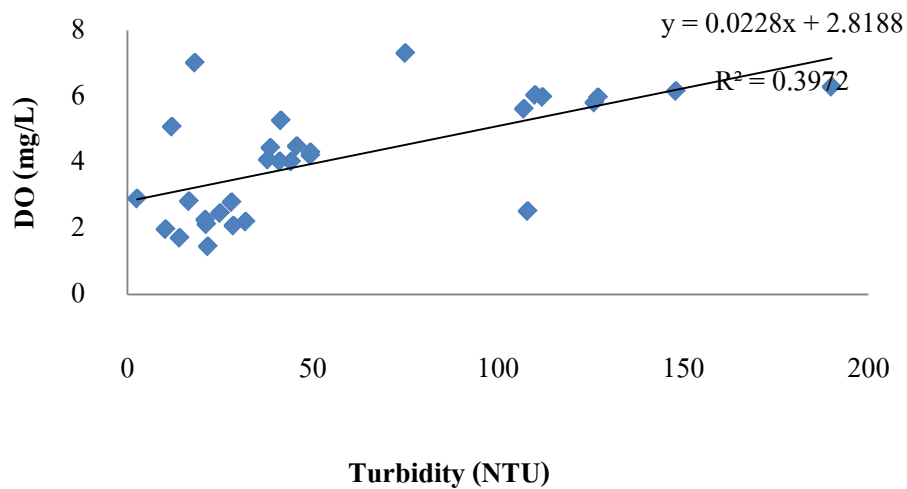
ภาพภาคผนวกที่ ข.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552



ภาพภาคผนวกที่ ข.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Turbidity ในเดือนมกราคม 2553

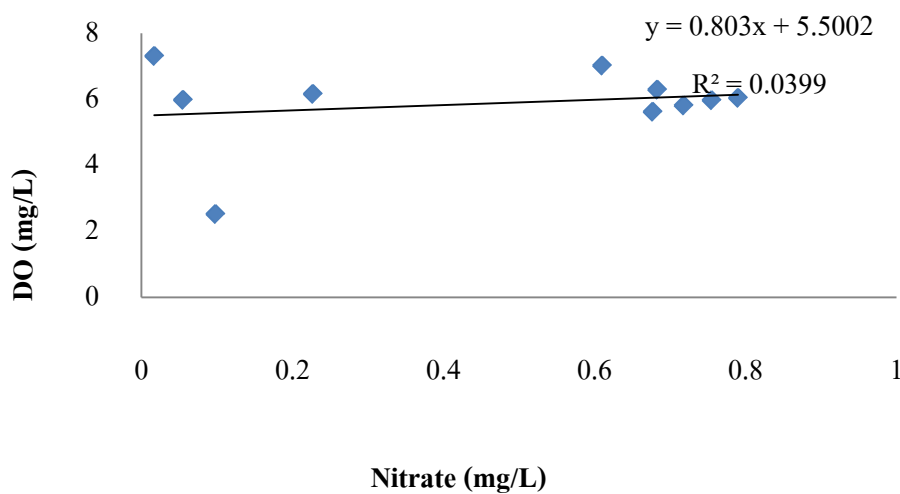


ภาพภาคผนวกที่ ข.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Turbidity ในเดือนมีนาคม 2553

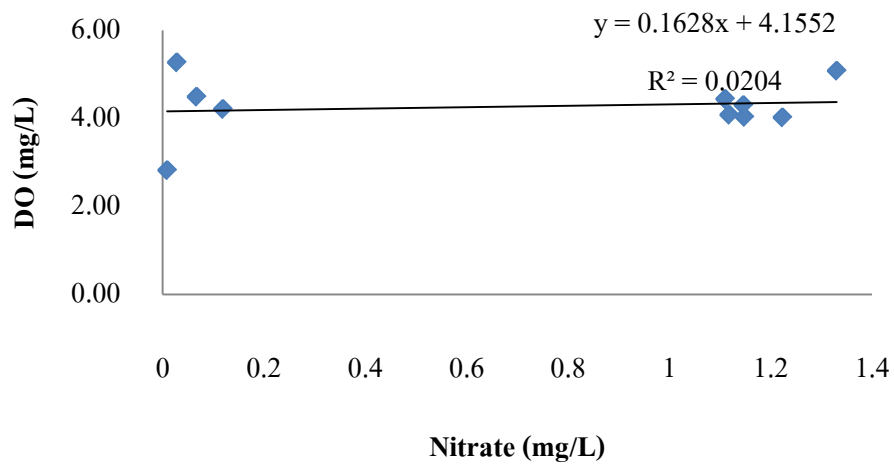


ภาพภาคผนวกที่ ข.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และมีนาคม 2553

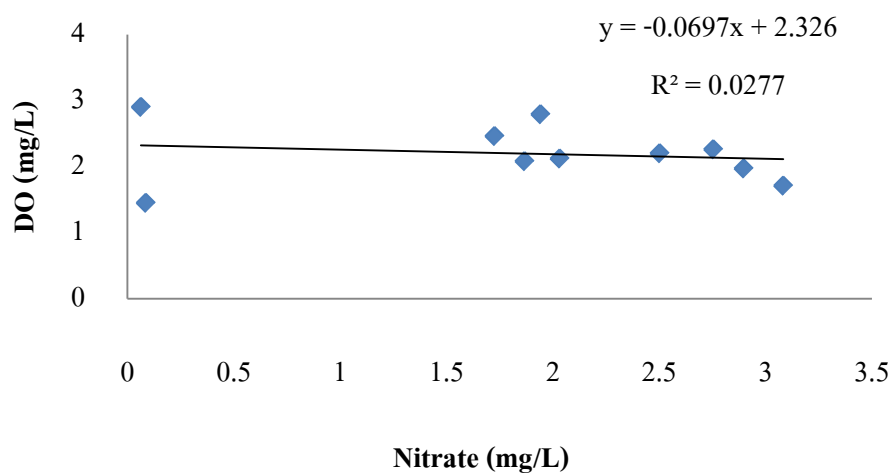
#### ข.1.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Nitrate



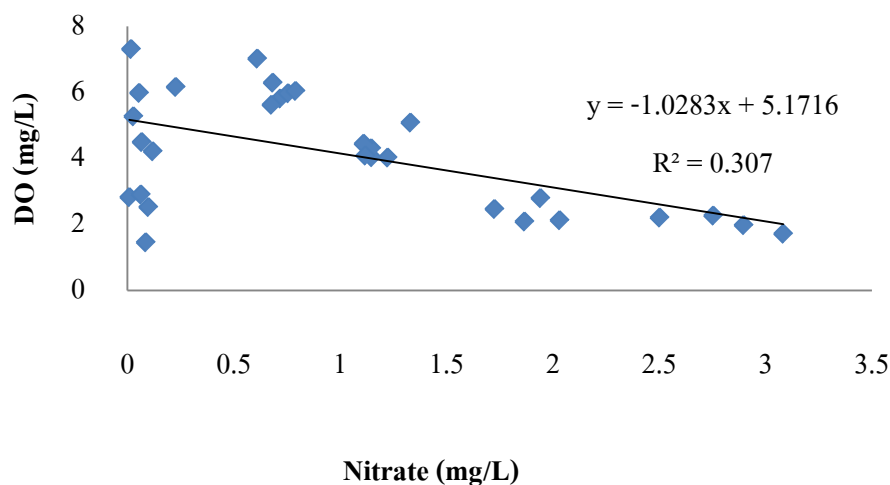
ภาพภาคผนวกที่ ข.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Nitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552



ภาพภาคผนวกที่ ข.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Nitrate ในเดือนมกราคม 2553



ภาพภาคผนวกที่ ข.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Nitrate ในเดือนมีนาคม 2553



ภาพภาคผนวกที่ ข.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับ Nitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552 มกราคม 2553 และมีนาคม 2553

ข.2 การใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับ DOC, Nitrate, SS และ Turbidity ซึ่งนำตัวแปรเข้าระบบสมการโดยใช้วิธี Forward

ตารางภาคผนวกที่ ข.1 ผลจากการนำตัวแปรเข้าระบบสมการโดยใช้โปรแกรม SPSS

#### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.688(a)	.473	.443	.964551	.473	16.138	1	18	.001
2	.772(b)	.595	.548	.869400	.123	5.156	1	17	.036
3	.843(c)	.711	.657	.757358	.116	6.402	1	16	.022
4	.934(d)	.873	.839	.518427	.162	19.147	1	15	.001

(a) Predictors: (Constant), DOC

(b) Predictors: (Constant), DOC, Nitrate

(c) Predictors: (Constant), DOC, Nitrate, SS

(d) Predictors: (Constant), DOC, Nitrate, SS, Turbidity



ทำให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจากมากไปหาน้อยตามลำดับได้ดังนี้ Dissolved organic carbon (DOC), Nitrate, Suspended solids (SS), และ Turbidity

ตารางภาคผนวกที่ ข.2 ผลจากการนำตัวแปรเข้าระบบสมการโดยใช้วิธี Forward

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	DOC	.	Forward (Criterion: Probability-of-F-to-enter <= .050)
2	Nitrate	.	Forward (Criterion: Probability-of-F-to-enter <= .050)
3	SS	.	Forward (Criterion: Probability-of-F-to-enter <= .050)
4	Turbidity	.	Forward (Criterion: Probability-of-F-to-enter <= .050)

A dependent variable: DO

**ข.3 ค่าที่ใช้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง DO กับ DOC และ Nitrate โดยใช้โปรแกรม Sigma plot**

**ข.3.1 กรณีที่ให้ SS และ Turbidity มีค่าต่ำสุด**

ตารางภาคผนวกที่ ข.3 ค่าที่ใช้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง DO กับ DOC และ Nitrate กรณีที่ให้ SS และ Turbidity มีค่าต่ำสุด

<b>DOC (mg/L)</b>	<b>SS (mg/L)</b>	<b>Turbidity (NTU)</b>	<b>Nitrate (mg/L)</b>	<b>DO simulated (mg/L)</b>
4.251	0	0	0.017	5.27
3.791	0	0	0.055	5.52
5.068	0	0	0.098	4.66
3.600	0	0	0.718	4.94
3.658	0	0	0.755	4.87
3.722	0	0	0.227	5.39
3.916	0	0	0.683	4.78
3.286	0	0	0.790	5.07
3.418	0	0	0.677	5.10
1.529	0	0	0.610	6.39

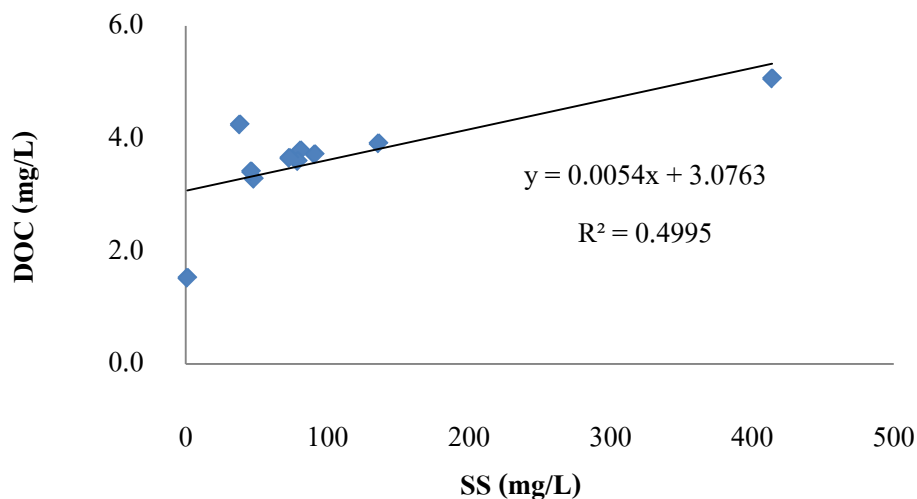
### ข.3.2 กรณีที่ให้ SS และ Turbidity มีค่าสูงสุด

ตารางภาคผนวกที่ ข.4 ค่าที่ใช้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง DO กับ DOC และ Nitrate กรณีที่ให้ SS และ Turbidity มีค่าสูงสุด

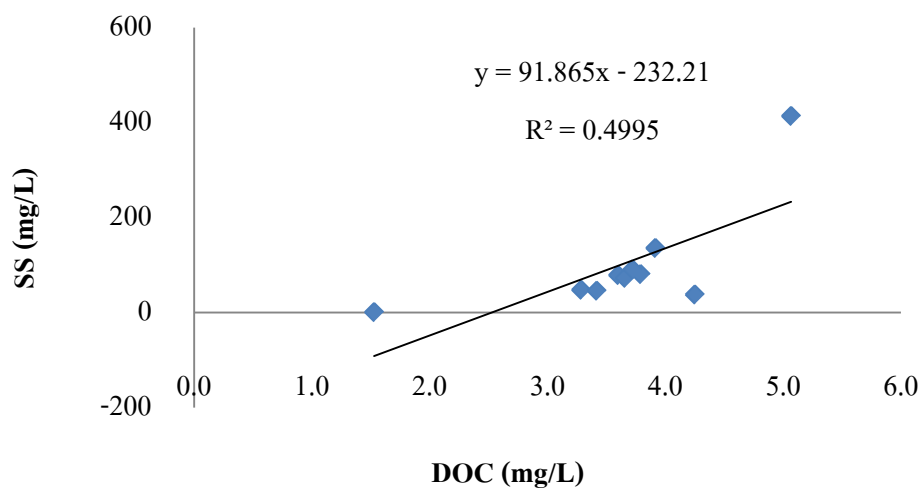
DOC (mg/L)	SS (mg/L)	Turbidity (NTU)	Nitrate (mg/L)	DO simulated (mg/L)
4.251	150	200	0.017	6.52
3.791	150	200	0.055	6.77
5.068	150	200	0.098	5.91
3.600	150	200	0.718	6.19
3.658	150	200	0.755	6.12
3.722	150	200	0.227	6.64
3.916	150	200	0.683	6.03
3.286	150	200	0.790	6.32
3.418	150	200	0.677	6.35
1.529	150	200	0.610	7.64

ข.4 ค่าร้อยละของความผิดพลาด ( $R^2$ ) และสมการความสัมพันธ์ของปัจจัย ยแต่ละตัวในเดือน พฤศจิกายน มกราคม และมีนาคม

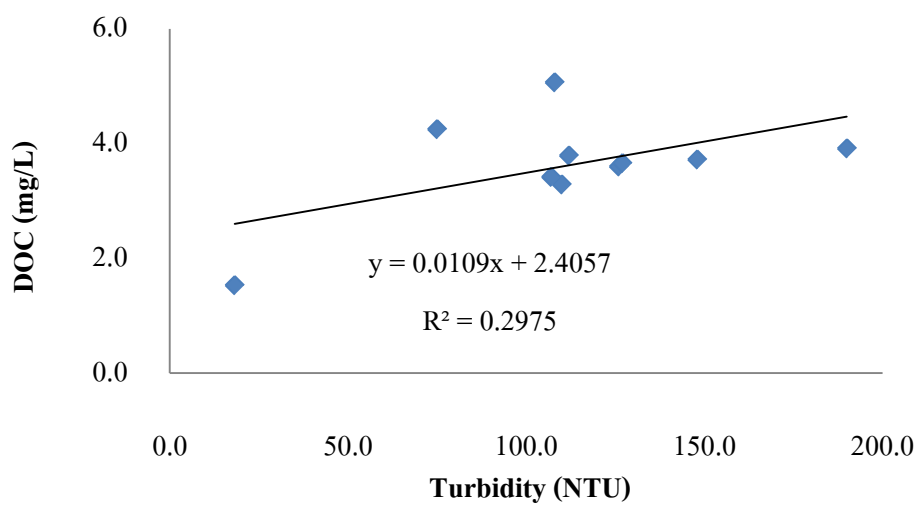
ข.4.1 ค่าร้อยละของความผิดพลาด ( $R^2$ ) และสมการความสัมพันธ์ของปัจจัย ยแต่ละตัวในเดือน พฤศจิกายน



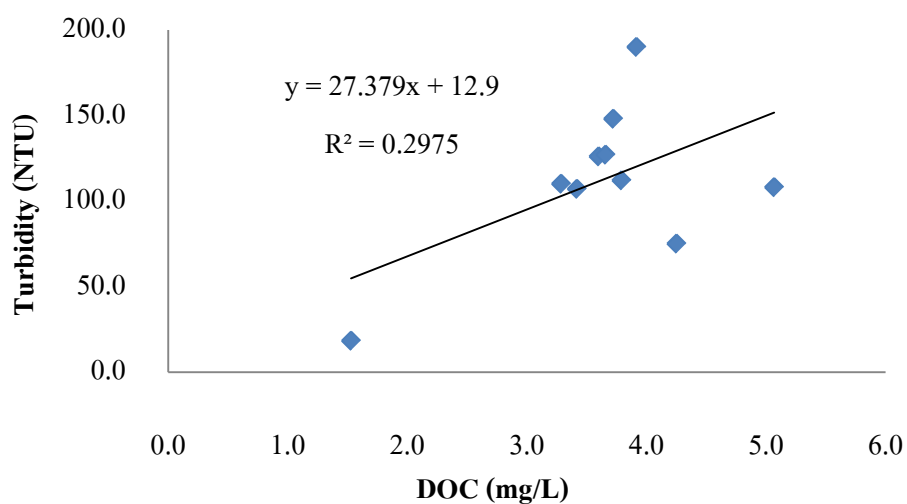
ภาพภาคผนวกที่ ข.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552



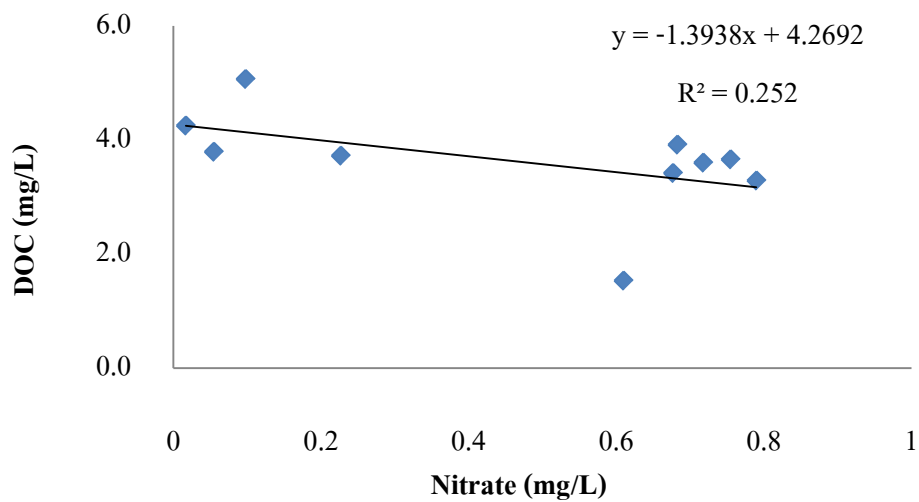
ภาพภาคผนวกที่ ข.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552



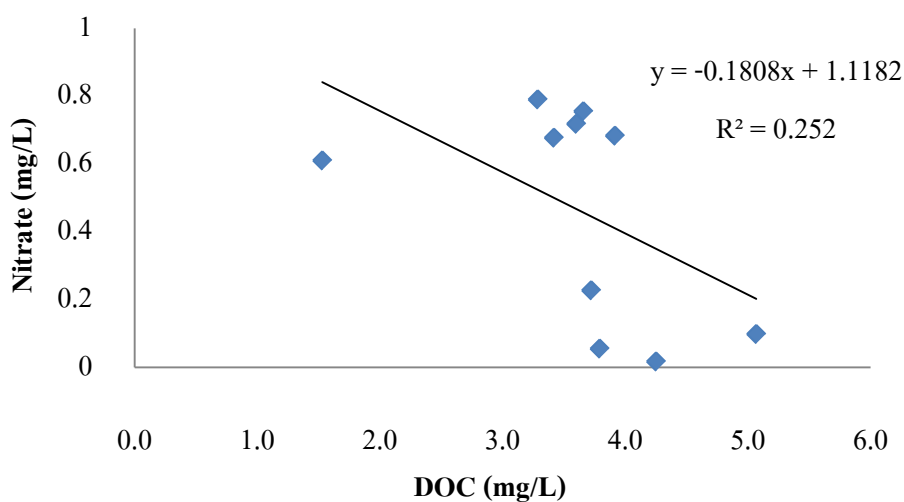
ภาพภาคผนวกที่ ข.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552



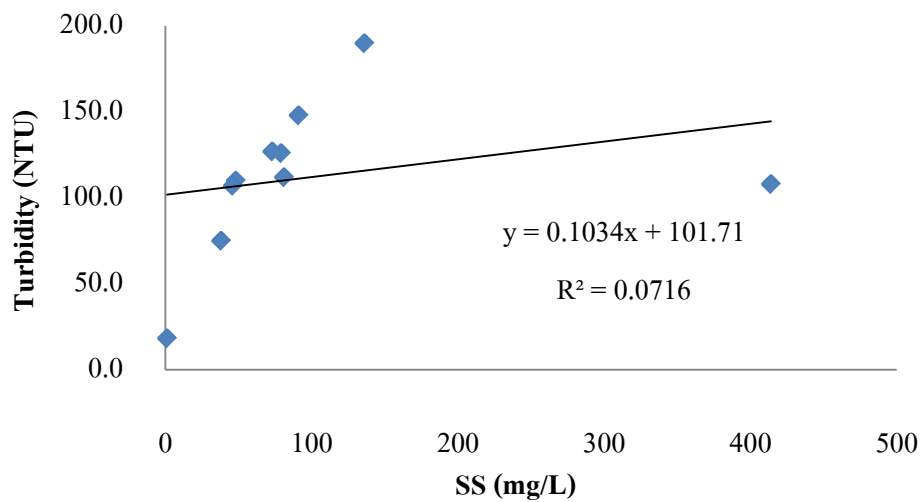
ภาพภาคผนวกที่ ข.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552



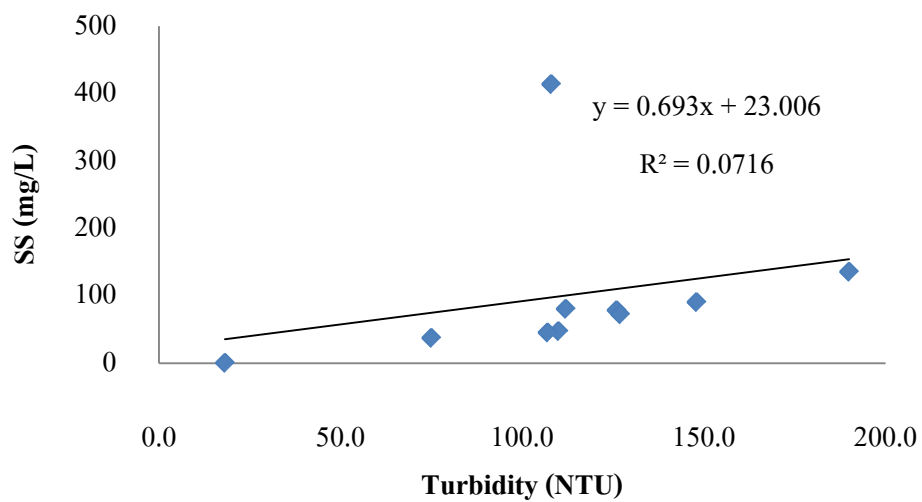
ภาพภาคผนวกที่ ข.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Nitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552



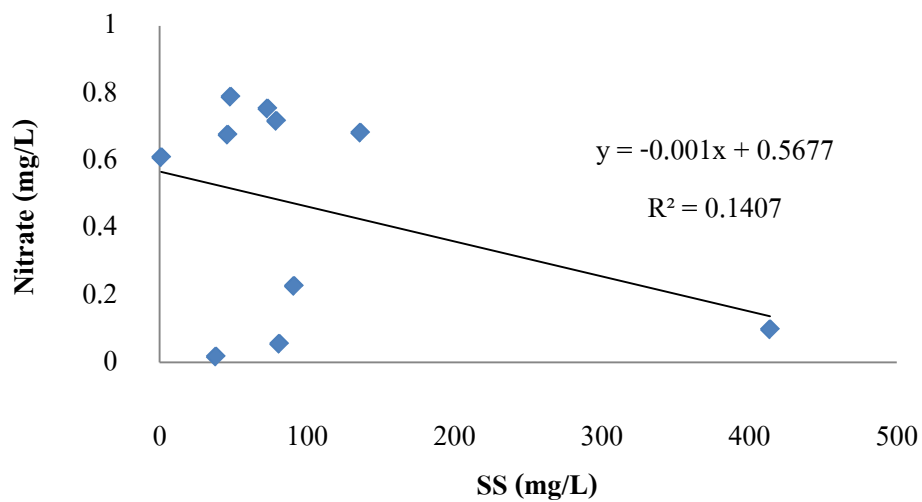
ภาพภาคผนวกที่ ข.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Nitrate ในเดือนพฤศจิกายน 2552



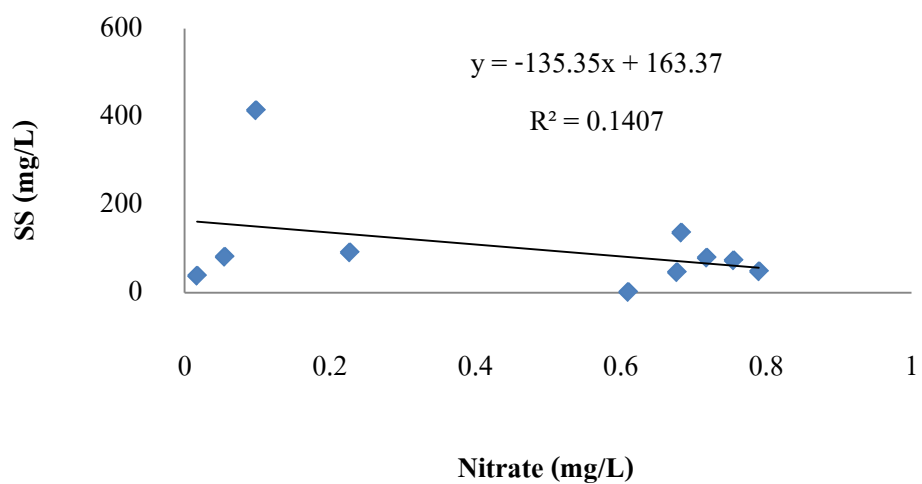
ภาพภาคผนวกที่ ข.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SSในเดือนพฤศจิกายน 2552



ภาพภาคผนวกที่ ข.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SSในเดือนพฤศจิกายน 2552

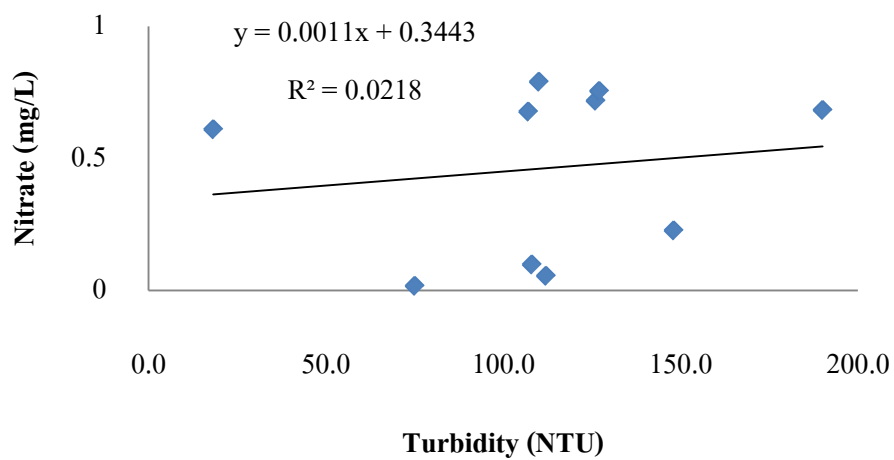


ภาพภาคผนวกที่ ข.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552

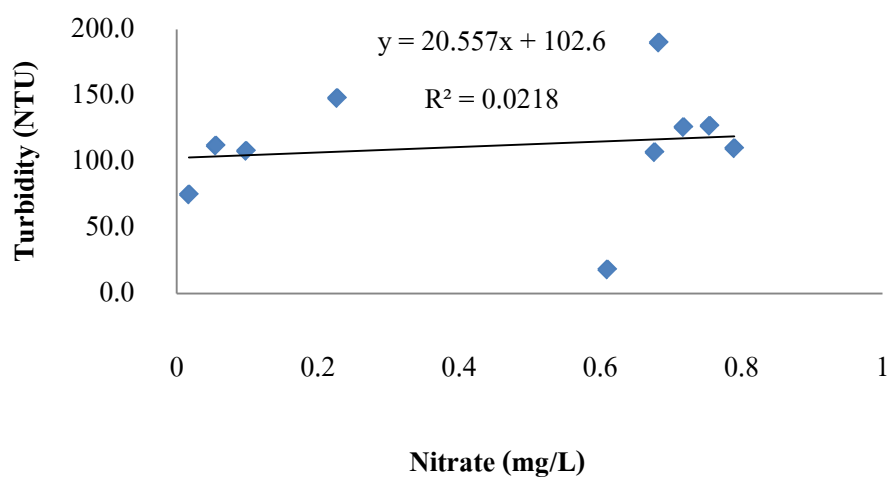


ภาพภาคผนวกที่ ข.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนพฤศจิกายน 2552



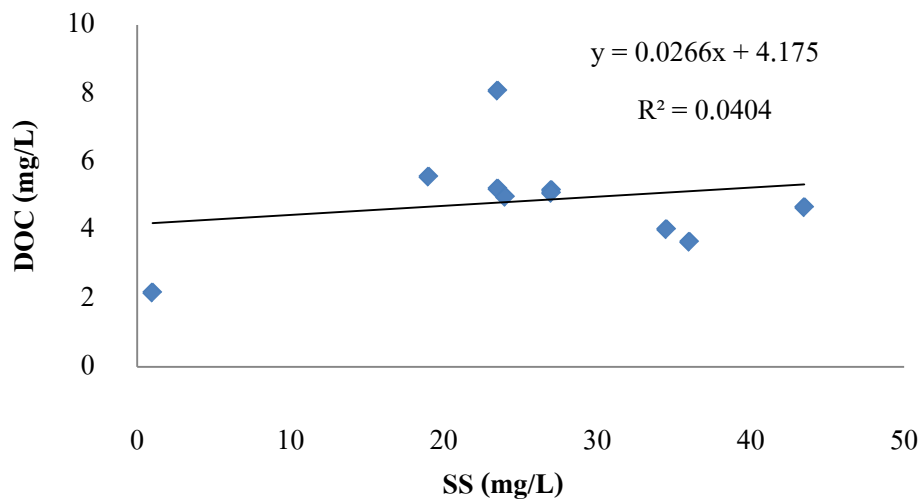


ภาพภาคผนวกที่ ข.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552

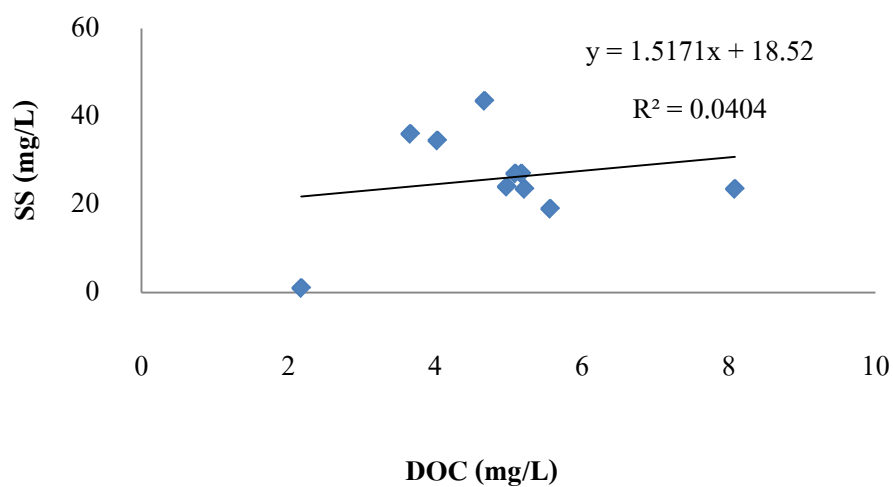


ภาพภาคผนวกที่ ข.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนพฤศจิกายน 2552

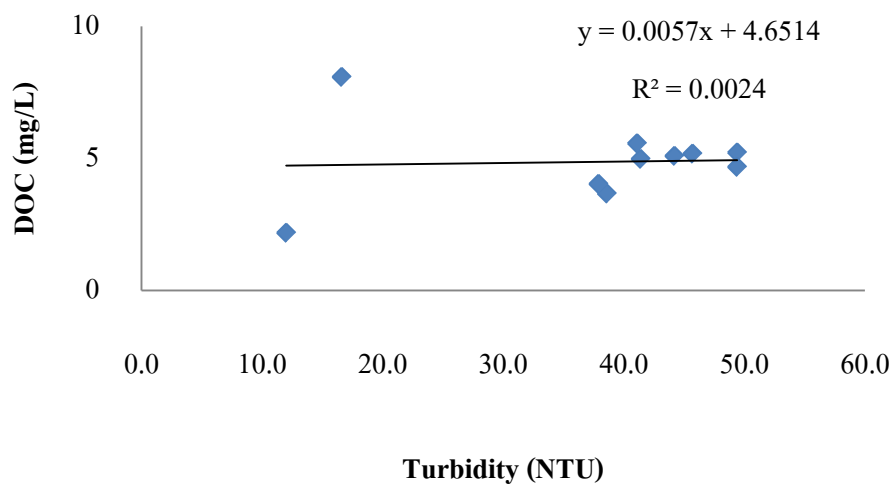
ข.4.2 ค่าร้อยละของความผิดพลาด ( $R^2$ ) และสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละตัวในเดือนมกราคม



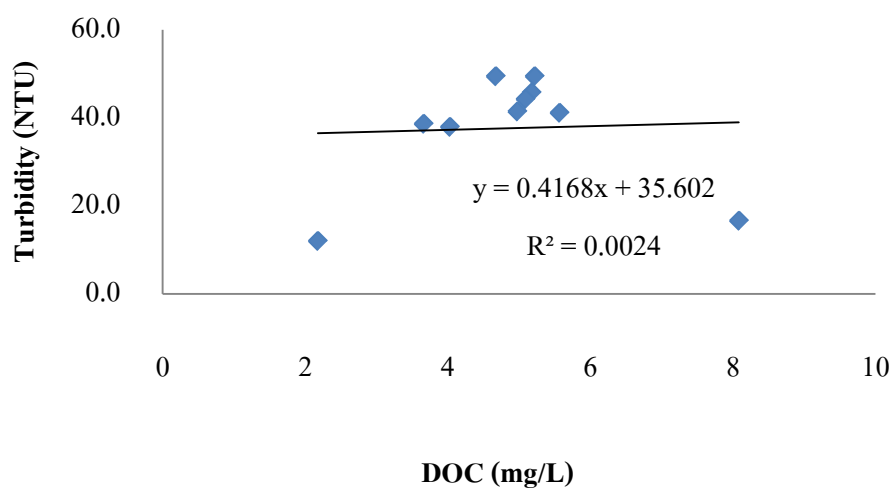
ภาพภาคผนวกที่ ข.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ SS ในเดือนมกราคม 2553



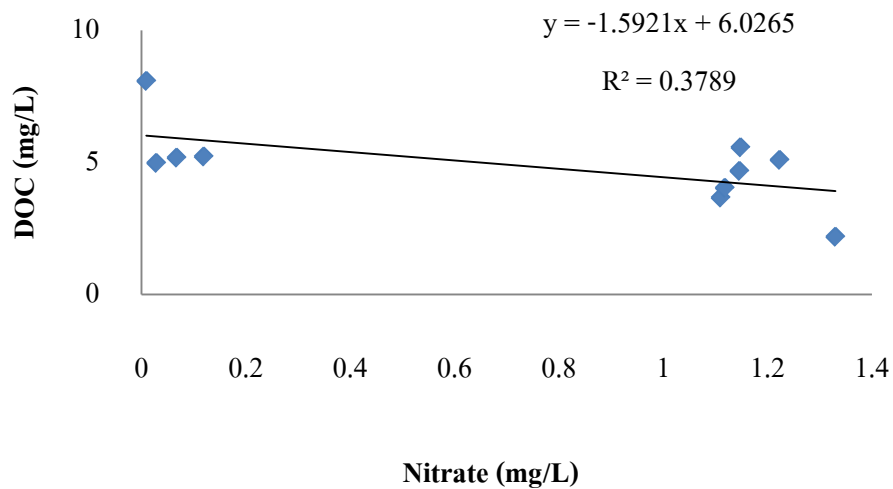
ภาพภาคผนวกที่ ข.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ SS ในเดือนมกราคม 2553



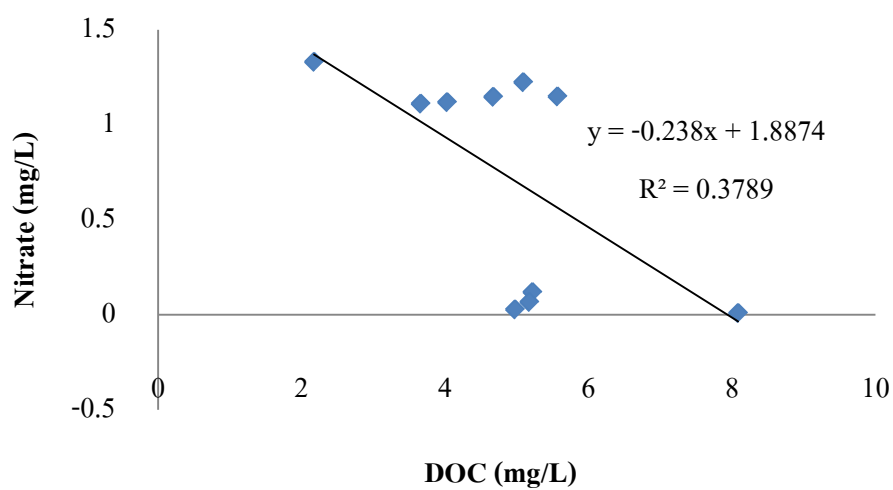
ภาพภาคผนวกที่ ข.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Turbidity ในเดือนมกราคม 2553



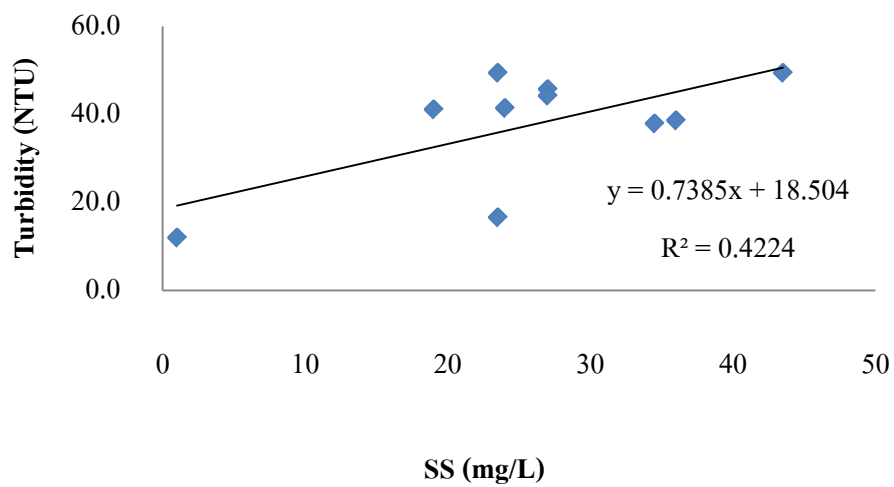
ภาพภาคผนวกที่ ข.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Turbidity ในเดือนมกราคม 2553



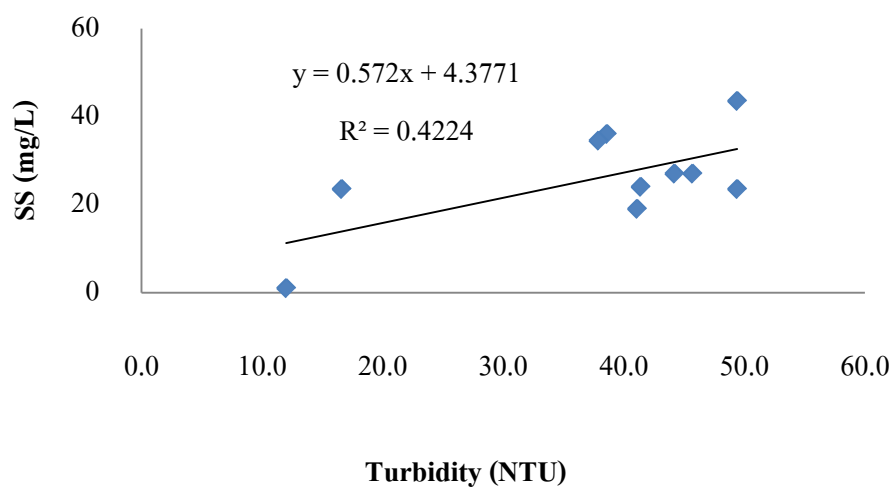
ภาพภาคผนวกที่ ข.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Nitrate ในเดือนมกราคม 2553



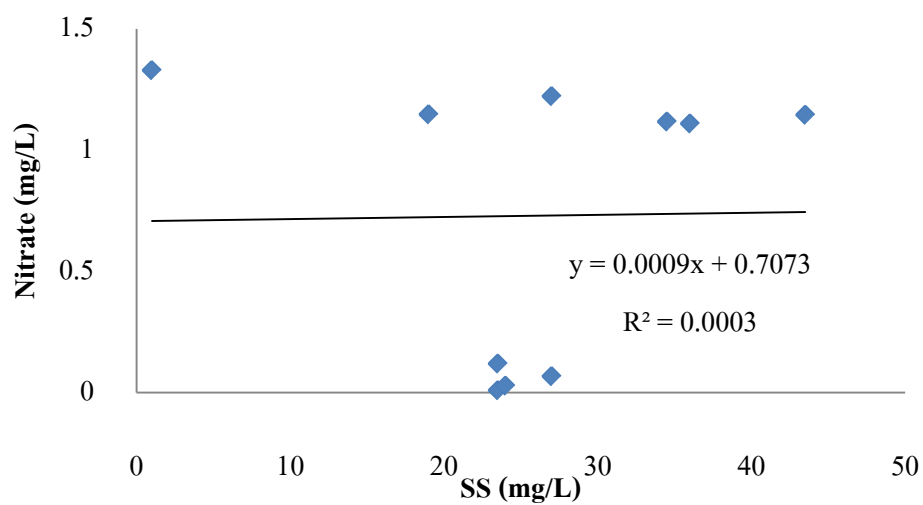
ภาพภาคผนวกที่ ข.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC กับ Nitrate ในเดือนมกราคม 2553



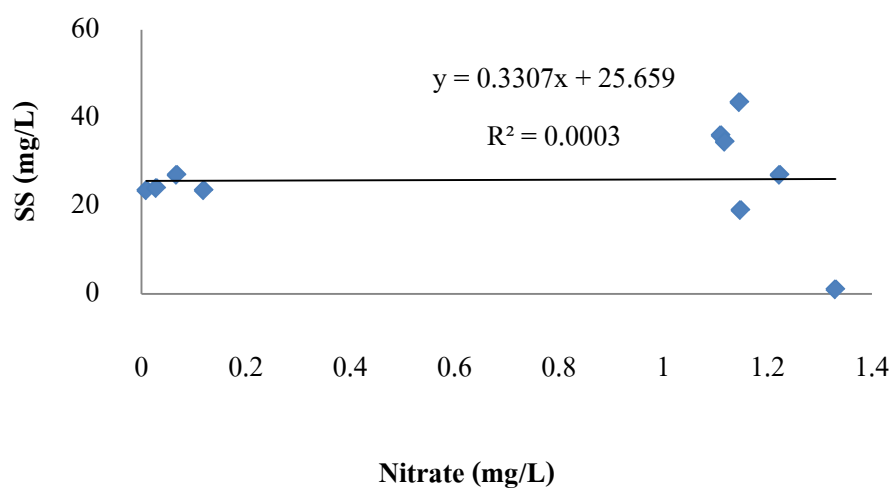
ภาพภาคผนวกที่ ข.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SS ในเดือนมกราคม 2553



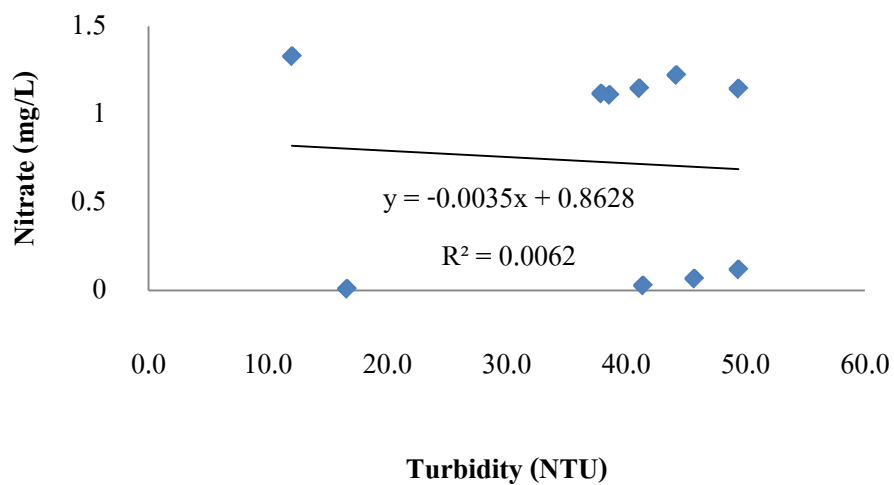
ภาพภาคผนวกที่ ข.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SS ในเดือนมกราคม 2553



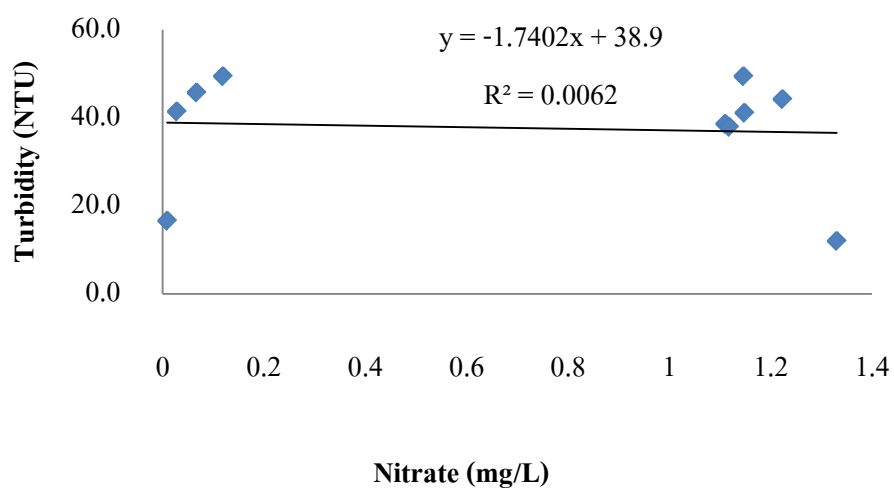
ภาพภาคผนวกที่ ข.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนมกราคม 2553



ภาพภาคผนวกที่ ข.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนมกราคม 2553

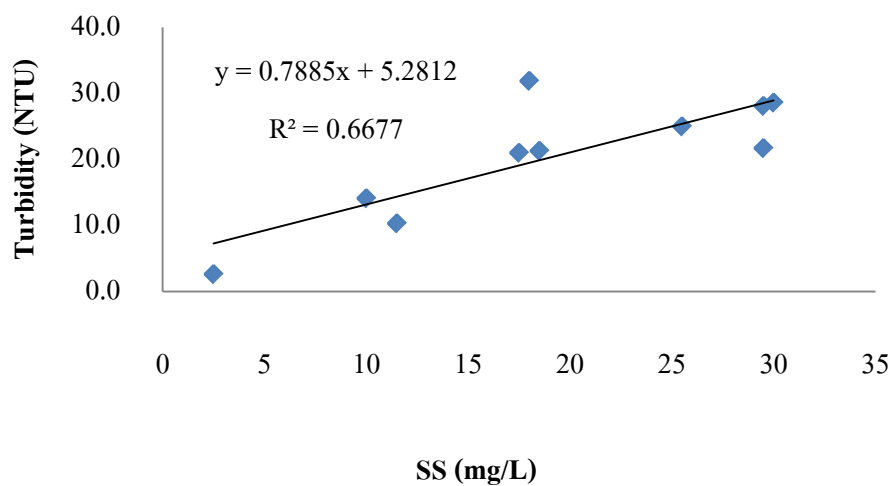


ภาพภาคผนวกที่ ข.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนมกราคม 2553

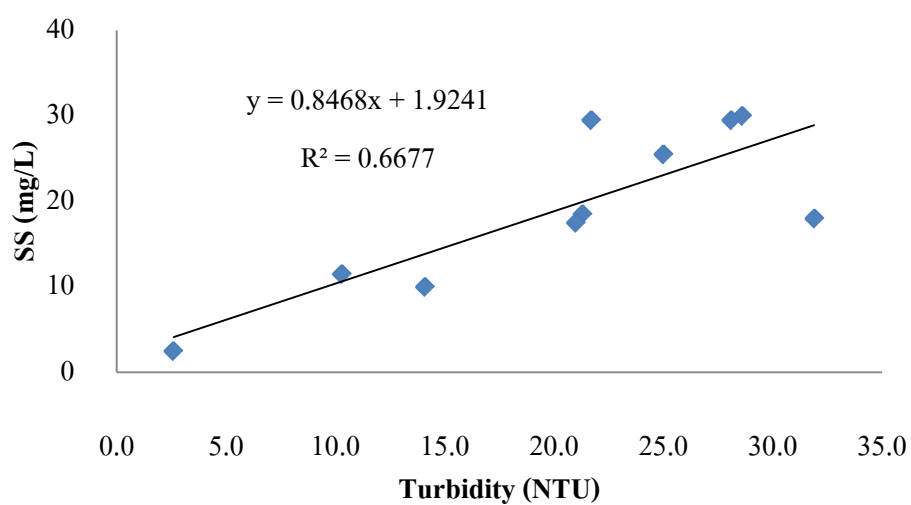


ภาพภาคผนวกที่ ข.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนมกราคม 2553

ข.4.3 ค่าร้อยละของความผิดพลาด ( $R^2$ ) และสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละตัวในเดือนมีนาคม

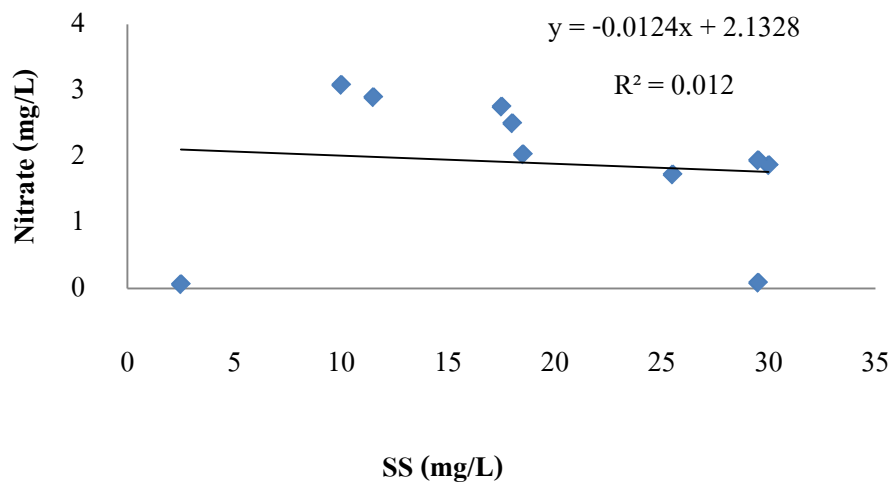


ภาพภาคผนวกที่ ข.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SS ในเดือนมีนาคม 2553

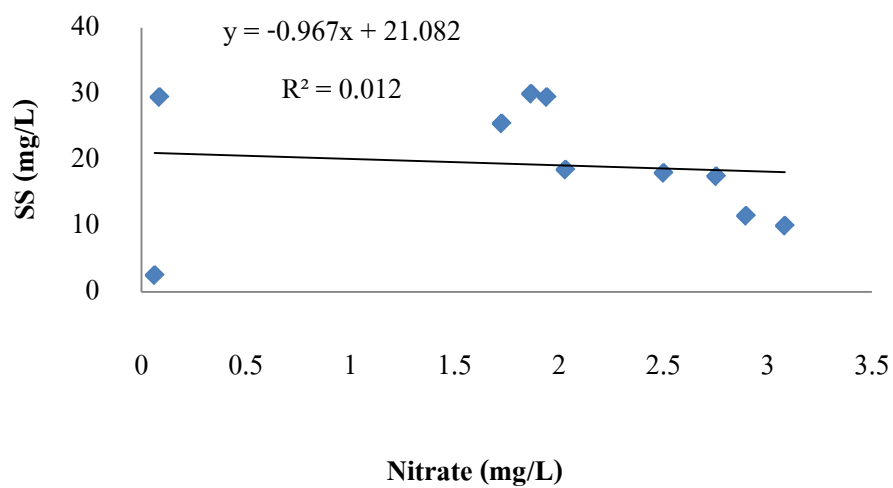


ภาพภาคผนวกที่ ข.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity กับ SS ในเดือนมีนาคม 2553

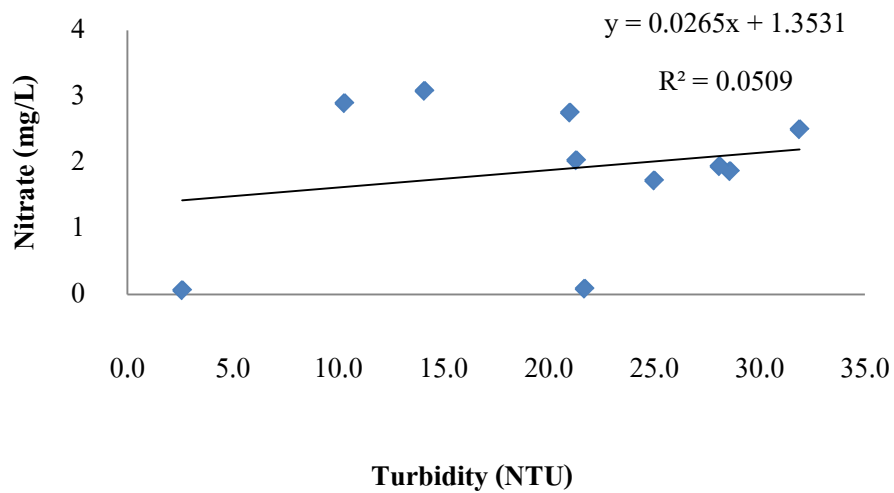




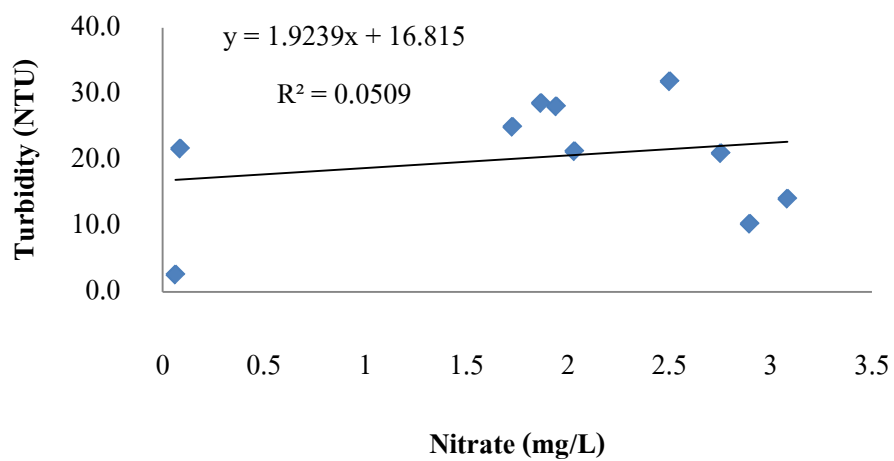
ภาพภาคผนวกที่ ข.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนมีนาคม 2553



ภาพภาคผนวกที่ ข.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ SS ในเดือนมีนาคม 2553



ภาพภาคผนวกที่ ข.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนมีนาคม 2553



ภาพภาคผนวกที่ ข.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nitrate กับ Turbidity ในเดือนมีนาคม 2553

**ภาคผนวก ค**  
**การประยุกต์ใช้แบบจำลอง**

ตารางภาคผนวก ที่ ค.1 ค่าที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานของการประมาณค่าจากความสัมพันธ์ของ DO DOC และ Nitrate ในแหล่งน้ำ

X \ Y	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1
3	6.59	6.38	6.17	5.96	5.75	5.53
4	5.95	5.74	5.53	5.32	5.11	4.89
5	5.31	5.10	4.89	4.68	4.46	4.25
6	4.67	4.46	4.25	4.03	3.82	3.61
7	4.03	3.82	3.61	3.39	3.18	2.97
8	3.39	3.18	2.96	2.75	2.54	2.33

หมายเหตุ: X คือ DOC (mg/L)

Y คือ Nitrate (mg/L)

