

การศึกษาการพยากรณ์ความเค็มในน้ำบาดาลโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์  
ทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ

A STUDY OF GROUNDWATER SALINITY PREDICTION BY DIFFERENT  
ANALYTICAL METHODS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-167-128

การศึกษาการพยากรณ์ความเค็มในน้ำบาดาลโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์  
ทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ

A STUDY OF GROUNDWATER SALINITY PREDICTION BY DIFFERENT  
ANALYTICAL METHODS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-167-128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF GROUNDWATER SALINITY PREDICTION BY DIFFERENT  
ANALYTICAL METHODS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ENVIRONMENTAL AND ENERGY ENGINEERING  
FOR SUSTAINABILITY  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-EN-M-167-128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการพยากรณ์ความเค็มในน้ำบาดาลโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ  
Thesis Title A Study of Groundwater Salinity Prediction by Different Analytical Methods  
นักศึกษา นายพิรพัฒน์ อภิพันธ์  
รหัสประจำตัว 59601226  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อุมา สีนุญเรือง  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-167-128

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สายสุนีย์	พุทธาคุณเจริญ	
ผศ.ดร.ชลิดา	อู่ตะเภา	
ผศ.ดร.ภาสกร	พันธ์ทองทิพย์	
ดร.ชดชนก	อัทธมพงศ์	
รศ.ดร.อุมา	สินุญเรือง	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 14.00-16.00 น.  
สถานที่สอบ ณ ห้อง HM-301 อาคารเฉลิมพระเกียรติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น **ฉบับตีพิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์** ขึ้นดำเนินการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงวันที่ **9 กรกฎาคม พ.ศ. 2561** นี้ไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการพยากรณ์ความเค็มในน้ำบาดาลโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ
นักศึกษา	นายพิรพัฒน์ อภิพันธ์
รหัสประจำตัว	59601226
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อุมา สีบุญเรือง

### บทคัดย่อ

ความเค็มในน้ำบาดาลเป็นปัญหาที่สำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยความเค็มในน้ำบาดาลสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการชลประทาน ในการศึกษาครั้งนี้ ตัวแปรที่สนใจคือค่าการนำไฟฟ้าเพราะค่าการนำไฟฟ้าเป็นดัชนีที่ใช้บ่งบอกความเค็มในน้ำที่สะดวกที่สุดสำหรับการตรวจวัดในภาคสนาม ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ความเค็มของน้ำบาดาลและวิธีการพยากรณ์ในรูปแบบต่าง ๆ 5 วิธี ประกอบด้วย การวิเคราะห์สมการถดถอยที่ผู้วิจัยประยุกต์ขึ้นมา การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นพหุและเทคนิคการปรับให้เรียบ 3 วิธีได้แก่ การเคลื่อนที่แบบง่าย วิธีแบบโฮลท์ และวิธีแบบวินเตอร์ โดยใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประตูละบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝน ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 จนถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2555 ตัวแปรที่สนใจในการศึกษาครั้งนี้เป็นค่าความเค็มในน้ำบาดาล ณ บ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาล 3 บ่อ ที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดในพื้นที่ที่ทำการศึกษา จุดประสงค์เพื่อหาวิธีการสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด การเปรียบเทียบแบบจำลองอาศัยค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า แบบจำลองจากวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นพหุมีค่า MAPE อยู่ที่ 2.39%, 1.75% และ 14.21% จากวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบประยุกต์มีค่า MAPE อยู่ที่ 4.77%, 6.67% และ 10.32% จากวิธีการเคลื่อนที่แบบง่ายมีค่า MAPE อยู่ที่ 14.04%, 10.91% และ 48.47% จากวิธีแบบโฮลท์มีค่า MAPE อยู่ที่ 14.37%, 19.86% และ 66.25% ตามลำดับ จากวิธีแบบวินเตอร์มีค่า MAPE อยู่ที่ 27.90%, 35.50% และ 28.25% ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่าแบบจำลองการพยากรณ์จากวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบประยุกต์สามารถนำมาใช้ในการทำนายเทียบเท่ากับแบบจำลองการพยากรณ์จากการวิเคราะห์สมการถดถอยทั่วไปและมีข้อดีคือ สามารถทำการลดตัวแปรอิสระในการนำมาวิเคราะห์ในรูปแบบจำลองได้ การพยากรณ์ความเค็มในน้ำบาดาลเป็นสิ่งสำคัญในการจัดการน้ำบาดาลอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อเป็นแนวทางป้องกันปัญหาความเค็มในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A Study of Groundwater Salinity Prediction by Different Analytical Methods
Student	Mr. Phiraphat Aphiphan
Student ID.	59601226
Degree	Master of Engineering
Program	Environmental and Energy Engineering for sustainability
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Uma Seeboonruang

## ABSTRACT

Groundwater salinity is major problem in the northeastern region of Thailand because it affect the environment and irrigation. The indicator of groundwater salinity in this study was electrical conductivity because it is simple to measure in field. In this research, we have studied the application of modeling of salinity prediction of groundwater and the forecasting method in 5 different ways in clude applied a cluster analysis with the regression model, multiple linear regression analysis and 3 smoothing methods were the simple moving averages, the Holt's method and the Winter's methods. In this study uses groundwater quality data from observation wells, water gates data and rainfall data from December 2012 until October 2014. Variables of interested in this study were the highest groundwater salinity from 3 wells. The objectives to find the most appropriate model for forecasting. The study compared the selected methods using mean absolute percent error (MAPE). The results of this comparing methods showed the MAPE from The Multiple linear regression were 2.39%, 1.75% and 14.21%. MAPE of  $Y_1$ ,  $Y_2$  and  $Y_3$  from Cluster-regression as 4.77%, 6.67% and 10.32%. MAPE from the simple moving average method were 14.04%, 10.91% and 48.47%. MAPE from the Holt's method were 14.37%, 19.86% and 66.25%, the MAPE from the Winter's method were 27.90%, 35.50% and 28.25% respectively. Based on the analysis, it was found that the forecasting model from the applied regression analysis method can be used to predict be the same as the general regression analysis and it has the advantage of being able to reduce independent variables to be analyzed in the model. The forecasting model for predicting salinity in groundwater is important for better management and desing for prevention salinity in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อท้ายจึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยการแนะนำและการให้คำปรึกษาจาก รศ.ดร.อุมา สีนุญเรื่อง ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ข้าพเจ้าเคารพยิ่ง ท่านได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการศึกษาครั้งนี้มาโดยตลอด และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์และความเมตตาจากท่านอาจารย์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่มอบวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ต่าง ๆ ให้แก่ข้าพเจ้าพร้อมทั้งให้คำแนะนำและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อข้าพเจ้า จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำงาน พร้อมทั้งมอบกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอย่างดีตลอดมา และให้การสนับสนุน ทั้งกำลังทรัพย์ที่เป็นค่าใช้จ่ายในด้านต่าง ๆ พร้อมกับมอบกำลังใจที่ดีและเชื่อมั่นในตัวข้าพเจ้า จนทำให้การทำงานสำเร็จได้ด้วยดี

สำหรับประโยชน์และคุณงามความดีที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่านที่เป็นที่เคารพและรักยิ่งของข้าพเจ้า

พิรพัฒน์ อภิพันธ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4.1 ขอบเขตการศึกษาด้านพื้นที่.....	2
1.4.2 ขอบเขตการศึกษาด้านข้อมูล.....	2
1.4.3 ขอบเขตการศึกษาด้านกระบวนการทำวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.3 ตำแหน่งและพื้นที่ที่ทำการศึกษา.....	7
2.3.1 ลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่.....	10
2.4 ทฤษฎีทางอุทกธรณีวิทยา.....	11
2.4.1 ทรัพยากรน้ำบาดาล.....	12
2.4.2 ชั้นหินอุ้มน้ำ.....	12
2.4.3 เกลื่อ.....	13
2.4.4 คุณภาพน้ำบาดาล.....	13
2.4.5 การป้องกันและปรับปรุงน้ำบาดาลเค็ม.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ IV างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์.....	17
2.5.1 การประมาณค่าในช่วง.....	17
2.5.2 การตรวจสอบค่าผิดปกติ .....	18
2.5.3 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม .....	19
2.5.4 การพยากรณ์ข้อมูล.....	22
2.5.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ร่วม .....	23
2.5.6 การวิเคราะห์สมการถดถอย.....	23
2.5.7 เทคนิคการปรับให้เรียบ .....	27
2.5.8 ค่าความถูกต้องของการพยากรณ์.....	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	30
3.1 แผนผังการทดลอง .....	30
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการศึกษา.....	31
3.3 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา.....	31
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล .....	34
3.4.1 การทำข้อมูลให้สมบูรณ์.....	35
3.4.2 การหาค่าสหสัมพันธ์ร่วม .....	36
3.4.3 การจัดกลุ่มตัวแปรข้อมูล .....	36
3.4.4 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุแบบประยุกต์.....	37
3.4.5 การหาวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุ.....	37
3.4.6 การวิเคราะห์สมการพยากรณ์โดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบ .....	37
3.4.7 การเปรียบเทียบแบบจำลองการพยากรณ์.....	38
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล .....	39
4.1 ข้อมูลดิบ .....	39
4.2 การเตรียมข้อมูล.....	41
4.3 การหาค่าสหสัมพันธ์ร่วม.....	43
4.4 การจัดกลุ่มตัวแปร .....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ V ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การวิเคราะห์แบบจำลองการพยากรณ์.....	52
5.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุแบบประยุกต์.....	52
5.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุ.....	54
5.3 การใช้เทคนิคการปรับให้เรียบ .....	57
5.3.1 เทคนิคการปรับให้เรียบด้วยวิธี Holt's linear method .....	57
5.3.2 เทคนิคการปรับให้เรียบด้วยวิธี Moving Average.....	60
5.3.3 เทคนิคการปรับให้เรียบด้วยวิธี Winter's method.....	64
5.4 การเปรียบเทียบการพยากรณ์.....	69
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	76
6.1 สรุปผลการวิจัย .....	76
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	77
บรรณานุกรม .....	78
ภาคผนวก .....	81
ภาคผนวก ก. ข้อมูลงานวิจัย.....	82
ภาคผนวก ข. บทความงานวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์เผยแพร่ .....	139
ประวัติผู้เขียน .....	145

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ตัวชี้วัดคุณภาพน้ำบาดาล..... 15
2.2	มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร..... 16
2.3	ค่าระดับการนำไฟฟ้าในน้ำจืด..... 16
4.1	ตารางตัวอย่างสถิติพรรณนาค่าการนำไฟฟ้าในบ่อสังเกตการณ์ที่ยังไม่สมบูรณ์..... 43
4.2	ตารางตัวอย่างสถิติพรรณนาค่าการนำไฟฟ้าในบ่อสังเกตการณ์ที่สมบูรณ์แล้ว..... 43
4.3	ตารางการตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมมากที่สุด..... 44
4.4	ตารางการจำนวนตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับตัวแปรหลัก..... 44
4.5	ตารางแสดงจำนวนการแบ่งกลุ่ม..... 51
5.1	ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยของ $Y_1$ ..... 53
5.2	ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยของ $Y_2$ ..... 53
5.3	ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยของ $Y_3$ ..... 53
5.4	ตารางการสรุปการวิเคราะห์สมการถดถอย..... 54
5.5	ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยทั้งหมดของ $Y_1$ ..... 55
5.6	ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยทั้งหมดของ $Y_2$ ..... 55
5.7	ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยทั้งหมดของ $Y_3$ ..... 55
5.8	ตารางการสรุปการวิเคราะห์สมการถดถอยทั้งหมด..... 56
5.9	ตารางการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ค่าการนำไฟฟ้าของ $Y_1$ ..... 69
5.10	ตารางการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ค่าการนำไฟฟ้าของ $Y_2$ ..... 70
5.11	ตารางการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ค่าการนำไฟฟ้าของ $Y_3$ ..... 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ VII อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ .....	9
2.2 ตำแหน่งประตูระบายน้ำ .....	10
2.3 ตัวอย่างค่าผิดปกติ .....	19
2.4 ตัวอย่าง Dendrogram .....	21
3.1 แผนผังการทดลอง .....	30
3.2 แผนผังแสดงการวิเคราะห์ข้อมูล .....	35
4.1 กราฟตัวอย่างข้อมูลดิบค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ .....	39
4.2 กราฟตัวอย่างข้อมูลดิบค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ .....	40
4.3 กราฟตัวอย่างข้อมูลดิบปริมาณน้ำฝน .....	41
4.4 กราฟแสดงตัวอย่างข้อมูลเฉลี่ยเริ่มต้นที่ยังไม่สมบูรณ์ .....	42
4.5 กราฟแสดงตัวอย่างที่สมบูรณ์แล้ว .....	42
4.6 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ $Y_1$ จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน .....	45
4.7 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ $Y_1$ จากค่าความแปรปรวน .....	45
4.8 เคนโดแกรมการจัดกลุ่มของ $Y_1$ .....	47
4.9 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ $Y_2$ จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน .....	48
4.10 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ $Y_2$ จากค่าความแปรปรวน .....	48
4.11 เคนโดแกรมการจัดกลุ่มของ $Y_2$ .....	49
4.12 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ $Y_3$ จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน .....	50
4.13 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ $Y_3$ จากค่าความแปรปรวน .....	50
4.14 เคนโดแกรมการจัดกลุ่มของ $Y_3$ .....	51
5.1 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ $Y_1$ .....	57
5.2 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ $Y_1$ .....	58
5.3 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ $Y_2$ .....	58
5.4 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ $Y_2$ .....	59
5.5 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ $Y_3$ .....	59
5.6 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ $Y_3$ .....	60
5.7 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Moving average ของ $Y_1$ .....	61
5.8 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Moving average ของ $Y_1$ .....	61
5.9 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Moving average ของ $Y_2$ .....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อVIIIถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Moving average ของ $Y_2$ .....	63
5.11 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Moving average ของ $Y_3$ .....	63
5.12 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Moving average ของ $Y_3$ .....	64
5.13 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ $Y_1$ .....	65
5.14 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ $Y_1$ .....	65
5.15 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ $Y_2$ .....	66
5.16 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ $Y_2$ .....	67
5.17 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ $Y_3$ .....	67
5.18 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ $Y_3$ .....	68
5.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ของ $Y_1$ .....	72
5.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ของ $Y_2$ .....	73
5.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ของ $Y_3$ .....	73

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

น้ำบาดาลเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่สำคัญต่อระบบนิเวศและการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ในปัจจุบันน้ำบาดาลถูกมนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านเกษตรกรรม ด้านอุตสาหกรรม ด้านอุปโภคบริโภค

ปัญหาของน้ำบาดาลที่สำคัญในงานวิจัยนี้จะเกี่ยวกับน้ำบาดาลเค็ม ความเค็มมาจากเกลือที่พบตามธรรมชาติที่อยู่ใต้พื้นดินและสามารถพบได้บนพื้นดิน เกลือที่มีปริมาณมากจะเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต ปัญหาความเค็มในน้ำบาดาลสามารถเกิดได้ทั้งตามธรรมชาติและจากมนุษย์ โดยมนุษย์อาจจะเพิ่มปริมาณความเค็มในน้ำบาดาลโดยการบริหารจัดการชลประทานที่ไม่ดีและการใช้สารเคมีกับดินที่มากเกินไป พื้นที่ในการศึกษาค้นคว้าที่ลุ่มน้ำท่าตอนล่างเป็นลุ่มน้ำย่อยของแม่น้ำโขง จังหวัดนครพนม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในพื้นที่นี้เป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาน้ำบาดาลเค็ม ปัญหาหลักของพื้นที่นี้อาจจะเกิดจากการที่มีหินเกลืออยู่ใต้ดินหรืออาจเกิดจากการใช้น้ำบาดาลที่มากเกินไป จึงทำให้น้ำบาดาลมีความเค็มที่สูงมาก และเกิดปัญหาน้ำเค็ม โดยสาเหตุหลักมาจากเกลือ เพราะเกลือสามารถละลายในน้ำได้ดี และเกลือที่มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เกลือที่อยู่ในน้ำบาดาลสามารถถูกกล้ำเกลี้ยงไปตามเส้นทางไหลของน้ำบาดาลได้ และโดยปกติน้ำบาดาลมีความสามารถในการแพร่กระจายเกลือตามเส้นทางไหลของน้ำบาดาลในทุก ๆ ที่ และเมื่อเกิดกระบวนการนำน้ำขึ้นสู่ผิวดินและกระบวนการระเหยของน้ำบนผิวดิน น้ำบาดาลที่มีเกลือจะระเหยขึ้นสู่อากาศเฉพาะน้ำ แต่เกลือที่ขึ้นมาพร้อมกับน้ำบาดาลจะยังคงอยู่และเกิดการสะสมที่ผิวดิน เมื่อเวลาผ่านไปเกลือจะเกิดการสะสม เกลือที่มีปริมาณมากจะทำให้ดินเกิดการเสื่อมสภาพและทำให้เกิดปัญหาดินเค็มในที่สุด

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยจะศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ความเค็มของน้ำบาดาล และวิธีการพยากรณ์วิธีอื่น ๆ เพื่อที่จะสามารถนำค่าพยากรณ์ไปใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลต่อไปในอนาคต และเพื่อเป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรคุณภาพความเค็มของน้ำบาดาล ณ พื้นที่ศึกษา

### 1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ความเค็มของน้ำบาดาลเป็นปัญหาที่รุนแรงมากสำหรับสิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะบริหารจัดการน้ำบาดาลและดินได้อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นจะต้องศึกษาพื้นที่ที่มีความเสี่ยงของน้ำบาดาลเค็ม โดยจะต้องมีข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ที่สนใจ อย่างไรก็ตามการตรวจวัดคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่องต้องใช้เวลาและการลงทุนจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพยากรณ์คุณภาพน้ำบาดาลเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินและน้ำอย่างเหมาะสม เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ที่ได้ง่ายและใช้เวลา น้อย การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือเทคนิคอนุกรมเวลาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคุณภาพน้ำที่แตกต่างกันและสามารถพยากรณ์ความสัมพันธ์ตัวแปร คุณภาพน้ำได้ (Seeboonruang. 2015 ; Seeboonruang. 2016) และวิธีที่ง่ายที่สุดทางสถิติพื้นฐาน คือเทคนิค Multiple linear regression เป็นวิธีที่ค่อนข้างถูกต้องน่าเชื่อถือและใช้ข้อมูลที่ไม่มากนัก แบบจำลอง Multiple linear regression ถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพน้ำ (Joarder. et.al. 2008 ; Agarwal. 2013)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำข้อมูลจากพื้นที่ลุ่มน้ำท่าตอนล่างมาศึกษาและประเมินคุณภาพ ความเค็มของน้ำบาดาล โดยลุ่มน้ำท่าตอนล่างเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำโขงที่ตั้งอยู่ในภาค ตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในพื้นที่แห่งนี้ น้ำบาดาลยังคงเผชิญกับปัญหาความเค็ม และ การศึกษาครั้งนี้จะใช้การประยุกต์เทคนิค (Cross correlation) การจัดกลุ่ม (Cluster analysis) และ สมการถดถอย (Multiple linear regression) ผสมผสานไว้ด้วยกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปร ต่าง ๆ และงานวิจัยนี้จะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ด้วยเทคนิค (Exponential smoothing) ในแบบต่าง ๆ แล้วนำมาทำการเปรียบเทียบกัน เพื่อหาแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ที่ดีที่สุดที่ใช้สำหรับงานวิจัยครั้งนี้

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการพยากรณ์ความ เค็มของน้ำบาดาล
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีผลต่อความเค็มในน้ำบาดาล

### 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการแบ่งขอบเขตออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ขอบเขตด้านพื้นที่ ขอบเขตด้านข้อมูลและขอบเขตด้านการทำวิจัย สามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 1.4.1 ขอบเขตการศึกษาด้านพื้นที่

พื้นที่ในการศึกษาครั้งนี้ คือ พื้นที่ลุ่มน้ำท่า เป็นลุ่มน้ำย่อยของแม่น้ำโขงในจังหวัด นครพนม ประกอบด้วย บ่อน้ำบาดาลที่ได้ทำการสังเกตการณ์หรืออาจเรียกว่า บ่อ สังเกตการณ์มีจำนวน 27 บ่อ ประตุระบายน้ำจำนวน 12 ประตุ และปริมาณน้ำฝนจาก 5 สถานี

#### 1.4.2 ขอบเขตการศึกษาด้านข้อมูล

ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้ค่าการนำไฟฟ้าเป็นตัวแทนของค่าความเค็มในน้ำ

บาดาล และเป็นข้อมูลที่ถูกรวบรวมไว้แล้วในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 จนถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีการนำออกไปใช้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2555 โดยข้อมูลที่ได้นำมาทำการศึกษาคั้งนี้จะมีช่วงเวลาและข้อมูลที่ขาดหายไป ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ ในการศึกษาคั้งนี้จะประกอบด้วย ข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลค่า pH ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า จากบ่อสังเกตการณ์แต่ละบ่อ ข้อมูลระดับน้ำจากประตูระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝน

### 1.4.3 ขอบเขตการศึกษาด้านกระบวนการทำวิจัย

การทำวิจัยในคั้งนี้ ได้นำข้อมูลที่ถูเก็บรวบรวมไว้แล้วมาทำการวิเคราะห์โดยจะใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ โดยประกอบด้วย วิธีสร้างแบบจำลอง โดยการประยุกต์แบบจำลองสมการถดถอย วิธีสร้างแบบจำลองสมการถดถอย และวิธีการสร้างแบบจำลองโดยเทคนิคการปรับให้เรียบ เพื่อหาแบบจำลองการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับการศึกษโดยทำการเปรียบเทียบกันด้วยค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) เป็นตัวตัดสินใจว่าวิธีการสร้างแบบจำลองไหนมีค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุด

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเค็มในน้ำบาดาลและศึกษาการใช้หลักสถิติเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ คือ วิธีการหาค่าสหสัมพันธ์ร่วม (Cross correlation) วิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster analysis) วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ (Multiple linear Regression Analysis) วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาด้วยเทคนิคการปรับให้เรียบ (Smoothing method) และวิธีการตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE)
2. ทำการรวบรวมข้อมูลและจัดการข้อมูลเบื้องต้น
3. นำข้อมูลข้างต้นมาหาค่าสหสัมพันธ์ร่วม
4. นำข้อมูลที่ได้จากการหาค่าสหสัมพันธ์ร่วม มาวิเคราะห์และทำการจัดกลุ่มข้อมูล
5. นำข้อมูลที่ได้จากการจัดกลุ่มมาทำการเลือกตัวแทนกลุ่ม และนำตัวแทนกลุ่มมาวิเคราะห์ในการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ เพื่อสร้างแบบจำลองสมการถดถอยแบบประยุกต์
6. สร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรงพหุ และสร้างแบบจำลองเทคนิคการปรับให้เรียบแบบต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลที่สนใจ
7. นำแบบจำลองมาทำการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเป็นตัวตัดสินใจ
8. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทำนายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลได้
2. สามารถเป็นแนวทางในการนำวิธีการพยากรณ์ไปวิเคราะห์หรือประยุกต์ในการใช้งานในอนาคตได้
3. สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพความเค็มในน้ำบาดาล ณ พื้นที่ศึกษาได้
4. สามารถนำวิธีการหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ด้านอื่น ๆ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# วรรณกรรมปริทัศน์

### 2.1 บทนำ

การศึกษาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกับข้อมูลคุณภาพน้ำได้มีการศึกษาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2003 ที่ประเทศแคนาดา Hayashi (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกับค่าคุณภาพน้ำโดยมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อตรวจสอบความเป็นน้ำจืดหรือน้ำเค็มของน้ำ การพยากรณ์คุณภาพน้ำบาดาลด้วยเทคนิค Multiple linear regression ได้มีการศึกษาและพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 ในประเทศบังคลาเทศ Joarder. et.al. (2008) ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบาดาลจากอำเภอชั้นมากาแกนในประเทศบังคลาเทศสำหรับการทำน้ำดื่มและการชลประทานได้มีการใช้แบบจำลองสมการถดถอยเชิงเส้น เพื่อทำนายความเข้มข้นขององค์ประกอบคุณภาพน้ำบาดาลที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญกับค่าการนำไฟฟ้า ในปีค.ศ. 2015 ที่ประเทศไทย Seeboonruang (2015) ทำการศึกษาเทคนิคอนุกรมเวลาที่มีความหน่วงด้านเวลาของคุณภาพน้ำบาดาลโดยศึกษาเกี่ยวกับความเค็มของน้ำบาดาล ซึ่งมีปัญหามากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และได้มีการศึกษาการพยากรณ์ความเค็มของน้ำบาดาลโดยใช้เทคนิค Multiple linear regression ทำนายค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

เป็นที่ทราบกันดีว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยประสบปัญหาน้ำบาดาลเค็มบ่อยครั้ง ค่าความเค็มในน้ำบาดาลที่มากจะมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าที่สูง และอาจก่อให้เกิดปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและการใช้ประโยชน์ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาวิธีและแนวทางการป้องกันไม่ให้ความเค็มของน้ำบาดาลมีค่าสูงขึ้น เพื่ออนุรักษ์และรักษาสมดุลของทรัพยากรธรรมชาติ

ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาเกี่ยวกับการพยากรณ์ความเค็มในน้ำบาดาลโดยจะใช้แบบจำลองที่ประยุกต์ขึ้น และแบบจำลองต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาการพยากรณ์ในรูปแบบต่าง ๆ และหาแบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ และผลจากการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ข้อมูลใด ๆ ก็ตามที่สนใจในอนาคต ในบทนี้ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและรวบรวมหลักการ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาประกอบในการวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

- บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- ตำแหน่งและพื้นที่ที่ทำการศึกษา
- ทฤษฎีทางอุทกธรณีวิทยา
- ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษารวบรวมและค้นคว้าบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพของน้ำบาดาลและหลักการทางคณิตศาสตร์ ในอดีตได้มีการศึกษาและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลกเรื่อยมา และได้มีการเผยแพร่ความรู้ประสบการณ์โดยถ่ายทอดสู่บทความและงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ ในอดีตปัญหาของน้ำบาดาลเป็นปัญหาที่สำคัญต่อมนุษย์ เพราะน้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำจืดที่สำคัญของมนุษย์

การศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำบาดาลได้มีการทำการศึกษาและวิจัยเรื่อยมาตั้งแต่อดีต ในปีค.ศ. 1993 ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา Tankersley. et.al. (1993) ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบแบบจำลองตัวแปรอิสระและรูปแบบการถ่ายโอนความผันผวนของน้ำบาดาล จากการใช้เทคนิคอนุกรมเวลาด้วยแบบจำลอง SARIMA และ SARIMAX โดยสามารถนำแบบจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าความผันผวนของน้ำบาดาลได้ ในปีค.ศ. 2003 ที่ประเทศแคนาดา Hayashi (2003) ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกับค่าคุณภาพน้ำตัวอื่น ๆ โดยมีอุณหภูมิจึงปัจจัยเพื่อตรวจสอบความเป็นน้ำจืดหรือน้ำเค็มของน้ำ ผลของการทดลองนั้นสามารถสรุปได้ว่า ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ดีที่สุดของการตรวจวัดความสัมพันธ์ของค่าการนำไฟฟ้าและคุณภาพน้ำ ในปีค.ศ. 2013 Russoniello. et.al. (2013) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแนวโน้มอัตราการแลกเปลี่ยนความเค็มของน้ำบาดาลและพื้นดินทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาในน้ำบาดาลที่ก่อให้เกิดความเค็ม

การทำนายคุณภาพน้ำบาดาลในการวางแผนการจัดการคุณภาพน้ำบาดาลในอนาคตโดยใช้เทคนิคแบบจำลอง ARIMA ในปีค.ศ. 2006 ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา Anpalaki and George (2006) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองอนุกรมเวลาเพื่อหาแนวโน้มระยะยาวของคุณภาพน้ำโดยใช้เทคนิคแบบจำลอง ARIMA ผลที่ได้คือ แบบจำลองสามารถบอกแนวโน้มระยะยาวของคุณภาพน้ำบาดาลได้สำหรับการวางแผนจัดการน้ำบาดาลในอนาคต และในปีค.ศ. 2012 ที่ประเทศบังคลาเทศ Adhikary. et.al. (2012) ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ความผันผวนของระดับน้ำบาดาล ในการศึกษาได้ใช้เทคนิคอนุกรมเวลาโดยใช้แบบจำลอง ARIMA

การศึกษากการทำนายด้วยเทคนิคหรือวิธีการทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับคุณภาพน้ำบาดาล เทคนิคที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือเทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอย ในปี 2008 ที่อำเภอชันฆากาแกนในประเทศบังคลาเทศ Joarder. et.al. (2008) ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบาดาลจากการทำน้ำดื่มและการชลประทาน จากการใช้แบบจำลองสมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อทำนายองค์ประกอบคุณภาพน้ำที่มีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้า ผลจากการวิจัยพบว่าแคลเซียมไนเตรทและไบคาร์บอเนตมีความสัมพันธ์กับไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญที่ 99% ความเชื่อมั่น ในปีค.ศ. 2010 ที่ประเทศอินเดีย Kumar and Sinha (2010) ได้ทำการศึกษาสมการถดถอยของข้อมูลน้ำบาดาล 12 แห่ง และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำบาดาลเพื่อประเมินค่ามาตรฐานของน้ำบาดาลที่ใช้ในการบริโภคโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ W.H.O. ว่ามีความปนเปื้อนมากน้อย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงใด ผลที่ได้คือค่าการนำไฟฟ้ามีผลกับพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับน้ำบาดาล และ การศึกษาครั้งนั้นได้ศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลในการจัดการน้ำบาดาลในอนาคต ในปี.ศ. 2013 ที่ประเทศ อินเดีย Agarwal (2013) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพน้ำในแม่น้ำโกลีโดยใช้ เทคนิค Correlation analysis และเทคนิค Linear regression เพื่อประเมินขอบเขตของการเกิด มลพิษทางน้ำ

ในประเทศไทยได้มีการทำการศึกษเกี่ยวกับความเค็มของน้ำบาดาลและดินเค็มในอดีต และพื้นที่ที่มีปัญหาเหล่านี้มักเกิดที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ ได้ศึกษาบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำท่าตอนล่าง ในอดีตได้มีการศึกษามาแล้วหลายงานวิจัย ในปี พ.ศ. 2550 กิจจา ตรีเนตรและคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาสภาพธรณีวิทยาชั้นเกลือหินและอุทกธรณีวิทยา โครงการชลประทานน้ำท่าตอนล่าง จังหวัดนครพนม พื้นที่โครงการชลประทานน้ำท่าตอนล่างมีปัญหา เรื่องการแพร่กระจายของดินเค็มและน้ำเค็มเป็นผลมาจากลักษณะทางธรณีวิทยาชั้นเกลือหินและอุทก ธรณีวิทยาของพื้นที่ โดยศึกษาลักษณะของชั้นเกลือหินและคุณสมบัติของชั้นน้ำใต้ดิน โดยใช้วิธีการ สัมผัสธรณีฟิสิกส์ และศึกษาความสัมพันธ์ของน้ำผิวดินกับน้ำใต้ดิน ผลการศึกษาพบสาเหตุที่ทำให้ เกิดความเค็มในพื้นที่ เนื่องมาจากโครงสร้างพื้นที่เป็นรอยเลื่อนตัดผ่านชั้นหินของหมวดหินมหาสาร คามและหมวดหินภูทอกจึงทำให้น้ำเค็มซึมผ่านรอยเลื่อนขึ้นมาประกอบกับพฤติกรรมการใช้ น้ำบาดาล ที่มากเกินไปจึงเกิดปัญหาดินและน้ำบาดาลเค็มในปีพ.ศ. 2554 Seeboonruang (2011) ได้ ทำการศึกษาสภาพทางธรณีวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าตอนล่าง โดยทำการศึกษารวพื้นที่บ่อเกลือ 2 พื้นที่ ทำการศึกษาชั้นดินและเก็บตัวอย่างผิวดินมาทำการวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ของความเค็ม การนำไฟฟ้า และค่า pH ในงานวิจัยสามารถบ่งบอกว่าบ่อเกลือ 2 แห่งมีความสัมพันธ์ที่เหมือนกัน ใน ปีพ.ศ. 2558 Seeboonruang (2015) ได้ทำการศึกษาเทคนิคอนุกรมเวลาที่เกี่ยวข้องกับความหน่วง เวลาของคุณภาพน้ำบาดาลโดยศึกษาเกี่ยวกับความเค็มของน้ำบาดาล ในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าตอนล่าง และ ปีพ.ศ. 2559 Seeboonruang (2016) ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ความเค็มของน้ำบาดาลโดยใช้ เทคนิค Multiple linear regression ปัญหาความเค็มของน้ำบาดาลเป็นปัญหาที่รุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพื้นที่ทางการเกษตร การวัดคุณภาพน้ำในงานวิจัยจะพยากรณ์ความเค็มของน้ำบาดาล ใน เรื่องของค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาล ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

### 2.3 ตำแหน่งและพื้นที่ที่ทำการศึกษา

ในการศึกษาการวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมมาแล้ว ข้อมูลที่ถูกเก็บ รวบรวมจากพื้นที่ลุ่มน้ำท่า โดยลำน้ำท่ามีความยาวประมาณ 123 กิโลเมตร เริ่มจากหนองหาน อำเภอ เมือง จังหวัดสกลนคร ไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้จนถึงแม่น้ำโขงที่ตำบลน้ำท่า อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม สภาพภูมิประเทศมีความลาดเทจากด้านทิศตะวันตกไปทางด้านทิศตะวันออกความ ลาดเทจากหนองหานไปถึงบริเวณอำเภอนาแก มีพื้นที่รับน้ำฝนประมาณ 3,440 ตารางกิโลเมตร ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,400 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำท่าส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกษตรกรรม และมีประชาชนตั้งถิ่นฐานอาศัยอยู่บริเวณตามเนินตลอดสองฝั่งลำน้ำ เกิดปัญหาด้านชลประทานและอุทกภัยบ่อยครั้ง บริเวณลุ่มน้ำก่ำเกิดการขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตรและอุปโภคบริโภคเนื่องจากประสบปัญหาน้ำบาดาลเค็ม (Thailand Mineral Resource Department. 1998) ข้อมูลที่ได้ทำการเก็บรวบรวมในงานวิจัยครั้งนี้ได้นำข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล ข้อมูลระดับน้ำที่ประตูระบายน้ำ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ของลุ่มน้ำก่ำตอนล่างที่เป็นพื้นที่ที่มุ่งเน้นในการศึกษา มีข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ 27 บ่อโดยรอบพื้นที่ลุ่มน้ำก่ำโดยบ่อสังเกตการณ์จะอยู่จากพื้นที่ 3 อำเภอใกล้เคียงลุ่มน้ำก่ำดังนี้

1) อำเภอนาแก ประกอบด้วยบ่อสังเกตการณ์จำนวน 22 บ่อ

จากหมู่บ้านบ่อดอกซ้อน 6 บ่อ (BDS\_S, BDS\_D, BDS\_S2, BDS\_D2, BDS\_D1, BDS\_S1)

จากหมู่บ้านพระซองน้อย 7 บ่อ (BPS\_Do, BPS\_S2, BPS\_D2, BPS\_D1, BPS\_S1, BPS\_S, BPS\_Dn)

จากหมู่บ้านวังยาง 1 บ่อ (BWY\_P)

จากหมู่บ้านนาคู่ 1 บ่อ (BNK\_D)

จากหมู่บ้านพิมานท่า 1 บ่อ (BPMT\_D)

จากหมู่บ้านพิมาน 1 บ่อ (BPM\_K)

จากหมู่บ้านจอมมณี 2 บ่อ (BJM\_C, BJM\_W)

จากหมู่บ้านเหล่าทุ่ง 1 บ่อ (BLT)

2) อำเภอเรณูนคร ประกอบด้วยบ่อสังเกตการณ์จำนวน 2 บ่อ

จากหมู่บ้านลาดศรีชมพู 1 บ่อ (BLS)

จากหมู่บ้านดอนยม 1 บ่อ (BDY\_S)

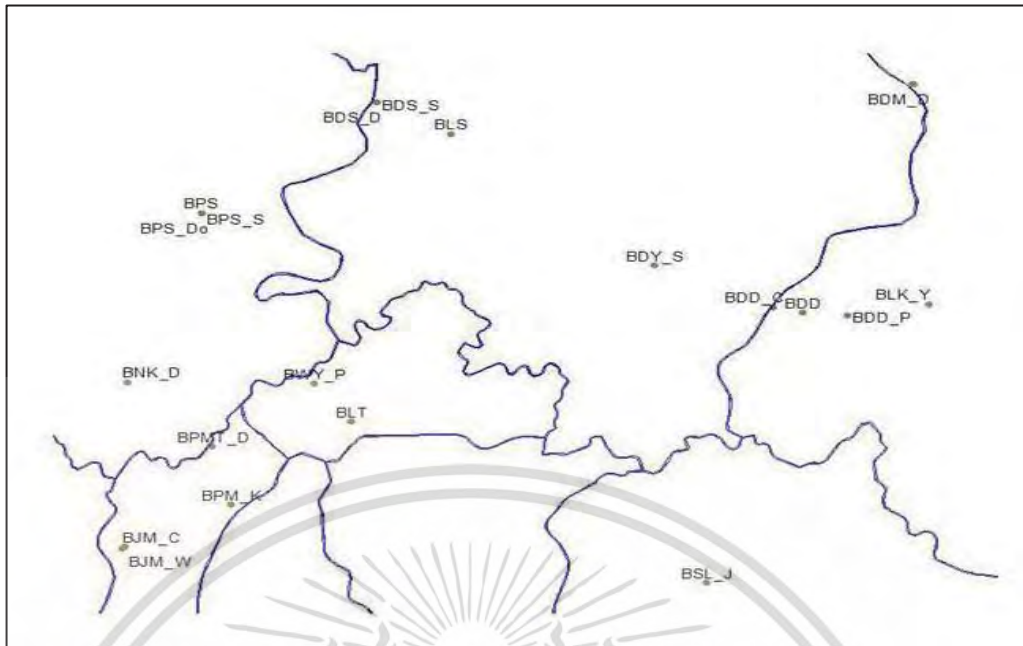
3) อำเภอธาตุพนม ประกอบด้วยบ่อสังเกตการณ์จำนวน 5 บ่อ

จากหมู่บ้านศาลา 1 บ่อ (BSL\_J)

จากหมู่บ้านดอนแดง 3 บ่อ (BDD\_P, BDD, BDD\_C)

จากหมู่บ้านเหล่ากกดตาล 1 บ่อ (BLK\_Y)

ข้อมูลคุณภาพน้ำจากบ่อสังเกตการณ์จะถูกเก็บข้อมูลทุก ๆ 2 สัปดาห์ต่อหนึ่งครั้ง ในบ่อสังเกตการณ์จะมีข้อมูลระดับน้ำ ค่า pH และ ค่า EC ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 จนถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์จะแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งประตูสังเกตการณ์

2. ข้อมูลระดับน้ำจากประตูระบายน้ำ 12 ประตู โดยรอบบริเวณลุ่มน้ำท่าตอนล่าง ประกอบด้วย

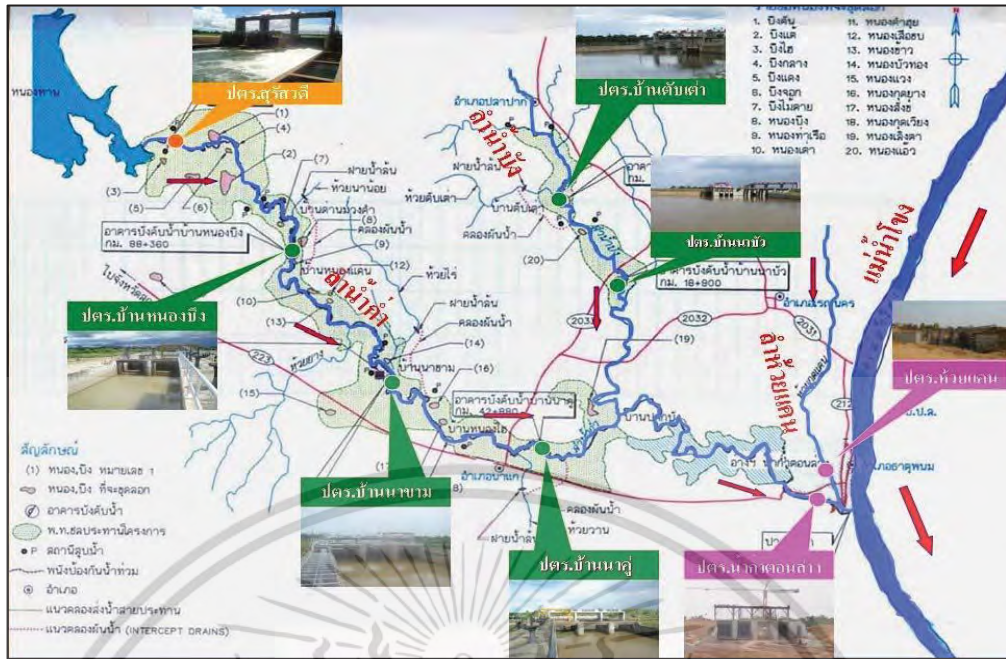
- 1) ประตูระบายน้ำท่า 2 ประตู (NamKam upper gate, NamKam down gate)
- 2) ประตูระบายน้ำนาคู่ 2 ประตู (NaKhu upper gate, NaKhu down gate)
- 3) ประตูระบายน้ำตบเต่า 2 ประตู (TabTao upper gate, TabTao down gate)
- 4) ประตูระบายน้ำนาบัว 2 ประตู (NaBua upper gate, NaBua down gate)
- 5) ประตูระบายน้ำนาขาม 2 ประตู (NaKham upper gate, NaKham down gate)
- 6) ประตูระบายน้ำห้วยแคน 2 ประตู (HeuyKan upper gate, HeuyKan down gate)

3. ข้อมูลปริมาณฝนจาก 5 พื้นที่ ประกอบด้วย

- 1) ปริมาณฝนจากอำเภอวังยาง (Wang Yang Rain)
- 2) ปริมาณฝนจากอำเภอนาแก (Nakae Rain)
- 3) ปริมาณฝนจากอำเภอปลาปาก (Pla Bak Rain)
- 4) ปริมาณฝนจากอำเภอเรณูนคร (Renu Rain)
- 5) ปริมาณฝนจากอำเภอธาตุพนม (That Panom Rain)

เป็นข้อมูลรายวันที่ถูกเก็บรวบรวมมาตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 จนถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 ตำแหน่งของประตูระบายน้ำจะแสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งประตูปรับน้ำ (กรมชลประทาน. 2554)

### 2.3.1 ลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่

ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำท่าตอนล่าง (Thailand Mineral Resource Department. 1998) เป็นภูเขาและเนินเขาที่ประกอบด้วยหินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดานเป็นแนวยาว มีความสูงประมาณ 500 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ทางด้านตะวันตกและด้านเหนือของพื้นที่มีลักษณะพื้นผิวสูง ๆ ต่ำ ๆ อันเนื่องมาจากโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินฐาน (Bed Rock) ที่รองรับอยู่ข้างใต้ประกอบด้วย ตะกอนทรายปนทรายแป้ง มีความหนาไม่แน่นอนบางพื้นที่พบชั้นกรวดลูกรัง ส่วนปัญหาเรื่องการแพร่กระจายของดินเค็มและน้ำเค็มเกี่ยวข้องและเป็นผลมาจากลักษณะทางธรณีวิทยาชั้นเกลือหินและอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ (โกมล โอฬารรัตน์มณี. 2540 ; กิจจาตรี เนตร และคณะ. 2550) สาเหตุที่ทำให้เกิดความเค็มในพื้นที่ เนื่องมาจากมีโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เป็นรอยเลื่อนตัดผ่านชั้นหินของหมวดหินมหาสารคามและหมวดหินภูทอกทำให้น้ำเค็มซึมผ่านรอยเลื่อนดังกล่าว ประกอบกับในฤดูแล้งมีการใช้น้ำบาดาลระดับตื้นเป็นปริมาณมากทำให้ระดับแรงดันน้ำบาดาลระดับตื้นลดลงต่ำกว่าระดับแรงดันของน้ำบาดาลระดับลึก เป็นสาเหตุให้เกิดการแทรกดันตัวขึ้นมาของน้ำเค็มจากน้ำบาดาลระดับลึกของหมวดหินมหาสารคามเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นจึงทำให้น้ำบาดาลระดับตื้นมีค่าความเค็มสูง หมวดหินที่มีความเกี่ยวข้องกับพื้นที่ลุ่มน้ำท่าตอนล่างมีดังนี้

1. หมวดหินมหาสารคาม ลักษณะทางกายภาพของหินประกอบด้วย หินโคลน หินทรายแป้ง และเกลือหินอยู่สลับกัน ชั้นหินของหมวดหินมหาสารคามมีความหนารวมกันประมาณ 600-1,000 เมตร และมีโครงสร้างของโดมเกลือใกล้ชั้นผิวดินมักมีผลต่อดินเค็มและการปรากฏของคราบเกลือบนผิวดิน หมวดหินมหาสารคาม แบ่งออกได้เป็น 6 ลำดับชั้น ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) แอนไฮไดรต์ชั้นฐาน มีความหนา 0.8 ถึง 3.3 เมตร
- 2) เกลือหินชั้นล่าง เป็นชั้นหินเกลือของหมวดหินสารคามที่มีความหนามากที่สุด ประกอบด้วย แร่โปแตสเซียม และแร่เกลือหินที่มีความหนาเฉลี่ย 437 เมตร
- 3) หินโคลนชั้นล่าง เป็นหินที่มีจุดสีเขียว มีสีผิวน้ำตาลแกมแดง มีสายแร่คาร์เฮไลต์ กับ นัลไลต์ และมีความหนาประมาณ 35 เมตร
- 4) เกลือหินชั้นกลาง มีเฮไลต์ผสมอยู่ และมีความหนาเฉลี่ย 100 เมตร
- 5) หินโคลนชั้นกลาง มีลักษณะคล้ายหินชั้นล่างแต่ไม่มีสายแร่ในชั้นหิน และมีความหนาเฉลี่ย 40 เมตร

6) เกลือหินชั้นบน มีความหนา 3 ถึง 65 เมตร ไม่มีแร่โปแตสเซียม

2. หมวดหินภูทอก วางตัวต่อเนื่องกับหมวดหินมหาสารคาม ประกอบด้วยหินทรายสีน้ำตาลแดงเนื้อหยาบปานกลางถึงละเอียดแทรกสลับกับหินทรายสีแดงแกมน้ำตาลถึงแดงแกมม่วงเนื้อละเอียดมากถึงทรายแป้ง มีเนื้อปูนผสม โดยหินทรายเป็นหินทรายแบบ Lithic arkose - Subarkose หินมีความหนาประมาณ 140 เมตร หมวดหินภูทอกเกิดจากการสะสมตัว และตกตะกอนทั้งจากแม่น้ำแบบโค้งตัวสลับกับการพัดพาของลมในสภาวะอากาศค่อนข้างแห้งแล้ง หมวดหินนี้จะมีลักษณะโครงสร้างเป็นลอนคลื่น การเรียงลำดับชั้นหินพบว่าหมวดหินภูทอกที่สามารถจำแนกได้เป็น 2 หมู่หิน ได้แก่ หมู่หินคำตากล้า (หมู่หินภูทอกตอนกลาง) และหมู่หินนาหว้า (หมู่หินภูทอกตอนล่าง) โดยมีรายละเอียดชุดลักษณะของหมู่หินดังนี้

1) หมู่หินนาหว้า (หมู่หินภูทอกตอนล่าง) ประกอบด้วยหินโคลนสีน้ำตาลแดงแกมส้ม ไม่แสดงชั้น แทรกสลับด้วยหินทรายแป้งสีน้ำตาลแดงชั้นหนา บางส่วนมีเนื้อปูนปน เนื้อหินมีการเชื่อมประสานด้วย Calcareous cement และ Silica cement หมู่หินนาหว้าวางตัวแบบไม่ต่อเนื่องอยู่บนชั้น Top anhydrite ของหน่วยเกลือหินชั้นบนของหมวดหินมหาสารคาม

2) หมู่หินคำตากล้า (หมู่หินภูทอกตอนกลาง) ในช่วงตอนล่างของชุดหินประกอบด้วย หินทรายเนื้อละเอียดและหินทรายแป้งสีน้ำตาล หินทรายเป็นชนิด Arkosic สีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลแดง เนื้อละเอียดถึงปานกลางมีชั้นหินดินดานบาง ๆ แทรกสลับเป็นช่วง ๆ แสดงชั้นเฉียงระดับขนาดใหญ่ การคัดขนาดดีมาก การเชื่อมประสานไม่ดี เป็นชั้นหินกักเก็บน้ำจืดคุณภาพดี ปริมาณมาก

## 2.4 ทฤษฎีทางอุทกธรณีวิทยา

อุทกธรณีวิทยา (Hydrogeology) เป็นวิชาของสาขาวิชาธรณีวิทยาที่ศึกษาเกี่ยวกับน้ำบาดาล ครอบคลุมถึงเรื่องต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับน้ำบาดาล

### 2.4.1 ทรัพยากรน้ำบาดาล

น้ำเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต และน้ำมีบทบาทสำคัญอย่างมาก ถ้าขาดน้ำ สิ่งมีชีวิตก็ไม่สามารถดำรงอยู่ได้ น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถทดแทนและสูญสิ้นไปได้ (กิจจา พรหมมา. 2547 ; กิจจา พรหมมา. 2555) น้ำที่มีอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของโลกทั้งในอากาศ บนดิน และใต้ผิวดินมีปริมาณโดยรวมอาจจะคงที่ แต่น้ำในที่ได้ก็ตามก็สามารถแห้งเหือดไปโดยไม่มีน้ำใหม่มาทดแทน และจะทำให้พื้นที่นั้น ๆ เกิดความขาดแคลนน้ำมากกว่าก่อนหน้านี้ สามารถเห็นตัวอย่างได้จากบริเวณที่ต้นไม้อหรือป่าไม้ถูกทำลาย แต่หากพื้นที่นั้นมีการปลูกป่าทดแทน ป่าไม้ก็จะนำน้ำกลับคืนมาและน้ำจะมีปริมาณที่มากขึ้นกว่าเดิม และลักษณะดังที่กล่าวมานี้สามารถเกิดขึ้นได้กับน้ำบาดาลได้เช่นเดียวกัน

น้ำบาดาล (Groundwater) เป็นน้ำที่อยู่ใต้ดิน เกิดจากวัฏจักรของน้ำ ในกระบวนการซึมของน้ำจากผิวดินสู่ใต้ดิน โดยปกติน้ำบาดาลจะมีปริมาณที่มากกว่าน้ำผิวดินเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำจืดทั่วโลก น้ำบาดาลคือน้ำที่อยู่ในช่องว่างของหิน รอยแตก โพรง ชั้นหิน และตะกอนใต้ผิวดิน น้ำบาดาลมีปริมาณจำกัดเท่ากับปริมาตรของช่องว่าง น้ำบาดาลจะไหลต่อเนื่องถึงกันได้ก็ต่อเมื่อภายในช่องว่างมีแต่น้ำเรียกว่า การอึมน้ำ เมื่อน้ำบาดาลถูกขังหรือไหลผ่านช่องว่างของหินหรือตะกอนต่าง ๆ น้ำบาดาลจะทำปฏิกิริยาเคมีกับสิ่งแวดล้อมที่น้ำไปสัมผัส และจะทำให้คุณภาพน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน

### 2.4.2 ชั้นหินอุ้มน้ำ

โดยทั่วไปน้ำบาดาลเกิดอยู่ในชั้นหินที่อึมตัวด้วยน้ำหรือชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer) หินที่จะเก็บน้ำได้ดีมีปริมาณมากจะต้องมีจำนวนช่องว่างมาก และช่องว่างแต่ละช่องต้องมีขนาดใหญ่ และติดต่อกันเพื่อให้ น้ำบาดาลไหลผ่านได้ (กิจจา พรหมมา. 2547 ; กิจจา พรหมมา. 2555) ชั้นหินอุ้มน้ำสามารถแบ่งออกมาได้ 3 ประเภทดังนี้

1. ชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดัน (Unconfined Aquifer) คือ ชั้นดินหรือชั้นหินที่อึมตัวด้วยน้ำ ชั้นหินอุ้มน้ำนี้จะไม่มีชั้นหินกั้นน้ำปิดทับอยู่ ระดับน้ำสูงสุดของชั้นนี้เรียกว่า ระดับน้ำบาดาล (Water table) การไหลของน้ำบาดาลในชั้นนี้จะไหลไปตามความลาดเอียงของระดับน้ำบาดาลภายใต้แรงดึงดูดของโลก
2. ชั้นน้ำบาดาลภายใต้แรงดัน (Confined Aquifer) คือ ชั้นดินหรือชั้นหินที่อึมตัวด้วยน้ำ การไหลของน้ำบาดาลจะถูกควบคุมโดยระดับแรงดันภายในชั้นน้ำบาดาล หากระดับแรงดันของน้ำบาดาลในชั้นหินอุ้มน้ำสูงมาก น้ำในบ่อก็จะพุ่งขึ้นมาเองโดยไม่ต้องมีการสูบ
3. ชั้นน้ำบาดาลปลอม (Perch Aquifer) คือ ชั้นดินหรือชั้นหินที่อึมตัวด้วยน้ำ มีลักษณะเป็นกระเปาะ มีชั้นดินเหนียวรองรับอยู่ด้านล่าง อยู่ในชั้นที่สัมผัสกับอากาศเหนือชั้นที่อึมตัวด้วยน้ำ เมื่อมีน้ำฝนซึมลงมาสะสมอยู่ น้ำบางส่วนจะถูกกักเก็บไว้ที่กระเปาะนี้

### 2.4.3 เกลือ

เกลือเป็นสารประกอบที่มีอยู่ตามธรรมชาติและเป็นสารประกอบที่มนุษย์สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ เกลือเป็นสารประกอบไอออนิก โดยส่วนใหญ่เกลือจะประกอบไปด้วยธาตุคลอรีนและโซเดียม เกลือเป็นตัวบ่งบอกความเค็มตามธรรมชาติ เกลือสามารถพบได้จากน้ำทะเลและตามชั้นหิน เกลือเป็นมลสารละลายน้ำชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในด้านอุทกธรณีวิทยา (กิจจา พรหมมา. 2547 ; กิจจา พรหมมา. 2555) โดยปกติแล้วการจำแนกสารละลายในน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ มลสารที่ละลายน้ำ และมลสารที่ละลายน้ำได้น้อย

เกลือถูกจัดให้เป็นมลสารที่ละลายน้ำ เกลือสามารถละลายได้ดีมากในน้ำ เกลือทำให้น้ำเค็ม น้ำเค็มมีทั้งที่แทรกเข้ามาจากทะเลและจากส่วนลึกของชั้นน้ำ และชั้นน้ำที่เกิดจากการสะสมตัวของกรวดทรายทะเลอาจจะมีน้ำเค็มแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างการสะสมตัวของกรวดทราย น้ำเค็มที่แทรกเข้ามาในน้ำจืดจะส่งผลทำให้เกิด น้ำกร่อย การแทรกของน้ำเค็มเกิดมาจากการแทรกของน้ำทะเลและการที่น้ำเค็มหนุนขึ้นมาจากชั้นน้ำที่มีน้ำเค็มอยู่ด้านล่าง สาเหตุที่ทำให้ น้ำเค็มหนุนขึ้นมาจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำบาดาลถูกสูบน้ำขึ้นมาใช้มากเกินไป จะทำให้รอยต่อระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนทำให้น้ำเค็มเข้ามาแทรกในน้ำจืดจนกลายเป็นน้ำกร่อย และเป็นน้ำเค็มในที่สุด

เกลือมีทั้งประโยชน์และโทษ โดยประโยชน์ของเกลือคือ เกลือเป็นส่วนประกอบของวิตามินบีในด้านอุตสาหกรรมและการแพทย์ เป็นต้น เกลือเป็นสิ่งที่จำเป็นมากสำหรับมนุษย์ ส่วนโทษของเกลือคือ ถ้าเกลือที่มีอยู่ตามธรรมชาติมีมากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อธรรมชาติ เช่นการขาดแคลนน้ำจืด ปัญหาดินเค็ม เป็นต้น

### 2.4.4 คุณภาพน้ำบาดาล

คุณภาพน้ำบาดาล (Groundwater quality) เป็นการบอกถึงส่วนผสมหรือสารที่ปะปนอยู่ในน้ำบาดาลว่ามีสารใดในน้ำและจำนวนเท่าใด (กิจจา พรหมมา. 2547 ; กิจจา พรหมมา. 2555) น้ำบาดาลในโลกนี้ไม่ใช่ น้ำบริสุทธิ์ แต่จะมีสารชนิดอื่นละลายอยู่ในน้ำบาดาลเกิดจากน้ำที่เป็นตัวทำละลาย (Solvent) ละลายแร่ธาตุและสารประกอบต่าง ๆ เป็นตัวถูกละลาย (Solute) มาผสมหรือปะปนและกักเก็บในน้ำ ยังมีสารอื่น ๆ ถูกละลายมากคุณภาพน้ำบาดาลก็จะยิ่งต่ำ สารที่ถูกละลายเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีหลายชนิดตั้งแต่ในชั้นบรรยากาศอากาศผ่านผิวดินจนถึงชั้นน้ำและภายในชั้นน้ำ น้ำบาดาลที่มีคุณภาพดีส่วนใหญ่จะเป็นน้ำที่มีสารผสมหรือถูกปนเปื้อนน้อย ส่วนน้ำบาดาลที่ด้อยคุณภาพจะมีปริมาณของสารหรือถูกปนเปื้อนมาก การกำหนดว่าน้ำบาดาลถูกปนเปื้อนน้อยหรือมาก จะขึ้นอยู่กับแต่ละหน่วยงานจะแตกต่างกันออกไป คุณภาพน้ำบาดาลจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ น้ำ แร่ ก๊าซหรืออากาศ และจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพน้ำบาดาลจะมีตัวชี้วัด (Indicator) เป็นตัวที่บ่งบอกคุณภาพทางสิ่งแวดล้อมของน้ำบาดาลและที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด คลอไรด์ ฟลูออไรด์และเหล็ก ความกระด้าง การนำไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะสนใจตัวชี้วัดคือ การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ตัวชี้วัดของการนำไฟฟ้าเป็นส่วนกลับของความต้านทานไฟฟ้า อาจจะเรียกอีกชื่อว่า การนำไฟฟ้าจำเพาะ (Specific conductance) น้ำบาดาลที่มีไอออนละลายอยู่เป็นจำนวนมากก็จะมีค่าการนำไฟฟ้าที่มาก การนำไฟฟ้าสามารถใช้เป็นดัชนีของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่ละลายในน้ำบาดาลได้ เพราะยิ่งการนำไฟฟ้าสูง ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดก็จะมีค่าสูงตามไปด้วยเช่นกัน

โดยทั่วไปมลพิษที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาล จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ สารจุลชีพ สารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ และสารกัมมันตภาพรังสี แหล่งกำเนิดมลพิษ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากการกระทำของมนุษย์ แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ เช่น การแทรกตัวของน้ำเค็ม การละลายแร่ธาตุจากชั้นดินลงสู่ชั้นบาดาล เป็นต้น ส่วนแหล่งกำเนิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การซึมจากบ่อบำบัดน้ำเสีย การซึมจากส้วม การซึมจากกองขยะทุกชนิด เป็นต้น ก่อนที่น้ำบาดาลจะนำไปใช้เพื่อการอุปโภค บริโภค การเกษตรกรรม และการอุตสาหกรรมจะต้องมีมาตรฐานคุณภาพน้ำที่จะสามารถบ่งบอกว่าน้ำบาดาลสามารถนำไปใช้ได้ การสร้างมาตรฐานดังกล่าวเป็นวิธีการจัดการคุณภาพน้ำบาดาลอย่างหนึ่ง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ประเภทต่าง ๆ ได้ตามวัตถุประสงค์ น้ำบาดาลดิบที่ได้มีคุณภาพไม่ถึงเกณฑ์มาตรฐานจะต้องผ่านการนำไปปรับปรุงคุณภาพก่อนที่จะนำไปใช้งาน โดยการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางชีวภาพ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวชี้วัดคุณภาพน้ำบาดาล (กิจจา พรหมมา. 2555)

คุณสมบัติทางกายภาพ	คุณสมบัติทางเคมี	คุณสมบัติทางชีวภาพ
1. อุณหภูมิ 2. การนำไฟฟ้า 3. สี 4. กลิ่นและรส 5. ความขุ่น	1. ความเป็นกรด-เบส 2. โซเดียม 3. โปแตสเซียม 4. แคลเซียม 5. แมกนีเซียม 6. ความกระด้าง 7. สภาพต่าง 8. คลอไรด์ 9. ซัลเฟต 10. ไนเตรต 11. ฟลูออไรด์ 12. เหล็ก 13. แมงกานีส 14. ซิลิกา 15. โลหะหนักอื่น	1. โคลิฟอร์มแบคทีเรีย

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้สนใจคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำคือ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาล น้ำบาดาลเป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ การนำไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ยิ่งน้ำมีสารผสมอยู่มาก น้ำยิ่งนำไฟฟ้าได้มาก มีหน่วยที่ใช้คือ ไมโครไซเมนต่อเซนติเมตร ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) และค่าการนำไฟฟ้าสามารถแปลงเป็นค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดได้ด้วยสูตรนี้

$$\text{TDS} = \text{kSC} \quad (2.1)$$

โดยที่ TDS คือความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)  
 SC คือการนำไฟฟ้าจำเพาะ (ไมโครไซเมนต่อเซนติเมตร)  
 k คือ 0.55 - 0.75

โดยปกติแล้วปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำบาดาลจะมี น้ำ แร่ แก๊ส และจุลินทรีย์ เป็นปัจจัยหลักๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำบาดาล และในมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลทั่วไปจะมีการกำหนดมาตรฐานความเค็มในน้ำ ก่อนที่จะนำเอาไปอุปโภคบริโภคหรือนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ในตารางที่ 2.2 จะยกตัวอย่างค่ามาตรฐานของตัวชี้วัดในน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรมานำเสนอ ในงานวิจัยนี้เราจะสนใจเกี่ยวกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร (กิจจา พรหมมา. 2547)

ตัวชี้วัด	ค่า
ความเป็นกรด-เบส	4-9
ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	>4
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	<1,000
โซเดียม (มก./ล.)	<1,000
อัตราดูดซับโซเดียม (SAR)	<20
เหล็ก (มก./ล.)	<10
แมงกานีส (มก./ล.)	<2

ตารางที่ 2.3 ค่าระดับการนำไฟฟ้าในน้ำจืด (กิจจา พรหมมา. 2547)

ค่าการนำไฟฟ้า ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	ระดับการนำไฟฟ้า
0 – 250	เป็นน้ำที่มีเกลือละลายอยู่น้อย
250 – 750	เป็นน้ำที่มีเกลือละลายอยู่ปานกลาง
750 – 2,250	เป็นน้ำที่มีเกลือละลายอยู่ปานกลางถึงสูง
> 2,250	เป็นน้ำที่มีเกลือละลายอยู่สูงมาก

จะเห็นได้ว่าจากตารางที่ 2.2 จะมีตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการนำไฟฟ้าคือ ค่าของแข็งละลายน้ำ เพราะสามารถนำไปคำนวณเปลี่ยนเป็นค่าการนำไฟฟ้าได้ และตารางที่ 2.3 จะเป็นตารางที่บอกระดับค่าการนำไฟฟ้าสำหรับการตรวจวัดในน้ำจืด และตารางนี้มีความสำคัญในการพิจารณาค่าการนำไฟฟ้าเพื่อจำแนกประเภทน้ำที่มีความเค็ม

#### 2.4.5 การป้องกันและปรับปรุงน้ำบาดาลเค็ม

การนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียสมดุลตามธรรมชาติของแหล่งน้ำ และจะส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ (กิจจา พรหมมา. 2547 ; กิจจา พรหมมา. 2555) จะก่อให้เกิดผลต่าง ๆ ได้แก่ การทรุดตัวของพื้นดิน การไหลของน้ำเค็มเข้าสู่แหล่งน้ำจืด การแทรกของน้ำเค็มจากน้ำทะเลและการที่น้ำเค็มในส่วนลึกหนุนขึ้นมา เป็นต้น การสูบน้ำบาดาลใกล้น้ำทะเลมากเกินไปทำให้น้ำทะเลถอยออกไป เพราะน้ำทะเลมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำบาดาล น้ำทะเลจึงอยู่ด้านล่างของน้ำจืด เมื่อน้ำจืดไหลซึมมาจากแม่น้ำมากขึ้น น้ำทะเลจึงถอยล่นออกไป ส่วนการแก้ไขปัญหาน้ำเค็มจะต้องพิจารณาถึงแหล่งที่มาของน้ำเค็ม และขนาดของปัญหา สามารถป้องกันได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสูบน้ำ ลดปริมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่อให้น้ำจืดไหลลงไปดันน้ำเค็มและเลื่อนตำแหน่งของบ่อน้ำให้ไกลจากทะเลมากขึ้น

2. การเติมน้ำเทียม เพื่อยกระดับชั้นน้ำบาดาลให้สูงขึ้น ทำให้ทั้งชนิดอัดน้ำลงบ่อ และชนิดแ่งน้ำ
3. รั้วชลศาสตร์ สูบน้ำจากบ่อที่ตั้งอยู่ริมชายฝั่ง จะทำให้เกิดร่องน้ำตามแนวบ่อน้ำเค็มที่หนุนแทรก น้ำเค็มจะไหลเข้าไปสู่อบ่อและไม่ไหลเข้าไปในแผ่นดิน
4. รั้วใต้ดิน สร้างรั้วโดยใช้วัสดุที่ทนน้ำ เช่น ดินเหนียว ยางมะตอย ปูนซีเมนต์ และพลาสติก เป็นต้น เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเค็มไหลเข้ามาแทรกในดิน
5. เชื่อนใต้ดิน เป็นการขุดหลุมลงไปใต้ดินและใส่สารที่ขยับลงไปกั้นไม่ให้น้ำทะเลไหลเข้ามา

การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลธรรมชาติต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน ได้แก่ การเกษตรกรรม การอุปโภคบริโภค และการอุตสาหกรรม ในประเทศไทยมีปัญหาคือ ในน้ำบาดาลมีปริมาณของ เหล็ก แมงกานีส ความกระด้าง ความเค็ม และเชื้อโรค สูง หลักการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลได้แก่ การกำจัดเหล็กและแมงกานีส การลดความกระด้าง การฆ่าเชื้อโรค การลดความเค็ม โดยทั่วไปการลดความเค็มจะมี 2 วิธี ได้แก่ (1) Reverse osmosis (RO) เป็นวิธีการที่นิยมใช้กับน้ำบาดาลในพื้นที่ริมชายฝั่งทะเลและ (2) การแลกเปลี่ยนไอออนให้น้ำไหลผ่านเรซินสังเคราะห์ เพื่อลดการนำไฟฟ้าและลดความเค็ม

## 2.5 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์

ในการวิจัยครั้งนี้เราจะใช้หลักการทางคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้ในการพยากรณ์ข้อมูล

### 2.5.1 การประมาณค่าในช่วง

การประมาณค่าในช่วง (Interpolation) เป็นทฤษฎีในวิชาคณิตศาสตร์ขั้นสูงสำหรับวิศวกร (เปี่ยมศรี สุวรรณภูมิ, 2540) เป็นการประมาณค่าที่จุดที่เราสนใจ โดยปกติการประมาณค่าจะนิยมใช้กันอยู่ 2 วิธี คือ วิธีการประมาณค่าในช่วงโดยใช้ผลต่างการแบ่งย่อยของนิวตัน (Newton's divided-difference interpolation polynomial) และวิธีการประมาณค่าในช่วงโดยใช้ฟังก์ชันพหุนามของลากรองจ์ (Lagrange interpolation polynomial)

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะใช้วิธีการประมาณค่าของนิวตันมาใช้ในการคำนวณ และสนใจเพียงการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นตรงเท่านั้น (Linear Interpolation) โดยส่วนใหญ่ในงานวิจัยครั้งนี้มีช่วงข้อมูลจะที่ขาดหายไป จึงจำเป็นต้องหาช่วงหรือจุดตัดระหว่างเส้นกราฟและทำให้ข้อมูลสมบูรณ์ การประมาณค่านี้จะมีหลักการคือ เมื่อเรามีช่วงข้อมูลที่ขาดหายไป เราจะทำการประมาณค่าข้อมูลช่วงที่ขาดหายไปโดยใช้สมการเส้นตรงเป็นตัวประมาณ ยกตัวอย่าง เมื่อเรามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร (X กับ Y) และสิ่งที่เราต้องการจะทราบจะถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชัน  $f(x)$  เราสามารถสร้างสมการเส้นตรงที่ผ่านจุดทั้งสองได้ โดยที่สมการเส้นตรงหาได้จากการกำหนดให้เป็นสมการ  $y = P_1(x)$  ที่จะนิยามในช่วงของ  $x \in [x_0, x_1]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากต้องการที่จะทราบค่าของฟังก์ชัน  $f(x_i)$  ที่ตำแหน่ง  $x$  ใด ๆ จะกำหนดให้เป็น  $x_i$  ในที่นี้จะพบว่าจุดต่าง ๆ บนแกน  $x$  เรียงตัวกันดังนี้คือ  $x_0 < x_i < x_1^* < x_1$  เนื่องจากเราไม่ทราบ  $f(x)$  แต่มีจุดข้อมูล 2 จุด และสมการเส้นตรงที่ผ่าน 2 จุดนั้นสามารถทำการประมาณฟังก์ชันด้วยฟังก์ชันหรือสมการเส้นตรงที่เราสร้างขึ้น  $f(x) \approx P_1(x)$  ดังนั้นค่าของฟังก์ชันที่เราสนใจ  $f(x_i)$  ก็จะประมาณได้ด้วย  $P_1(x_i)$  สมการหลักที่ใช้อธิบายกราฟเส้นตรงผ่านจุด 2 จุด คือ สมการเส้นตรงเขียนได้ดังสมการ

$$f(x) \approx P_1(x) = f(x_0) + (x-x_0) \frac{f(x_1)-f(x_0)}{x_1-x_0} \quad (2.2)$$

เมื่อสนใจค่าของฟังก์ชันที่ตำแหน่ง  $x_i$  อยู่ระหว่าง  $x_0$  กับ  $x_1$  จะคำนวณหาสมการเส้นตรงจะได้สมการ  $P_1(x)$  ค่าฟังก์ชันในตำแหน่งที่เราสนใจจะมีค่า  $f(x_i) \approx P_1(x_i)$  ถ้าจะกำหนดช่วงข้อมูลให้แคบลงจาก  $x_1$  เป็น  $x_1^*$  เมื่อคำนวณหาสมการเส้นตรงในช่วง  $x \in [x_0, x_1^*]$  จะได้สมการ  $P_1^*(x)$  และได้ค่าฟังก์ชันเท่ากับ  $f(x_i) \approx P_1^*(x_i)$

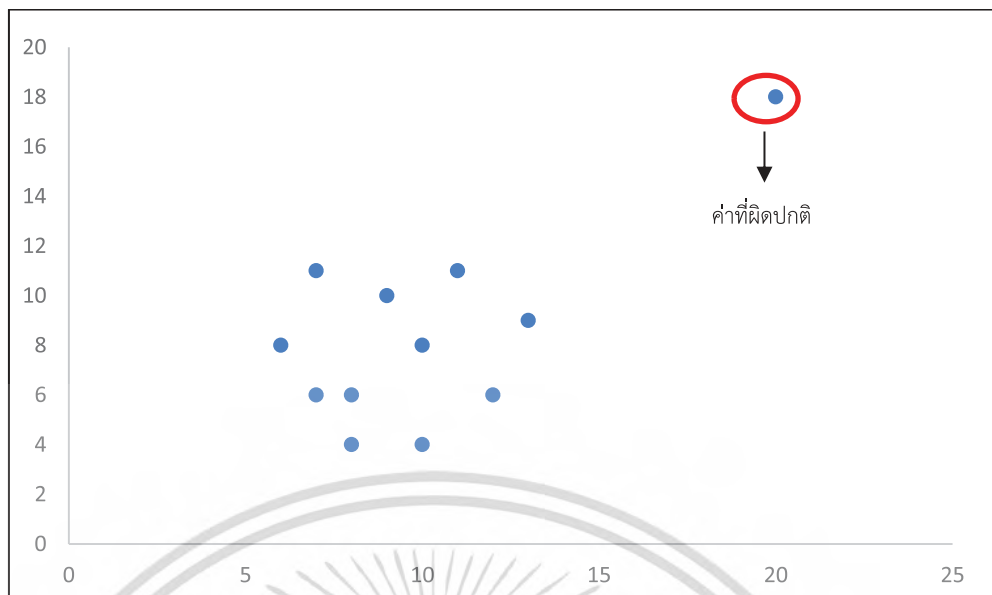
## 2.5.2 การตรวจสอบค่าผิดปกติ

การตรวจสอบค่าผิดปกติ (outlier) เป็นการตรวจว่าข้อมูลมีค่าของข้อมูลที่ผิดปกติจากชุดข้อมูลหรือไม่และเป็นการตัดข้อมูลที่มีความผิดปกติออกไปจากกราฟการกระจายตัวของข้อมูล (กัลยา วานิชย์บัญชา. 2552 ; มุกดา แม่นมิตร. 2549 ; ทรงศิริ แต้มสมบัติ. 2548) เป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายโดยการนำข้อมูลไปพลอตกราฟและสังเกตว่าข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาในกราฟมีการกระจายตัวของข้อมูล มีข้อมูลตัวไหนที่อยู่ห่างจากกลุ่มมากกว่าหรือน้อยกว่าปกติ ข้อมูลที่มากกว่าหรือน้อยกว่าปกติในกราฟจะเรียกว่าค่าผิดปกติ ค่าผิดปกติเหล่านี้จะทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีค่าที่สูงขึ้น และทำให้ค่าความถูกต้องลดลง เมื่อนำไปทำการสร้างแบบจำลองหรือนำไปคำนวณต่ออาจให้ค่าที่ผิดเพี้ยนไป จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาว่าค่าสังเกตหรือข้อมูลนั้นเป็นค่าที่เก็บรวบรวมมาอย่างสมเหตุสมผลหรือไม่ ถ้าพบว่าค่าผิดปกติเกิดจากความผิดพลาดของการบันทึกข้อมูลหรือจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติก็ควรที่จะตัดข้อมูลเหล่านั้นทิ้งไป การตัดข้อมูลหรือค่าที่ผิดปกติออกไป ควรทำก่อนที่จะนำไปคำนวณต่อไปและการพล็อตในการตรวจสอบค่าผิดปกติ มีรายละเอียดต่างๆดังนี้

1. สร้างแผนภาพการกระจายหรือกราฟ  $X$  กับ  $Y$  และพิจารณาว่าจุดที่อยู่ห่างจากกลุ่มมากเป็นจุดที่เกิดจากค่าผิดปกติหรือไม่
2. พล็อตค่าความคลาดเคลื่อนกับ  $X$  โดยปกติค่าความคลาดเคลื่อนจะไม่ต่างจาก 0 มาก

3. พล็อตค่าความคลาดเคลื่อนแบบต่าง ๆ เพื่อพิจารณาการแจกแจงและการแจกแจงต้องเป็นแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างค่าผิดปกติ (outlier)

การตรวจสอบค่าผิดปกติและการตัดข้อมูลที่ผิดปกติออกป็นั้นมีความจำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นอย่างมาก เพื่อจะทำให้ค่าที่คำนวณมีความถูกต้องแล้วยังทำให้ค่าของข้อมูลมีความเหมาะสมต่อการนำไปคำนวณ จากรูปที่ 2.6 จะแสดงให้เห็นรูปของการพลอตกราฟที่มีข้อมูลผิดปกติอยู่ ค่าที่มีข้อมูลผิดปกติอาจจะมีค่าที่สูงหรือต่ำมากเกินไป จะทำให้ค่าสถิติพรรณนาของกลุ่มข้อมูลผิดเพี้ยนไปจึงจำเป็นต้องทำการตัดข้อมูลนั้นทิ้งไป

### 2.5.3 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม

การวิเคราะห์กลุ่มข้อมูล (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2552) เป็นเทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูลหรือการแบ่งกลุ่ม คน สัตว์ สิ่งของ ออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ อย่างน้อย 2 กลุ่ม มีหลักการคือ ข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่คล้ายกัน แต่ข้อมูลที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่ต่างกันหรือข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมากและข้อมูลที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย โดยทั่วไปการวิเคราะห์กลุ่มจะมี 3 เทคนิคได้แก่

1. การวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster analysis)
2. การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis)
3. การวิเคราะห์ด้วยถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis)

ทั้ง 3 เทคนิคนี้มีรายละเอียด วัตถุประสงค์และหลักการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันไป ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะสนใจในเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster analysis) เพียงเทคนิคเดียว และการทำการวิเคราะห์กลุ่มจะมีเงื่อนไขในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ คือ

1. ไม่ทราบจำนวนกลุ่มมาก่อนว่ามีกี่กลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ไม่ทราบมาก่อนว่าหน่วยใดจะอยู่กลุ่มใด
3. หน่วยใดจะต้องอยู่กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเพียงกลุ่มเดียว
4. ตัวแปรที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมีมากกว่า 1 ตัว เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพหรือตัวแปรเชิงปริมาณก็ได้

ในการพิจารณาจัดกลุ่มจะจัดหน่วยใดอยู่ในกลุ่มใดจะพิจารณาจากความคล้ายหรือความต่างหรือความห่าง โดยที่การวัดความคล้ายจะพิจารณาค่าของตัวแปรต่าง ๆ ว่ามีค่าที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันหรือไม่ ถ้าค่าของตัวแปรมีค่าที่ใกล้เคียงกันหรือเหมือนกัน แสดงว่าตัวแปรนั้น ๆ มีความคล้ายกันมาก แต่ถ้าค่าความคล้ายของตัวแปรต่างกันมากแสดงว่า ตัวแปรนั้น ๆ มีความต่างกัน โดยความต่างของตัวแปรต่าง ๆ จะวัดจากระยะห่างระหว่างตัวแปร ถ้าค่าระยะห่างระหว่างตัวแปรมีค่ามากจะแสดงว่าตัวแปรนั้น ๆ จะอยู่คนละกลุ่มกัน โดยทั่วไปประเภทของเทคนิค Cluster analysis จะมีเทคนิคที่นิยมใช้กันมาก 2 เทคนิค คือ การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical cluster analysis) และการวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Nonhierarchical cluster analysis หรือบางครั้งเรียกว่า K – Means cluster analysis ) ในงานวิจัยครั้งนี้เราจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical cluster analysis) เพียงอย่างเดียวเป็นการแบ่งกลุ่มแบบเป็นขั้นตอน และเมื่อนำข้อมูลมาไว้ในกลุ่มแล้ว จะไม่มีการย้ายข้อมูลไปไว้ที่กลุ่มอื่น ๆ อีก และเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical cluster) มีเทคนิคย่อย 2 เทคนิคคือ เทคนิคแรก Agglomerative hierarchical cluster analysis และเทคนิคที่สอง Divisive hierarchical cluster analysis สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะใช้เทคนิค Agglomerative hierarchical cluster analysis วิธีนี้จะพิจารณาด้วยการวิเคราะห์ว่าข้อมูล 1 หน่วย คือ 1 กลุ่ม ถ้ามี n หน่วยจะมี n กลุ่ม จากนั้นจะทำการจัดกลุ่มเข้าด้วยกันโดยพิจารณาจากความคล้ายหรือต่างกันของแต่ละหน่วย ถ้ามีความคล้ายกันก็จะรวมกลุ่มกัน แต่ถ้ามีความต่างก็จะแยกกลุ่มกันและจะทำการรวมกลุ่มต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกันจนเหลือเพียงกลุ่มเดียวและขั้นตอนของเทคนิค Agglomeration สำหรับการจัดกลุ่มจะมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกตัวแปรหรือปัจจัยที่คาดว่าจะทำให้หน่วยต่างกัน

ขั้นตอนที่ 2 ถ้ามีตัวอย่าง n หน่วย คือ 1 หน่วย = 1 กลุ่ม จะมีตัวอย่างทั้งหมด n กลุ่ม

ขั้นตอนที่ 3 เลือกว่าจะวัดความคล้ายหรือความต่าง โดยวิธีการวัดความคล้ายก็จะมีหลากหลายวิธีและการวัดความต่างก็จะมีหลายวิธีให้เลือกเช่นกัน

ขั้นตอนที่ 4 ย้อนกลับไปขั้นที่ 2 เพื่อคำนวณค่าความคล้ายหรือความต่างของแต่ละคู่กลุ่มที่เหลือแล้วเลือกวิธีการรวมกลุ่มเพื่อลดจำนวนกลุ่ม วิธีการรวมกลุ่มเพื่อลดจำนวนกลุ่มมีหลากหลายวิธีให้เลือกดังนี้

#### 1. วิธีรวมกลุ่มแบบเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 2.5.4 การพยากรณ์ข้อมูล

ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้จะเกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ข้อมูล (วิจิต หล่อจิระคุณท์. 2548 ; มุกดา แม่นมิตร. 2549 ; ทรงศิริ แต่มสมบัติ. 2549) การพยากรณ์เป็นการคาดคะเนหรือเป็นการศึกษารูปแบบการเกิดของเหตุการณ์ในอนาคต โดยใช้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาอย่างเป็นระบบและความรู้ความสามารถของผู้พยากรณ์ การพยากรณ์มีความสำคัญมากสำหรับการวางแผนและการจัดการต่อบุคคลและองค์กรต่าง ๆ และการพยากรณ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. การพยากรณ์เชิงคุณภาพ
2. การพยากรณ์เชิงปริมาณ

การพยากรณ์จะมีความแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้เราได้ใช้การพยากรณ์เชิงปริมาณมาใช้ในการศึกษา การพยากรณ์เชิงปริมาณเป็นการพยากรณ์ที่ใช้ข้อมูลและรายละเอียดของข้อมูลในอดีตที่เก็บรวบรวมมาใช้เป็นหลักในการพยากรณ์ การพยากรณ์เชิงปริมาณสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่

1. การวิเคราะห์อนุกรมเวลา เป็นการศึกษารูปแบบการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาที่กำหนดด้วยรูปแบบอนุกรมเวลา ข้อมูลที่ใช้ในอนุกรมเวลาจะเป็นค่าสังเกตที่เก็บรวบรวมตามเวลาอย่างต่อเนื่อง
2. การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือปัจจัย เป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์และอธิบายลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือปัจจัยในรูปแบบทางสถิติ
3. การตรวจสอบดำเนินงานของระบบ เป็นการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับเวลาอย่างต่อเนื่องและจะควบคุมการดำเนินงานโดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา

ในปัจจุบันการพยากรณ์เชิงปริมาณได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากหลายสาเหตุได้แก่ การบริหารองค์กร การวิเคราะห์สภาพเศรษฐกิจ การวิเคราะห์การลงทุน และการบริหารจัดการในด้านต่าง ๆ เป็นต้น หลักการและวิธีการในการพยากรณ์นั้นมีหลากหลายวิธี แต่ละวิธีจะเหมาะสมลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้พยากรณ์จำเป็นต้องทราบรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ ช่วงพยากรณ์ ระดับของผู้ใช้ค่าพยากรณ์ จำนวนเหตุการณ์ที่ต้องการพยากรณ์ วัตถุประสงค์ของการพยากรณ์ ข้อมูลอนุกรมเวลา วิธีพยากรณ์ที่จะใช้ วิธีพยากรณ์ที่ใช้อยู่ขั้นตอนการพยากรณ์มี 6 ขั้นตอนได้แก่

- ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดปัญหา
- ขั้นตอนที่ 2 การรวบรวมข้อมูล
- ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์เบื้องต้น
- ขั้นตอนที่ 4 การกำหนดรูปแบบและการสร้างสมการพยากรณ์
- ขั้นตอนที่ 5 การใช้ค่าพยากรณ์และการประเมินรูปแบบการพยากรณ์
- ขั้นตอนที่ 6 ความสำเร็จของการพยากรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพยากรณ์เชิงปริมาณเป็นการพยากรณ์ที่ไม่คำนึงถึงปัจจัยภายนอกหรือภายใน แต่จะใช้ข้อมูลจากอดีตเป็นหลักในการพยากรณ์ ในบางครั้งค่าพยากรณ์ที่มาจากวิธีการพยากรณ์ที่แตกต่างกันจะให้ความน่าเชื่อถือไม่ต่างกัน และการรวมค่าพยากรณ์จะเป็นวิธีที่ให้ค่าพยากรณ์ที่ดี

### 2.5.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ร่วม

การศึกษาหาค่าสหสัมพันธ์ร่วม (Cross correlation) (ทรงศิริ แต้มสมบัติ. 2549) เป็นการวัดค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมเวลาสองชุด  $\{x_t\}$  และ  $\{y_t\}$  เป็นค่าวัดสหสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมเวลาที่สังเกตในช่วงเวลาห่างกัน  $k$  จะวัดค่าสหสัมพันธ์ร่วมระหว่างอนุกรมเวลา  $\{x_{t-k}\}$  และอนุกรมเวลา  $\{y_t\}$  และค่าสหสัมพันธ์ร่วมระหว่างอนุกรมเวลา  $\{y_{t-k}\}$  และอนุกรมเวลา  $\{x_t\}$  แทนด้วย  $r_{\cdot k}(x_t, y_t)$

$$r_k(x_t, y_t) = \frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_t - \bar{Y})(X_{t-k} - \bar{X})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2 \sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}} \quad \text{และ} \quad r_{\cdot k}(x_t, y_t) = \frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_{t-k} - \bar{Y})(X_t - \bar{X})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2 \sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}} \quad (2.3)$$

ถ้าศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมเวลา  $\{x_{t-k}\}$  และ  $\{y_t\}$  จะแสดงว่าอนุกรมเวลา  $\{x_t\}$  เกิดก่อนอนุกรมเวลา  $\{y_t\}$  เป็นระยะเวลา  $k$  ช่วง จะเรียกอนุกรมเวลา  $\{x_t\}$  ว่าเป็นอนุกรมเวลาขึ้นนำ ถ้าศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมเวลา  $\{y_{t-k}\}$  และ  $\{x_t\}$  จะแสดงว่าอนุกรมเวลา  $\{x_t\}$  เกิดหลังอนุกรมเวลา  $\{y_t\}$  เป็นระยะเวลา  $k$  ช่วง จะเรียกอนุกรมเวลา  $\{x_t\}$  ว่าเป็นอนุกรมเวลาตาม ถ้าศึกษาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมเวลา  $\{x_t\}$  และ  $\{y_t\}$  เกิดขึ้นพร้อมกันจะเรียกว่าอนุกรมเวลาพ้อง (กัลยา วานิชย์บัญชา. 2545) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ร่วมที่ช่วงเวลาห่าง  $k$  หรือ  $r_k(x_t, y_t)$  ในประชากร  $\rho_k(x_t, y_t)$  มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ  $r_k(x_t, y_t)$  หรือค่า  $s_{r_k}(x_t, y_t)$  เท่ากับ  $1/\sqrt{n-k}$  เมื่อ  $n$  เป็นขนาดของอนุกรมเวลาเดิมและ  $k$  เป็นช่วงเวลาห่าง การทดสอบว่า  $r_k(x_t, y_t)$  มาจาก  $\rho_k(x_t, y_t)$  ที่มีค่าเท่ากับ 0 ทำโดยกำหนด  $H_0: \rho_k(x_t, y_t) = 0$  กับ  $H_1: \rho_k(x_t, y_t) \neq 0$  สำหรับ  $k = 1, 2, \dots$  มี  $r_k(x_t, y_t)$  เป็นตัวทดสอบสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีช่วงวิกฤติ  $CR: |r_k(x_t, y_t)| \geq 2/\sqrt{n-k}$

### 2.5.6 การวิเคราะห์สมการถดถอย

การวิเคราะห์สมการถดถอย (ทรงศิริ แต้มสมบัติ. 2548 ; กัลยา วานิชย์บัญชา. 2552) เป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่สองตัวแปรขึ้นไปเพื่อทราบถึงขนาดความสัมพันธ์และทิศทางระหว่างตัวแปร การศึกษาการวิเคราะห์สมการถดถอยมีประโยชน์อย่างมากเพื่อการตัดสินใจและวางแผนโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถนำไปประมาณค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งหรือสามารถพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคตได้ การวิเคราะห์สมการถดถอยมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบในการวิเคราะห์หลากหลายรูปแบบ แต่ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้รูปแบบสมการถดถอยแบบเชิงเส้นตรงพหุ (Multiple linear regression)

การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุ (Multiple linear regression) (วิชิต หล่อจิระชุมพ์. 2548 ; ทรงศิริ แต่มสมบัติ. 2549) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหลายตัว (Independent variables) กับตัวแปรตาม 1 ตัว (Dependent variable) ในความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุจะมีข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์คือ ข้อมูลต้องมีการแจกแจงแบบปกติ ข้อมูลต้องมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง ความแปรปรวนของข้อมูลต้องมีค่าคงที่ และข้อมูลต้องไม่มีปัญหา Multicollinearity ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ได้นำวิธีการนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โดยเขียนความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการได้ดังนี้

$$\text{สมการในรูปของประชากร } Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \varepsilon \quad (2.4)$$

$$\text{สมการในรูปของตัวอย่าง } y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_i x_i + e \quad (2.5)$$

$$\text{สมการพยากรณ์ } \hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_i x_i \quad (2.6)$$

$x_i$  คือ ค่าของตัวแปรอิสระแต่ละตัว

$y$  คือ ค่าของตัวแปรตาม

$\hat{y}$  คือ ค่าประมาณของตัวอย่าง

$i$  คือ จำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอย

$b_0$  คือ ค่าคงที่ของสมการถดถอย

$b_i$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

$\varepsilon$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

ค่าทางสถิติที่อธิบายความสอดคล้องของสมการความถดถอย ในการวิเคราะห์ความถดถอยนั้นจะเป็นการประมาณความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ  $X$  ต่อตัวแปรตาม  $Y$  โดยการสร้างสมการถดถอยเพื่อใช้ในการพยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่าสังเกตที่สนใจศึกษา โดยขั้นตอนการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การพิจารณาว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบว่าตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่

ขั้นตอนที่ 3 การพิจารณาว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรงหรือไม่

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างสมการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุโดยเลือกนำตัวแปรอิสระเข้าสมการแบบ Stepwise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 การทดสอบว่าสมการถดถอยนั้นใช้ได้หรือไม่โดยพิจารณาจากค่า F บ่งบอกถึงการมีนัยสำคัญหรือไม่ ถ้าทดสอบแล้วพบว่าค่า F มีนัยสำคัญ (Sig. มีค่าน้อยกว่า 0.05) แสดงว่าสมการที่สร้างมานั้นใช้ได้และต้องพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) โดยปกติในการตรวจสอบว่าสมการถดถอยนั้นอธิบายความสัมพันธ์ได้ดีหรือไม่ โดยส่วนใหญ่แล้วจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ )

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R Square) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจหรือ  $R^2$  หมายถึง สัดส่วนที่ตัวแปร X อธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y ได้ ถ้า  $R^2$  มีค่ามากแสดงว่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันมาก โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีสมการดังนี้

$$R^2 = SSR / SST = 1 - SSE / SST \quad (2.7)$$

SSR คือ ผลรวมกำลังสองของผลต่างของค่าประมาณและค่าเฉลี่ย

SST คือ ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

SSE คือ ผลรวมกำลังสองของผลต่างของค่าสังเกตและค่าเฉลี่ย

ถ้า  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเปอร์เซ็นต์ที่ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลง Y มีค่ามากหรือ X และ Y มีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้า  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า X มีความสัมพันธ์กับ Y น้อย

การพิจารณาค่า R Square ( $R^2$ ), ค่า Adjusted R Square ( $Adj.R^2$ ) ของตัวแบบสมการถดถอยที่ได้ว่ามีความเหมาะสมเพียงใดและทำการเลือกตัวแบบในขั้นตอนนี้ควรเลือกตัวแบบที่ใช้จำนวนตัวแปรอิสระในการพยากรณ์จำนวนน้อย ๆ แต่ให้ค่า R Square ( $R^2$ ) และค่า Adjusted R Square ( $Adj.R^2$ ) ที่มาก ๆ และมีค่า Std. Error of the Estimate ที่น้อย ๆ

ขั้นตอน 6 การทดสอบแล้วพบว่า มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ต้องทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระครั้งละ 1 ตัว โดยต้องทำการทดสอบสมมติฐาน  $i$  ครั้ง สำหรับตัวแปรอิสระ  $i$  ตัว โดยใช้ t-test ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ  $X_i$  สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

$$\text{สถิติทดสอบ } t = \frac{b_i - 0}{SE(b_i)} \quad (2.8)$$

$SE(b_i)$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ  $b_i$

ถ้าทดสอบแล้วพบว่าค่า Sig. น้อยกว่า .05 แสดงว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตามอย่างนัยสำคัญทางสถิติจะนำตัวแปรนั้นเข้าสมการถดถอยเชิงเส้น

ขั้นตอนที่ 7 การทดสอบข้อกำหนดของการวิเคราะห์สมการถดถอยว่าตัวแปรอิสระทุกตัวต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน ในการทดสอบเพื่อดูว่าตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระตัวอื่นที่เหลือหรือไม่นั้น จะต้องให้ตัวแปรอิสระตัวนั้นเป็นตัวแปรตามและให้ตัวแปรอิสระที่เหลืออื่น ๆ เป็นตัวแปรอิสระ จากนั้นคำนวณหาค่า  $R_i$  หรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุ (Multiple Correlation Coefficient) ของตัวแปรอิสระนั้นกับตัวแปรอิสระอื่น ๆ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Multiple Coefficient of Determination:  $R^2$ ) เพื่อนำไปหาค่า Tolerance โดยที่ค่า Tolerance มีค่าเท่ากับ  $1-R_i^2$  ดังนั้นถ้าค่า Tolerance มีค่ามากแสดงว่าตัวแปรอิสระตัวที่  $i$  มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่น ๆ น้อย ถ้าค่า Tolerance มีค่าใกล้ศูนย์แสดงว่าตัวแปรอิสระนั้นสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น ๆ นั่นคือเกิด multi collinearity เป็นการขัดแย้งกับเงื่อนไขของการวิเคราะห์สมการถดถอยหรืออาจจะหาค่า VIF (Variance Inflation Factor) มีค่าเท่ากับ  $1/(1-R_i^2)$  ดังนั้นถ้าค่า VIF มีค่ามากแสดงว่าตัวแปรอิสระตัวที่  $i$  นั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่น ๆ มาก

ขั้นตอนที่ 8 การตรวจสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับค่าความคลาดเคลื่อนโดยมีข้อกำหนดต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนหรือ residuals หรือ  $E(e)$  เท่ากับ 0
2. ค่าความคลาดเคลื่อน ( $e$ ) มีการแจกแจงแบบปกติ
3. ค่าความคลาดเคลื่อน ( $e$ ) จะต้องเป็นอิสระต่อกัน
4. ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่ทุกค่าของ  $X$  เท่ากับ  $\sigma^2$

ในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย โดยเทคนิคการการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise) การคัดเลือกแบบขั้นตอนเป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยกระบวนการที่ผสมกันระหว่างวิธีแบบเพิ่มไปข้างหน้า (Forward) และแบบถอยหลัง (Backward) เป็นวิธีที่นิยม โดยเริ่มจากการคัดเลือกตัวแปรอิสระตัวแรกเข้าสมการด้วยวิธี Forward นำตัวแปรอิสระเข้ามาในสมการครั้งละตัว เมื่อมีตัวแปรอิสระเข้าสมการแล้วต่อไปจะใช้เกณฑ์ของ Backward และ Forward ในการพิจารณาตัวแปรอิสระเข้าสมการในขณะเดียวกันก็จะพิจารณาตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการว่าควรตัดออกจากสมการหรือไม่ ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่สามารถเลือกตัวแปรอิสระใดเข้าสมการและไม่สามารถตัดตัวแปรอิสระใดออกจากสมการได้อีกแสดงว่าสมการที่ได้เป็นสมการถดถอยที่มีความเหมาะสม

### 2.5.7 เทคนิคการปรับให้เรียบ

เทคนิคการปรับให้เรียบ (วิชิต หล่อจียรชุนท์. 2548 ; มุกดา แม้นมินทร์. 2549 ; ทรงศิริ แต่มสมบัติ. 2549) เป็นวิธีสร้างสมการพยากรณ์จากค่าสังเกตในอนุกรมเวลา เทคนิคการปรับให้เรียบเหมาะสมกับกรณีที่อนุกรมเวลามีลักษณะเคลื่อนไหวอย่างมีแบบแผนอยู่ตลอดเวลา โดยเทคนิคนี้จะปรับสมการพยากรณ์แตกต่างตามน้ำหนักและลักษณะของอนุกรมเวลา เทคนิคการปรับให้เรียบมี 4 แบบ ได้แก่ อนุกรมเวลาที่ไม่มีแนวโน้มและมีอิทธิพลฤดูกาล อนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มและมีอิทธิพลฤดูกาล อนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มแต่ไม่มีอิทธิพลฤดูกาล อนุกรมเวลาที่ไม่มีแนวโน้มแต่มีอิทธิพลฤดูกาล และเทคนิคการปรับให้เรียบก็จะมีวิธีการสร้างสมการพยากรณ์หลายวิธีแตกต่างตามแต่ละแบบ หลักการสำคัญของการปรับให้เรียบคือการหาค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่เกิดในระยะเวลาที่เรียกว่าคาบ (period) ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะนำวิธีเทคนิคการปรับให้เรียบมาใช้ 3 แบบได้แก่

1. วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (Simple moving average) เป็นวิธีการปรับให้เรียบโดยมีหลักการคือ การลดความผันแปรและความไม่สม่ำเสมอของข้อมูลโดยการนำข้อมูลมาทำการเฉลี่ยจะทำให้ข้อมูลในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ นั้นมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอและมีช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันและการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่ายสามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$M_t^* = \frac{L_t}{N} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $M_t^*$  คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายที่จุดศูนย์กลางการเฉลี่ยเคลื่อนที่ (centered moving average) เท่ากับ  $t$

$$L \text{ คือ } Y_{t-(N-1)/2} + \dots + Y_t + \dots + Y_{t+(N-1)/2} \text{ เมื่อ } N \text{ เป็นเลขคี่}$$

$$Y_{t-(N/2)} + \dots + Y_t + \dots + Y_{t+(N/2)-1} \text{ เมื่อ } N \text{ เป็นเลขคู่}$$

$N$  คือ จำนวนช่วงเวลา

2. วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลเส้นตรงหรือวิธีแบบโฮลท์ (Holt's linear exponential smoothing) อาจเรียกได้อีกแบบว่าวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบสองครั้งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Double exponential smoothing) วิธีนี้เหมาะสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลที่มีแนวโน้มในรูปเชิงเส้น (linear trend) วิธีการนี้จะใช้หลักการเฉลี่ยเคลื่อนที่สองครั้งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเพื่อปรับให้สมการพยากรณ์มีความเรียบขึ้น วิธีแบบโฮลท์สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$\hat{Y}_{t+k} = a_t + b_t k \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เมื่อ  $\hat{Y}_{t+k}$  ค่าพยากรณ์เมื่อเวลา  $t+k$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $a_t$  หาได้จาก  $a_t = E_t + (E_t + E'_t)$
- $b_t$  หาได้จาก  $b_t = \left(\frac{w}{1-w}\right) (E_t - E'_t)$
- $t$  คือ จำนวนระยะเวลาที่แท้จริง
- $k$  คือ ผลห่างระหว่างเวลาที่ทำการพยากรณ์และเวลาที่ใช้พยากรณ์
- $E_t$  คือ ค่าปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลอย่างง่ายที่เวลา  $t$
- $E_1 = Y_1$
- $E_2 = wY_2 + (1-w)E_1$
- $E_t$  หาได้จาก  $wY_t + (1-w)E_{t-1}$
- $Y_t$  คือ ข้อมูลที่แท้จริง ณ เวลา  $t$  โดยมี  $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$
- $E'_t$  คือ ค่าปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้งที่เวลา  $t$
- $E'_t$  หาได้จาก  $wE_t + (1-w)E'_{t-1}$
- เมื่อ  $E'_t =$  ค่าปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้งที่ ณ เวลา  $t$  ( $E'_t = Y_1$ )
- $w$  คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ

3. วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลทริปเปิ้ลหรือวิธีแบบวินเตอร์ (Winter's method trend and seasonality) สามารถเรียกได้อีกวิธีว่าการเคลื่อนที่สามครั้งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยรูปแบบวิธีนี้จะเหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มและฤดูกาล วิธีนี้เป็นการปรับให้เรียบกับอนุกรมเวลาที่มีลักษณะแนวโน้มเป็นเส้นโค้งรูปแบบกำลังสอง วิธีวินเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$\hat{Y}_{t+k} = a_t + b_t k + \left(\frac{c_t}{2}\right) k^2 \quad (2.11)$$

- เมื่อ  $a_t$  หาได้จาก  $a_t = 3E_t - 3E'_t + E''_t$
- $b_t$  หาได้จาก  $b_t = \left(\frac{w}{2(1-w)^2}\right) [(6-5w)E_t - 2(5-4w)E'_t + (4-3w)E''_t]$
- $E_t$  คือ ค่าปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลอย่างง่ายที่เวลา  $t$
- $E'_t$  คือ ค่าปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองครั้งที่เวลา  $t$
- $E''_t$  คือ ค่าปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสามครั้งที่เวลา  $t$
- $E''_t$  หาได้จาก  $wE'_t + (1-w)E''_{t-1}$

การสร้างสมการพยากรณ์จากเทคนิคการปรับให้เรียบทุกวิธี ในการวิเคราะห์จะต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ในรูปแบบและกำหนดค่าการปรับให้เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ เทคนิคการปรับให้เรียบเป็นวิธีการพยากรณ์ที่ทันสมัยอยู่เสมอเพราะวิเคราะห์โดยการปรับด้วยค่าล่าสุดและการคำนวณไม่ยุ่งยาก ง่ายต่อการเข้าใจจึงเป็นข้อดีของเทคนิคนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.8 ค่าความถูกต้องของการพยากรณ์

ความถูกต้องของการพยากรณ์ (วิชิต หล่อจรัสสุนท์. 2548 ; มุกดา แม่นมินทร์. 2549 ; ทรงศิริ แท้มสมบัติ. 2549) มีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์มาเปรียบเทียบกับค่าจริงว่าค่าที่พยากรณ์นั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงนั้นหรือไม่ หรือสามารถเรียกค่าที่ทำการเปรียบเทียบนั้นว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (forecast error,  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ ) ถ้าค่าจริงนั้นต่างจากค่าที่พยากรณ์มาก ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ก็จะสูงในทางกลับกัน ถ้าค่าจริงมีความใกล้เคียงกับค่าพยากรณ์มาก ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ก็จะต่ำ การพิจารณาค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ต้องทราบค่าจริงโดยจะทำการพิจารณาค่าความถูกต้องในอดีต การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน โดยปกติแล้วค่าความคลาดเคลื่อนจะมีฟังก์ชันเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวัดค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ จะมีฟังก์ชันที่นิยมใช้กัน 3 แบบ ได้แก่ MAD MSE และ MAPE

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะสนใจค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (mean absolute percent error : MAPE) เป็นหลัก การวัดความคลาดเคลื่อนด้วยวิธีนี้จะสามารถเปรียบเทียบความถูกต้องของการพยากรณ์ได้และสามารถคัดเลือกวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุด โดยเลือกจากวิธีพยากรณ์ที่มีค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด และวิธีนี้ยังนิยมใช้สำหรับการคัดเลือกวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดสำหรับงานวิจัยต่าง ๆ

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| / Y_i}{n} \times 100\% \quad (2.12)$$

เมื่อ  $Y_i$  เป็นค่าข้อมูลที่แท้จริง

เมื่อ  $\hat{Y}_i$  เป็นค่าพยากรณ์

เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนข้อมูล

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวีธีการดำเนินการวิจัยในบทนี้ เป็นวางแผนสำหรับการศึกษาคำวิเคราะห์ สำหรับการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล ประกอบด้วยแผนผังการทดลอง การเก็บรวบรวมข้อมูล การกำหนดตัวแปรของการศึกษา และขั้นตอนการวิเคราะห์

### 3.1 แผนผังการทดลอง



รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 ผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองรวมทั้งการศึกษาข้อมูลที่อ้างอิงมาจากการศึกษาเกี่ยวกับพื้นที่ลุ่มน้ำท่าตอนล่าง ศึกษาทฤษฎีและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมา ทำการพิจารณาและสรุปผลการวิเคราะห์

### 3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ได้นำข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล ข้อมูลระดับน้ำที่ประตูระบายน้ำ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน บริเวณลุ่มน้ำท่าตอนล่างที่ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลมาแล้วในงานวิจัยครั้งนี้บริเวณลุ่มน้ำท่าตอนล่างเป็นพื้นที่ที่มุ่งเน้นในการศึกษาครั้งนี้ ลุ่มน้ำท่าตอนล่างเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำโขงตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และข้อมูลที่ได้มามีข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลของบ่อสังเกตการณ์ 27 บ่อ ถูกเก็บข้อมูลทุก ๆ 2 สัปดาห์ต่อหนึ่งครั้ง โดยในบ่อสังเกตการณ์จะมีข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลค่า pH และข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 จนถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555
2. ข้อมูลระดับน้ำจากประตูระบายน้ำทั้งหมด 12 ประตู ถูกเก็บรวบรวมรายวันมาตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 จนถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 โดยกรมชลประทาน
3. ข้อมูลปริมาณฝนจาก 5 สถานี ถูกเก็บรวบรวมรายวันมาตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 จนถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 โดยกรมชลประทาน

ข้อมูลดิบที่ประกอบด้วยข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประตูระบายน้ำและข้อมูลปริมาณฝนที่จัดเรียงอยู่ในโปรแกรม Microsoft Excel 2013 และอยู่ที่ตารางผ.ก. 1 ถึง ตารางที่ผ.ก. 3 ในภาคผนวก ก.

### 3.3 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองนี้มีทั้งหมด 98 ตัวแปร โดยผู้วิจัยได้ศึกษารวบรวมข้อมูลมาจากงานวิจัยก่อนหน้าและได้ทำการกำหนดตัวแปรขึ้นมาใหม่ โดยจะทำการเลือกตัวอย่างคุณภาพน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ที่ผู้วิจัยเห็นว่ามีความนำไฟฟ้ามากและข้อมูลค่อนข้างที่จะสมบูรณ์มาเป็นตัวแปรหลักในการวิจัยจะมี 3 ตัวแปรหลักจากบ่อสังเกตการณ์ทั้งหมด 27 บ่อ โดยจะทำการกำหนดตัวแปรดังนี้

- Y<sub>1</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S
- X<sub>1</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S
- X<sub>2</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S
- Y<sub>2</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D
- X<sub>3</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D
- X<sub>4</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D
- Y<sub>3</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- X<sub>5</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do
- X<sub>6</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do
- X<sub>7</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ NaKham upper gate
- X<sub>8</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ NaKham down gate
- X<sub>9</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ NaKhu upper gate
- X<sub>10</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ NaKhu down gate
- X<sub>11</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ TabTao upper gate
- X<sub>12</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ TabTao down gate
- X<sub>13</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ NaBua upper gate
- X<sub>14</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ NaBua down gate
- X<sub>15</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ NamKam upper gate
- X<sub>16</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ NamKam down gate
- X<sub>17</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ HeuyKan upper gate
- X<sub>18</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ HeuyKan down gate
- X<sub>19</sub> คือ ข้อมูลค่าปริมาณฝน Wang Yang Rain
- X<sub>20</sub> คือ ข้อมูลค่าปริมาณฝน Nakae Rain
- X<sub>21</sub> คือ ข้อมูลค่าปริมาณฝน Pla Bak Rain
- X<sub>22</sub> คือ ข้อมูลค่าปริมาณฝน Renu Rain
- X<sub>23</sub> คือ ข้อมูลค่าปริมาณฝน That Panom Rain
- X<sub>24</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BLK\_Y
- X<sub>25</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BLK\_Y
- X<sub>26</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BLK\_Y
- X<sub>27</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDD\_P
- X<sub>28</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDD\_P
- X<sub>29</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDD\_P
- X<sub>30</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDD
- X<sub>31</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDD
- X<sub>32</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDD
- X<sub>33</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDD\_C
- X<sub>34</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDD\_C
- X<sub>35</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDD\_C
- X<sub>36</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDY\_S
- X<sub>37</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDY\_S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- X<sub>38</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDY\_S
- X<sub>39</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BWY\_P
- X<sub>40</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BWY\_P
- X<sub>41</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BWY\_P
- X<sub>42</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BLS
- X<sub>43</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BLS
- X<sub>44</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BLS
- X<sub>45</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S1
- X<sub>46</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S1
- X<sub>47</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S1
- X<sub>48</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D1
- X<sub>49</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D1
- X<sub>50</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D1
- X<sub>51</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S2
- X<sub>52</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S2
- X<sub>53</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S2
- X<sub>54</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D2
- X<sub>55</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D2
- X<sub>56</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D2
- X<sub>57</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_S
- X<sub>58</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_S
- X<sub>59</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_S
- X<sub>60</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Dn
- X<sub>61</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Dn
- X<sub>62</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Dn
- X<sub>63</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_S1
- X<sub>64</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_S1
- X<sub>65</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_S1
- X<sub>66</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_D1
- X<sub>67</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_D1
- X<sub>68</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_D1
- X<sub>69</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_S2
- X<sub>70</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

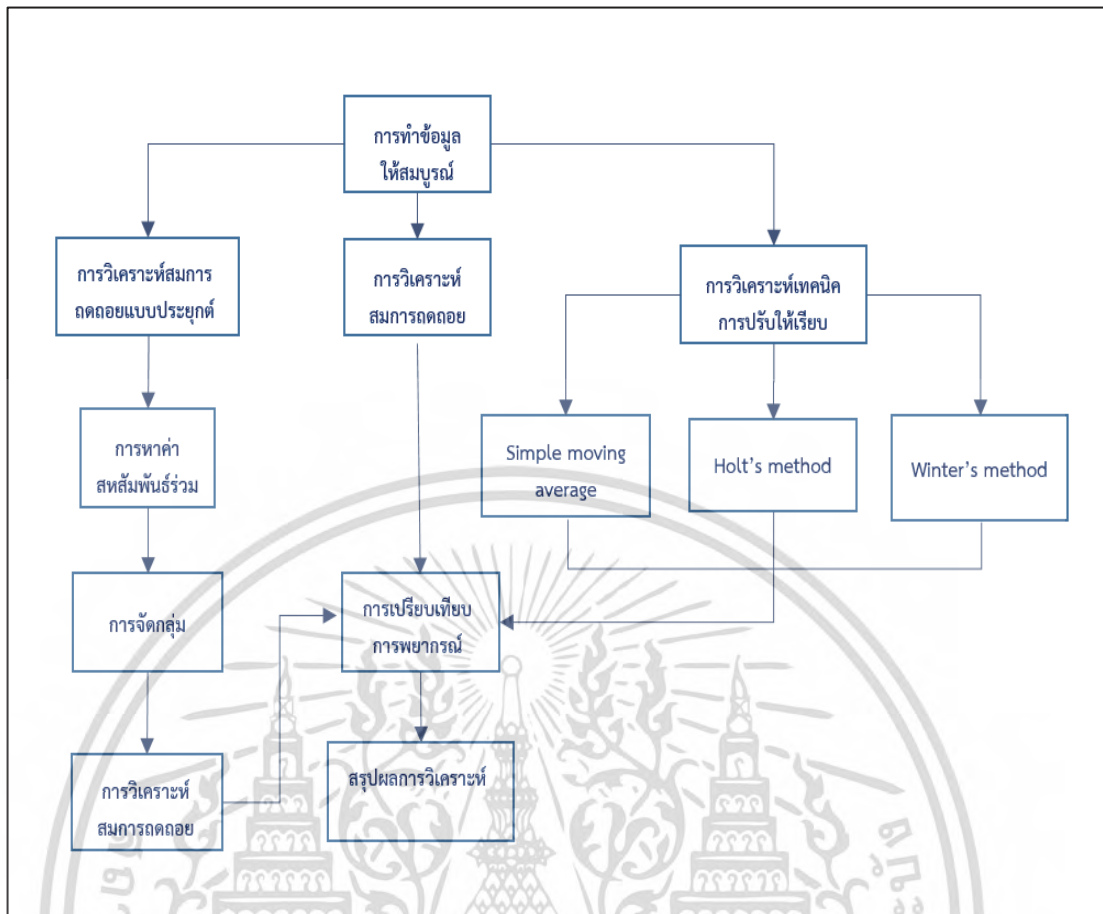
- X<sub>71</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_S2  
 X<sub>72</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_D2  
 X<sub>73</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_D2  
 X<sub>74</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_D2  
 X<sub>75</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BNK\_D  
 X<sub>76</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BNK\_D  
 X<sub>77</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BNK\_D  
 X<sub>78</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPMT\_D  
 X<sub>79</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BPMT\_D  
 X<sub>80</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPMT\_D  
 X<sub>81</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPM\_K  
 X<sub>82</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BPM\_K  
 X<sub>83</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPM\_K  
 X<sub>84</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BJM\_C  
 X<sub>85</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BJM\_C  
 X<sub>86</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BJM\_C  
 X<sub>87</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BJM\_W  
 X<sub>88</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BJM\_W  
 X<sub>89</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BJM\_W  
 X<sub>90</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BLT  
 X<sub>91</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BLT  
 X<sub>92</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BLT  
 X<sub>93</sub> คือ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BSL\_J  
 X<sub>94</sub> คือ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BSL\_J  
 X<sub>95</sub> คือ ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BSL\_J

โดยตัวแปรที่กำหนดให้เป็น Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub> และ Y<sub>3</sub> คือตัวแปรที่มีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุดจากบ่อสังเกตการณ์ 27 บ่อ และทั้ง 3 ตัวแปรจะเป็นตัวแปรหลักในการทำนายครั้งนี้

### 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นที่จะต้องวางแผนการวิเคราะห์ โดยการวางแผนการวิเคราะห์สามารถทำได้ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงการวิเคราะห์ข้อมูล

### 3.4.1 การทำข้อมูลให้สมบูรณ์

การทำข้อมูลให้สมบูรณ์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2013 และโปรแกรม PAST (Paleontological Statistics version 3.15) ในการทำให้ข้อมูลสมบูรณ์มีขั้นตอนดังนี้  
 ขั้นตอนที่ 1 นำข้อมูลคุณภาพน้ำของบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประตุน้ำ ปริมาณฝน มาทำการการเฉลี่ยในแต่ละเดือน เพื่อให้ข้อมูลเป็นรายเดือนโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2013

ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลที่ทำการเฉลี่ยแล้วมาพลอตกราฟดูค่าผิดปกติ (outlier) ถ้าข้อมูลไหนในกราฟมีค่าที่ผิดปกติทำการตัดค่านั้นทิ้งโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2013

ขั้นตอนที่ 3 ทำการประมาณค่าในช่วงข้อมูลที่ขาดหาย (interpolation) โดยใช้โปรแกรม PAST แล้วนำข้อมูลมาใส่ในโปรแกรม Microsoft Excel 2013 เพื่อให้ข้อมูลมีความสมบูรณ์และสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไปได้

ขั้นตอนที่ 4 ทำการกำหนดตัวแปร โดยเลือกข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่มากที่สุดจากบ่อสังเกตการณ์ 3 บ่อ มาเป็นตัวแปรหลัก  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$

### 3.4.2 การหาค่าสหสัมพันธ์ร่วม

การหาค่าสหสัมพันธ์ร่วมจะใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for Social Science version 23) โดยนำข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.4.1 มาทำการหาค่าสหสัมพันธ์ร่วม (Cross correlation) โดยนำข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของทั้ง 3 บ่อหลักมาจับคู่หาค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับข้อมูลของตัวแปรอิสระทุกตัวที่มี และนำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาโดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำข้อมูลจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูลให้สมบูรณ์แล้วมาทำการวิเคราะห์โดยจะนำตัวแปรหลักมาจับคู่กับตัวแปรอิสระต่าง ๆ ทีละคู่เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์ร่วมระหว่างตัวแปรแต่ละคู่

ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลค่าสหสัมพันธ์ร่วมทั้งหมดจากการวิเคราะห์มาจัดใส่ในตารางโปรแกรม Microsoft Excel 2013 โดยมีข้อมูลตัวแปรหลัก ตัวแปรอิสระที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมที่สูงที่สุด และค่าสหสัมพันธ์ร่วมของแต่ละคู่ของตัวแปรหลัก เพื่อความสะดวกในการนำไปทำการวิเคราะห์ขั้นถัดไป

### 3.4.3 การจัดกลุ่มตัวแปรข้อมูล

การจัดกลุ่มจะใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for Social Science version 23) โดยจะนำตัวแปรที่ได้จากการหาค่าสหสัมพันธ์แบบร่วมมาทำการจัดกลุ่มตัวแปรเพื่อที่จะนำกลุ่มของตัวแปรไปทำการวิเคราะห์สมการถดถอยในขั้นถัดไป แต่ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์จะต้องทำการจัดกลุ่มตัวแปรจากนั้นจะหาตัวแทนของแต่ละกลุ่มของตัวแปรเพื่อนำไปสร้างสมการถดถอยต่อไป โดยการจัดกลุ่มมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำค่าสหสัมพันธ์ร่วมที่ได้มาทำการจัดกลุ่มโดยก่อนทำการจัดกลุ่มจะเพิ่มชนิดของข้อมูลในการทำการจัดกลุ่ม โดยชนิดของข้อมูลจะกำหนดดังนี้

ชนิดที่ 1 คือ ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์

ชนิดที่ 2 คือ ค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์

ชนิดที่ 3 คือ ค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์

ชนิดที่ 4 คือ ค่าระดับน้ำของประตูระบายน้ำ

ชนิดที่ 5 คือ ค่าปริมาณน้ำฝน

ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลจากขั้นตอนแรกมาใส่ในโปรแกรม SPSS โดยใส่ข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ ที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับตัวแปรหลักที่สนใจทำการจัดกลุ่ม 1 ครั้งต่อตัวแปรหลัก 1 ตัว และทำการจัดกลุ่มข้อมูลตัวแปรหลักโดยมีจำนวนกลุ่มที่ 4, 6, 8, 10, 12 และ 24 กลุ่ม

ขั้นตอนที่ 3 นำข้อมูลที่ทำกรจัดกลุ่มแล้ว 4, 6, 8, 10, 12 และ 24 กลุ่ม ใส่ลงในโปรแกรม Microsoft Excel 2013 และทำการหาจำนวนกลุ่มที่ดีที่สุดโดยนำค่าความเบี่ยงเบนและค่าความแปรปรวนของแต่ละจำนวนกลุ่มไปคำนวณและพลอตกราฟ

### 3.4.4 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุแบบประยุกต์

การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุแบบประยุกต์จะใช้ข้อมูลจากการจัดกลุ่มเข้ามาทำการวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for Social Science version 23) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการกำหนดตัวแปรที่ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม SPSS โดยเลือกข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมมากที่สุดเป็นตัวแทนกลุ่มแต่ละกลุ่ม

ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลจากขั้นตอนแรกมาเข้าโปรแกรม SPSS และทำการเลือกตัวแปรหลักและตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยโดยใช้วิธีการเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นตอน (Stepwise regression procedure)

ขั้นตอนที่ 3 ทำการตรวจสอบข้อสมมติฐานของความคลาดเคลื่อนและทำการวัดประสิทธิภาพของสมการถดถอยโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Multiple Coefficient of Determination : $R^2$ )

### 3.4.5 การหาวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุ

ในขั้นตอนนี้จะไม่นำข้อมูลจากการจัดกลุ่มมาใช้ในการวิเคราะห์ แต่จะนำข้อมูลทั้งหมด 98 มาทำการวิเคราะห์ โดยจะนำข้อมูลของตัวแปรที่สนใจเป็นตัวแปรหลัก 1 ตัว และจะใช้ข้อมูลที่เหลือ 97 ตัวเป็นตัวแปรอิสระ โดยทำเช่นนี้กับทั้งตัวแปร  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  โดยใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการนำข้อมูลจากขั้นตอนการทำข้อมูลให้สมบูรณ์มาใส่ในโปรแกรม SPSS และทำการวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้วิธีการเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นตอน (Stepwise regression procedure)

ขั้นตอนที่ 2 ทำการตรวจสอบข้อสมมติฐานของความคลาดเคลื่อนและทำการวัดประสิทธิภาพของสมการถดถอยโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Multiple Coefficient of Determination : $R^2$ )

### 3.4.6 การวิเคราะห์สมการพยากรณ์โดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบ

การสร้างแบบจำลองพยากรณ์โดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบ ครั้งนี้จะใช้วิธี Moving average, Holt's method และ Winter's method ในการวิเคราะห์จะใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for Social Science version 23) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำข้อมูลของตัวแปรหลักที่สนใจมาครั้งละ 1 ตัวแปร เข้าโปรแกรม SPSS และสร้างแบบจำลองโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบโดยจะเลือกวิธีการปรับให้เรียบครั้งละ 1 วิธี (Moving average, Holt's method, Winter's method) ในการวิเคราะห์ และทำการ fit model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบการพยากรณ์ย้อนกลับโดยทำการลบข้อมูล 1 ปีจากข้อมูลล่าสุดและทำการพยากรณ์ 1 ปีเพื่อดูค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์

ขั้นตอนที่ 3 ทำการปรับให้เรียบโดยใช้ทั้ง 3 วิธีและพิจารณาค่าพยากรณ์ย้อนกลับของทุกวิธี

### 3.4.7 การเปรียบเทียบแบบจำลองการพยากรณ์

ขั้นตอนนี้จะทำการเปรียบเทียบแบบจำลองต่าง ๆ โดยจะคำนวณค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) ของแต่ละแบบจำลองและนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อที่จะพิจารณาว่าแบบจำลองไหนมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดสำหรับการวิจัยครั้งนี้และมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำค่าการวิเคราะห์สมการถดถอยจากขั้นตอนที่ 3.4.4 และ 3.4.5 ทำการหาค่า MAPE

ขั้นตอนที่ 2 นำค่าการวิเคราะห์เทคนิคปรับให้เรียบจากขั้นตอน 3.4.6 ทำการหาค่า MAPE

ขั้นตอนที่ 3 นำค่า MAPE ที่ได้จากแต่ละการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกันและหาแบบจำลองที่มีค่า MAPE ที่ต่ำที่สุดสำหรับการศึกษาค้างนี้

## บทที่ 4

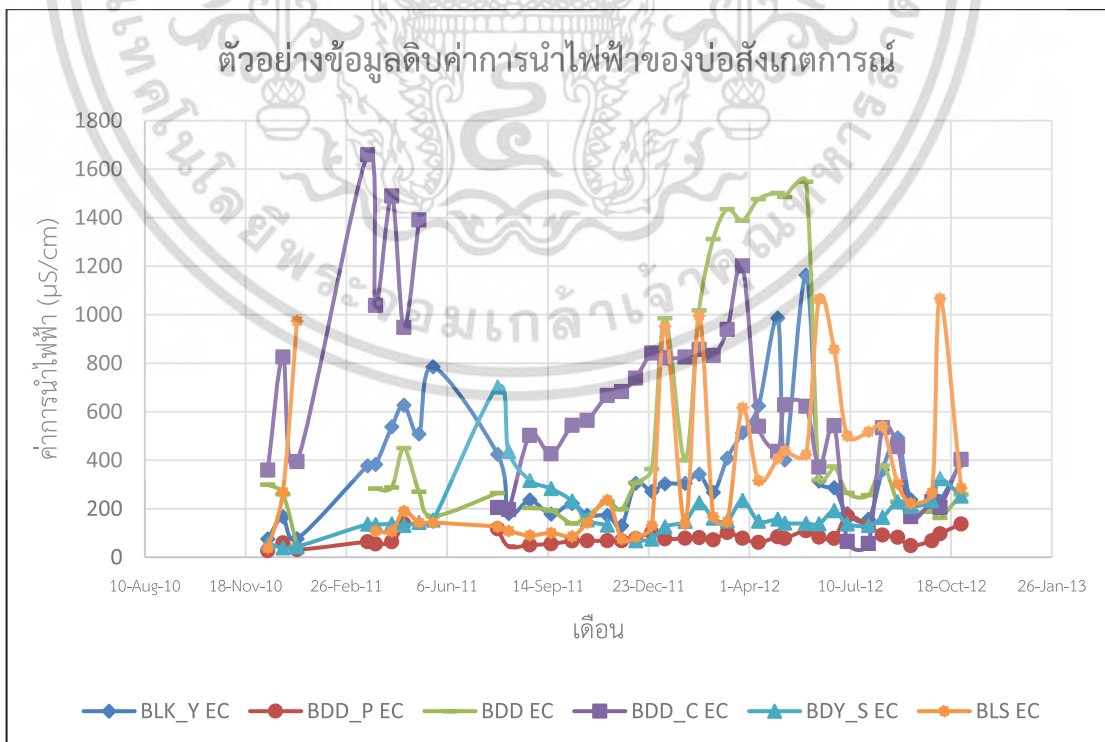
### การวิเคราะห์ข้อมูล

จากวิธีการดำเนินการวิจัยที่ได้ทำการวางแผนไว้ ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการวิเคราะห์ข้อมูลในบทนี้จะนำข้อมูลดิบมาทำการปรับให้พร้อมต่อการนำข้อมูลไปใช้ในแบบจำลองการพยากรณ์

#### 4.1 ข้อมูลดิบ

ข้อมูลเริ่มต้นในการศึกษาครั้งนี้ เป็นข้อมูลที่ถูกรวบรวมไว้มีดังนี้

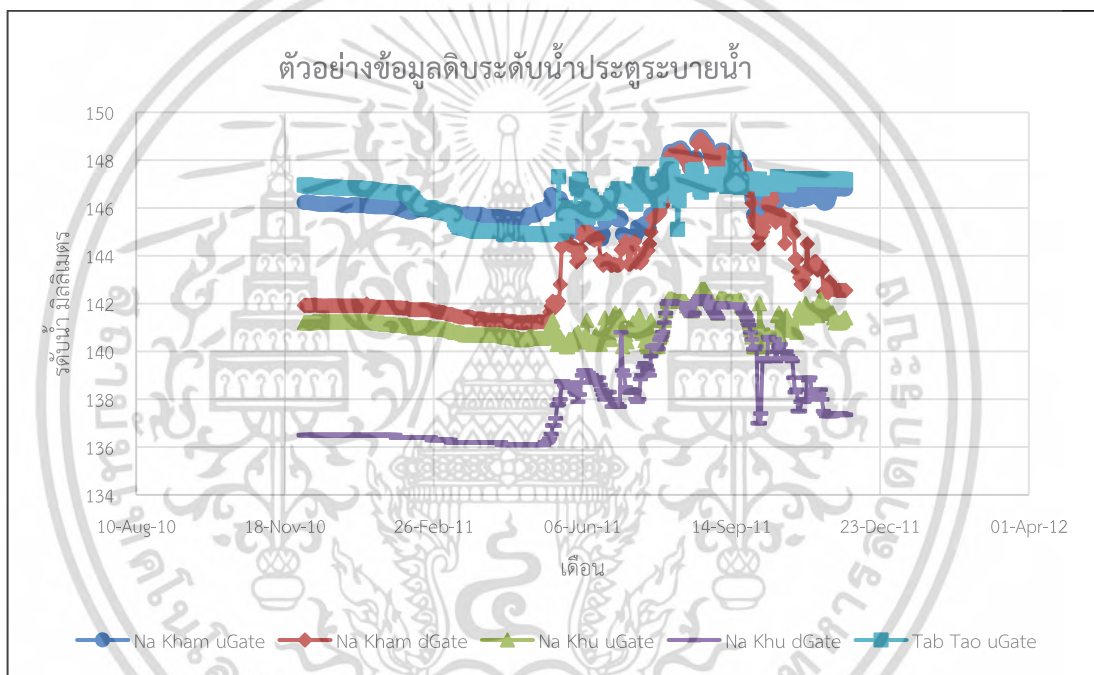
1. ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์ 27 บ่อ โดยในแต่ละบ่อสังเกตการณ์จะประกอบด้วย ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า ข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลค่า pH เป็นข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมในทุกๆ 2 สัปดาห์ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555
2. ข้อมูลประจุน้ำ 12 ประจุน ประกอบด้วยข้อมูลระดับน้ำที่ประจุน้ำ เป็นข้อมูลรายวันที่ถูกเก็บรวบรวมตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555
3. ข้อมูลปริมาณฝน 5 สถานี ประกอบด้วยข้อมูลระดับปริมาณน้ำฝน เป็นข้อมูลรายวันที่ถูกเก็บรวบรวมตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555



รูปที่ 4.1 กราฟตัวอย่างข้อมูลดิบค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์

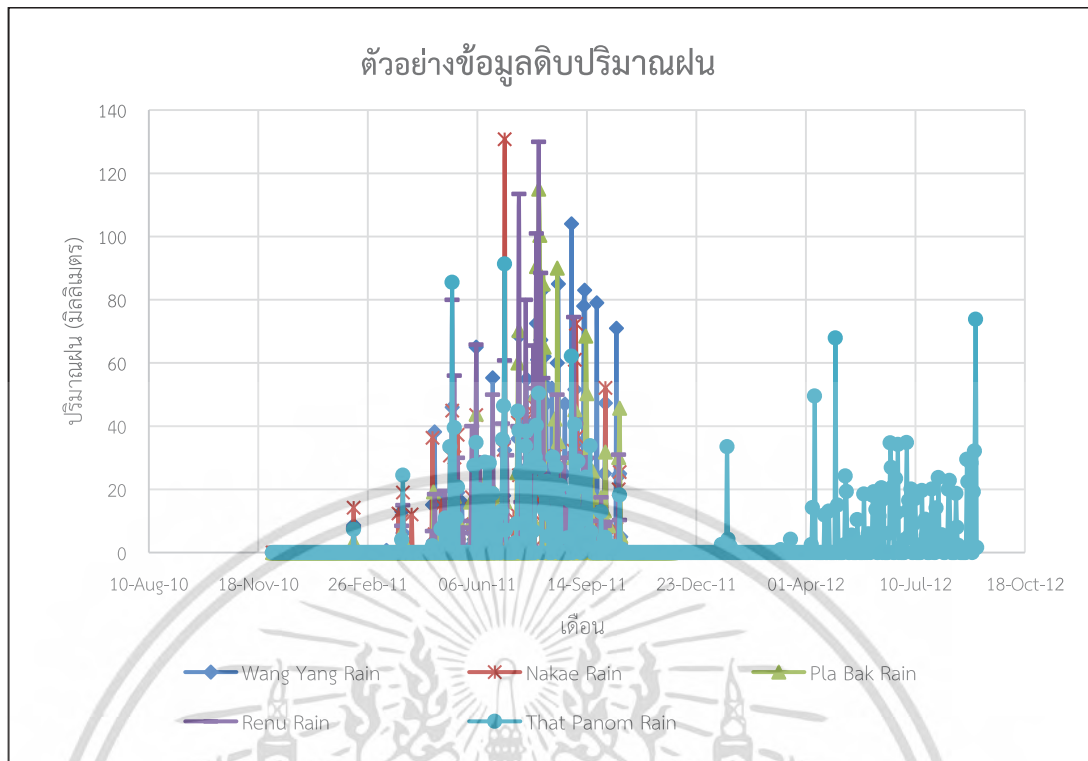
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 นำตัวอย่างข้อมูลดิบของค่าการนำไฟฟ้า 6 บ่อสังเกตการณ์มาสร้างกราฟ แสดงให้เห็นถึงความผันผวนของข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าและช่วงที่ขาดหาย ก่อนการนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลองจำเป็นที่จะต้องนำไปทำการแปลงเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ ในข้อมูลดิบของค่าการนำไฟฟ้าทั้ง 27 บ่อสังเกตการณ์มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ 29903.11  $\mu\text{S}/\text{cm}$  บ่อสังเกตการณ์ที่มีค่าการนำไฟฟ้าเยอะที่สุด 3 บ่อ คือบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S บ่อสังเกตการณ์ BDS\_D และบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ 27365.58, 134402.3, 95527.84  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ตามลำดับ บ่อสังเกตการณ์มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าการนำไฟฟ้าของน้ำทะเลโดยค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทะเลอยู่ที่ 2250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ดังนั้นสามารถบ่งบอกได้ว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลในบ่อสังเกตการณ์ที่สูงแสดงว่าน้ำบาดาลมีความเค็มที่สูงเช่นกัน



รูปที่ 4.2 กราฟตัวอย่างข้อมูลดิบค่าระดับน้ำของประตुरะบายน้ำ

จากรูปที่ 4.2 นำตัวอย่างข้อมูลดิบค่าระดับน้ำของประตुरะบายน้ำ 5 ประตุมารสร้างกราฟ แสดงให้เห็นถึงความผันผวนของข้อมูล ก่อนการนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลอง ข้อมูลจำเป็นที่จะต้องนำไปทำการแปลงเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์

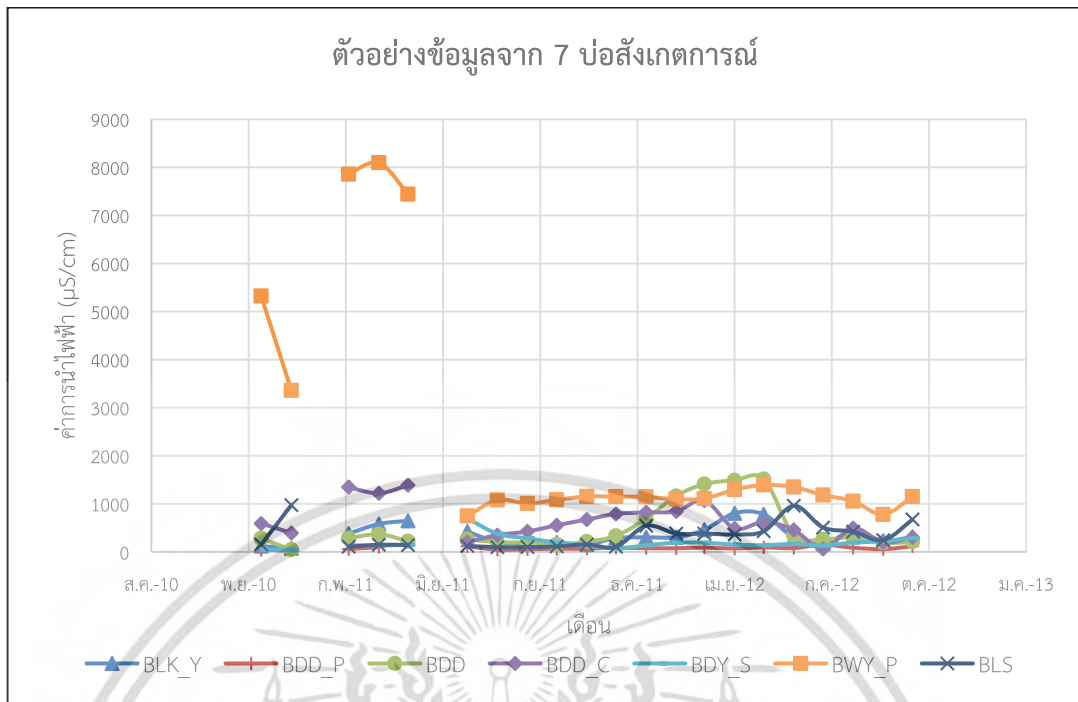


**รูปที่ 4.3** กราฟตัวอย่างข้อมูลดิบปริมาณน้ำฝน

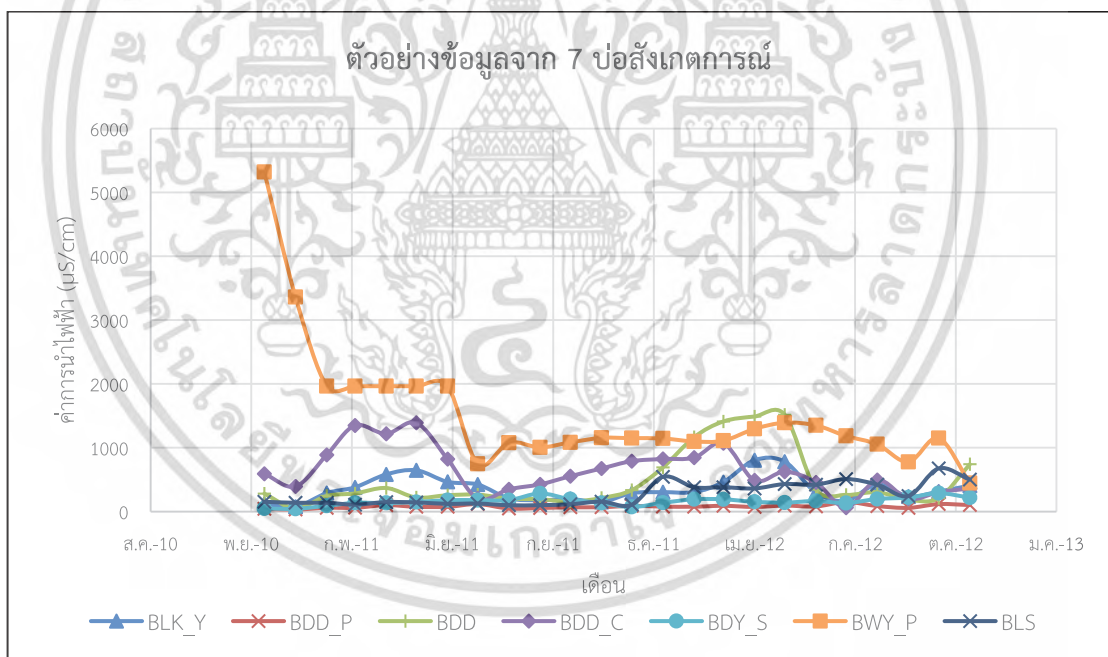
จากรูปที่ 4.3 นำตัวอย่างข้อมูลดิบปริมาณฝนจาก 5 สถานีมาสร้างกราฟแสดงให้เห็นความผันผวนของข้อมูล ก่อนการนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลอง ข้อมูลจำเป็นที่จะต้องนำไปทำการแปลงเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์

#### 4.2 การเตรียมข้อมูล

การเตรียมข้อมูลเพื่อจะนำไปทำการวิเคราะห์ โดยการนำข้อมูลมาสร้างกราฟเพื่อดูค่าของข้อมูลที่ขาดหายไปโดยทำการ outlier และ Interpolation ข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลมีความสมบูรณ์ โดยจะยกตัวอย่างจากข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าจาก 7 บ่อสังเกตการณ์ ดังรูปที่ 4.4 -4.5 การทำข้อมูลให้สมบูรณ์จะได้ค่าของข้อมูลที่มีความแปรปรวนและความเบี่ยงเบนที่น้อยลง ทำให้สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงตัวอย่างข้อมูลเฉลี่ยเริ่มต้นที่ยังไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงตัวอย่างที่สมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** ตารางตัวอย่างสถิติพรรณนาค่าการนำไฟฟ้าในบ่อสังเกตการณ์ที่ยังไม่สมบูรณ์

บ่อสังเกตการณ์	จำนวนข้อมูล	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าความแปรปรวน
BLK_Y	21	76.40	805	350.09	207.07	42877.75
BDD_P	20	31.60	149.55	78.99	28.20	795.03
BDD	21	47	1517	483.16	473.24	223952.60
BDD_C	21	60.68	1390	633.65	373.71	139660.59
BDY_S	21	43.40	702.05	194.65	140.19	19654.56
BWY_P	21	746.50	8095	2373.49	2490.56	6202898.15
BLS	21	99.23	974	340.17	270.38	73107.46

**ตารางที่ 4.2** ตารางตัวอย่างสถิติพรรณนาค่าการนำไฟฟ้าในบ่อสังเกตการณ์ที่สมบูรณ์แล้ว

บ่อสังเกตการณ์	จำนวนข้อมูล	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าความแปรปรวน
BLK_Y	24	76.40	805	354.72	195.28	38134.98
BDD_P	24	31.60	149.55	78.74	26.45	699.47
BDD	24	47.00	1517	474.47	449.74	202263.92
BDD_C	24	60.68	1390	640.79	359.15	128986.49
BDY_S	24	43.40	288	160.60	61.47	3778.99
BWY_P	24	446.50	5320	1530	1001.78	1003564.38
BLS	24	99.23	676	271.93	177.78	31606.02

จากตารางที่ 4.1 - 4.2 เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลที่สมบูรณ์และข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์จะพบว่า ข้อมูลที่สมบูรณ์จะมีความเหมาะสมต่อการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไปมากกว่า เพราะข้อมูลที่สมบูรณ์มีจำนวนข้อมูลที่คงที่ มีข้อมูลที่สม่ำเสมอ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนที่ลดลง เมื่อทำให้ข้อมูลทั้งหมดสมบูรณ์แล้วก็จะกำหนดตัวแปรหลัก 3 ตัว โดยตัวแปรหลักทั้ง 3 ตัวจะเป็นค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ 3 บ่อที่สูงที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ BDS\_S ( $Y_1$ ), BDS\_D ( $Y_2$ ) และ BPS\_Do ( $Y_3$ ) มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ 27365.58, 134402.3 และ 95527.84  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้มีค่าสูงกว่า 2,250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  จึงสามารถบ่งบอกได้ว่าน้ำบาดาลนั้นเป็นน้ำบาดาลที่มีความเค็มสูง

### 4.3 การหาค่าสหสัมพันธ์ร่วม

ในการหาค่าสหสัมพันธ์ร่วมจะใช้ข้อมูลที่สมบูรณ์แล้วจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมาทำการจับคู่ตัวแปรหลักกับตัวแปรอิสระ เพื่อค้นหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยโปรแกรม SPSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์รวมมากที่สุด

ตัวแปรหลัก	ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ รวม	ตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์ รวม	ค่าสหสัมพันธ์ รวม
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_D2 pH (X <sub>74</sub> )	0	-0.91
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BNK_D EC (X <sub>75</sub> )	0	0.91
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BNK_D pH (X <sub>77</sub> )	0	0.91
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	0	0.87
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BPS_Dn pH (X <sub>62</sub> )	0	0.62

จากตารางที่ 4.3 แสดงตารางของตัวแปรอิสระที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับตัวแปรหลักมากที่สุด ค่าสหสัมพันธ์รวมสามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าจากบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S มีความสัมพันธ์กับ ข้อมูลค่า pH จากบ่อสังเกตการณ์ BPS\_D2 ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าจากบ่อสังเกตการณ์ BNK\_D และข้อมูลค่า pH จากบ่อสังเกตการณ์ BNK\_D โดยมีค่าสหสัมพันธ์รวมอยู่ที่ -0.91, 0.91 และ 0.91 ตามลำดับ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D มีความสัมพันธ์กับข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าจากบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S โดยมีค่าสหสัมพันธ์รวมอยู่ที่ 0.87 และข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าจากบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do มีความสัมพันธ์กับข้อมูลค่า pH จากบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Dn โดยมีค่าสหสัมพันธ์รวมอยู่ที่ 0.62

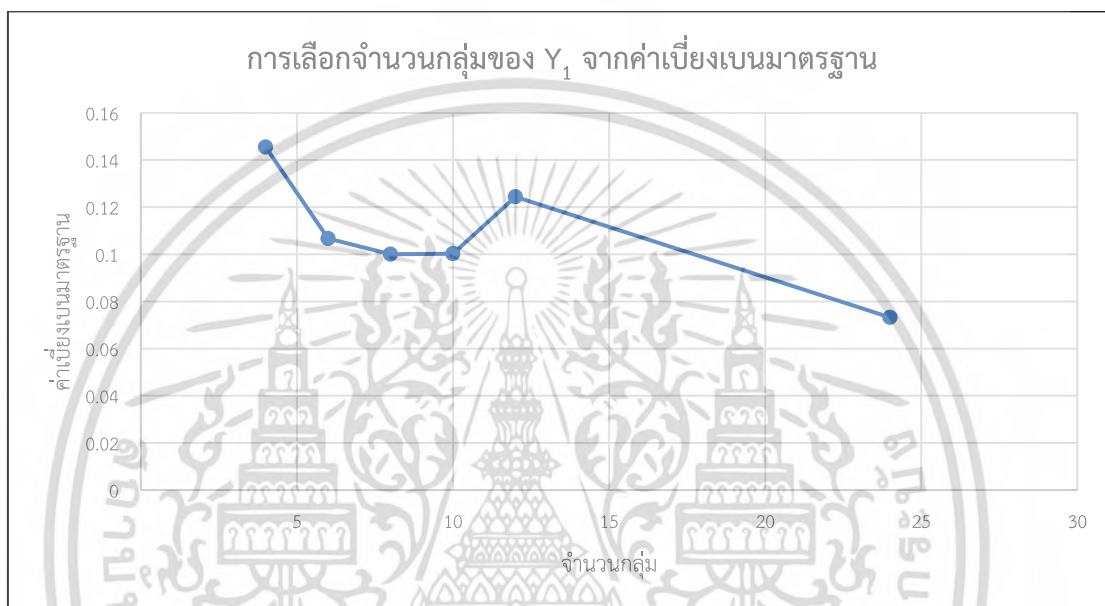
ตารางที่ 4.4 จำนวนตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับตัวแปรหลัก

ตัวแปรหลัก	จำนวนตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์กับตัวแปรหลัก (ตัวแปร)
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	69
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	71
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	27

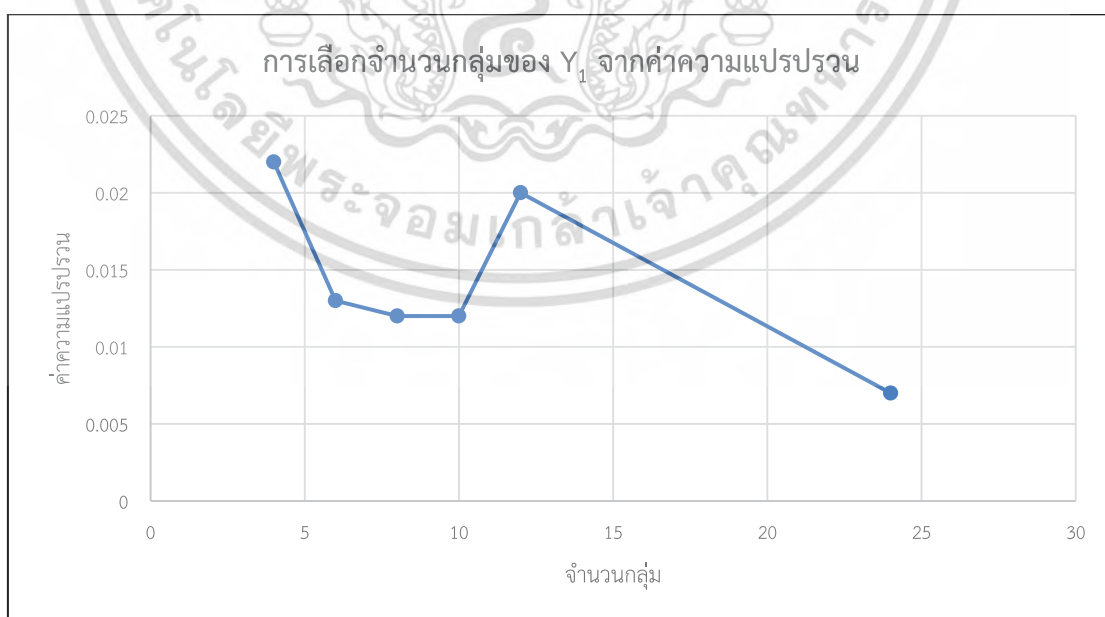
เมื่อนำตัวแปรหลักมาเพื่อจับคู่ที่ละคู่กับตัวแปรอิสระ ในการวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ ตัวแปรหลักทั้ง 3 ตัว มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับตัวแปรอิสระ ดังตารางที่ 4.4 แสดงจำนวนตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับตัวแปรหลัก Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub> และ Y<sub>3</sub> ตามลำดับ โดยข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าจากบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S, BDS\_D และ BPS\_Do มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระทั้งหมด 69, 71 และ 21 ตัวแปร ตามลำดับ ผู้วิจัยจะนำตัวแปรหลักและตัวแปรอิสระที่มีค่าสหสัมพันธ์รวมกันไปทำการจัดกลุ่มต่อไป

#### 4.4 การจัดกลุ่มตัวแปร

ขั้นตอนการจัดกลุ่มตัวแปรจะใช้ตัวแปรอิสระที่มีค่าสัมพันธ์กับตัวแปรตามของทั้ง 3 ตัวแปรตามหลักมาทำการจัดกลุ่ม โดยจะพิจารณาจำนวนกลุ่มจากการทดลองจัดกลุ่ม 4, 6, 8, 12, 24 กลุ่ม แล้วนำค่าความแปรปรวนกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาสร้างกราฟเพื่อดูความเหมาะสมในการเลือกจำนวนกลุ่ม เพื่อที่จะได้กลุ่มที่เหมาะสมในการนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป การจัดกลุ่มจะใช้โปรแกรม SPSS ในการจัดกลุ่มและใช้โปรแกรม Excel ในการคำนวณและสร้างกราฟของข้อมูลกลุ่ม



รูปที่ 4.6 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ  $Y_1$  จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



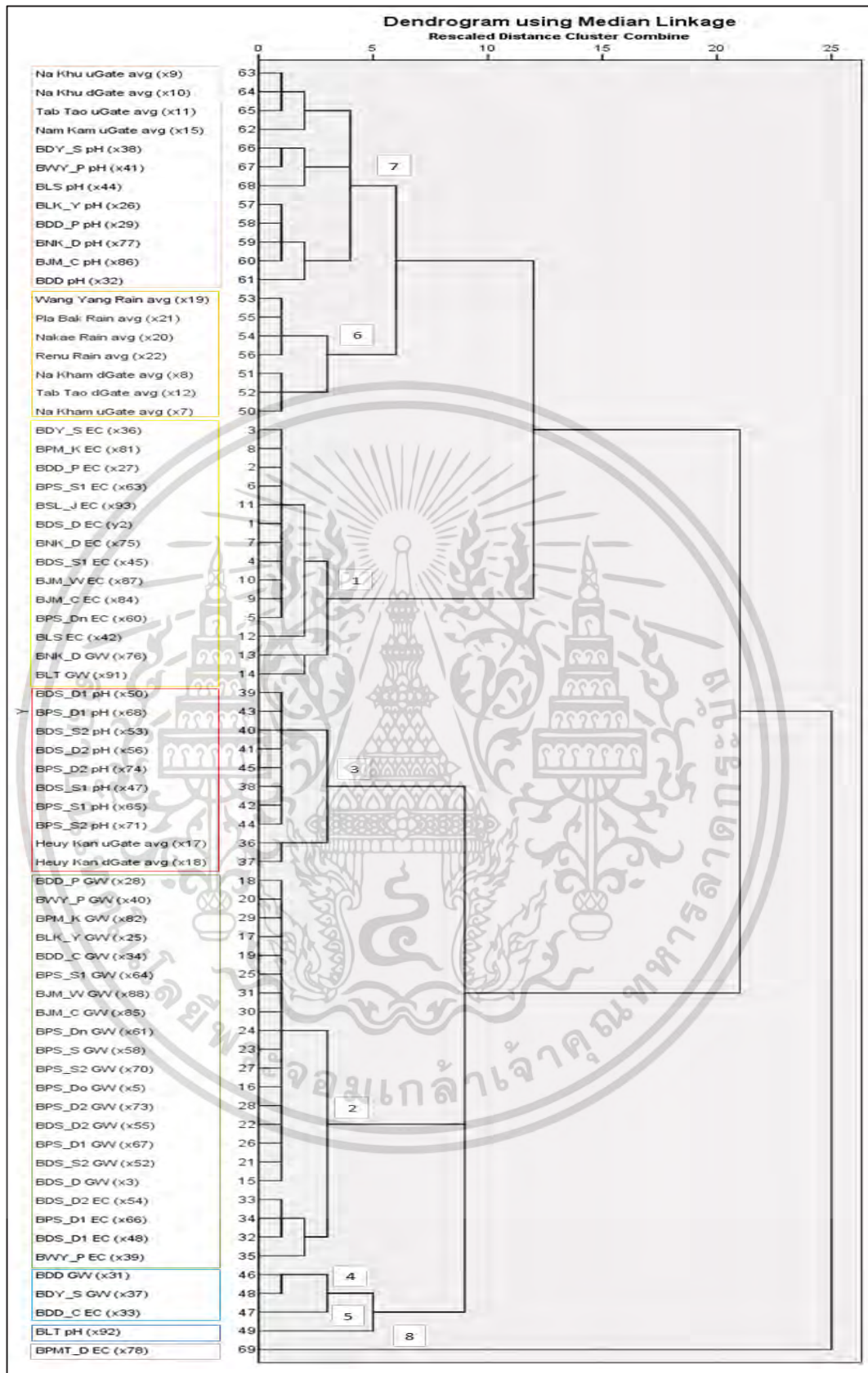
รูปที่ 4.7 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ  $Y_1$  จากค่าความแปรปรวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 - 4.7 เป็นการสร้างกราฟการหาจำนวนกลุ่มที่ดีที่สุดของ  $Y_1$  โดยการสร้างกราฟจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่ม กลุ่มไหนมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนที่น้อยจะถือว่าเหมาะสมกับการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป และจากการวิเคราะห์หาค่าแปร  $Y_1$  มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดคือ 8 กลุ่ม ดังรูปที่ 4.8

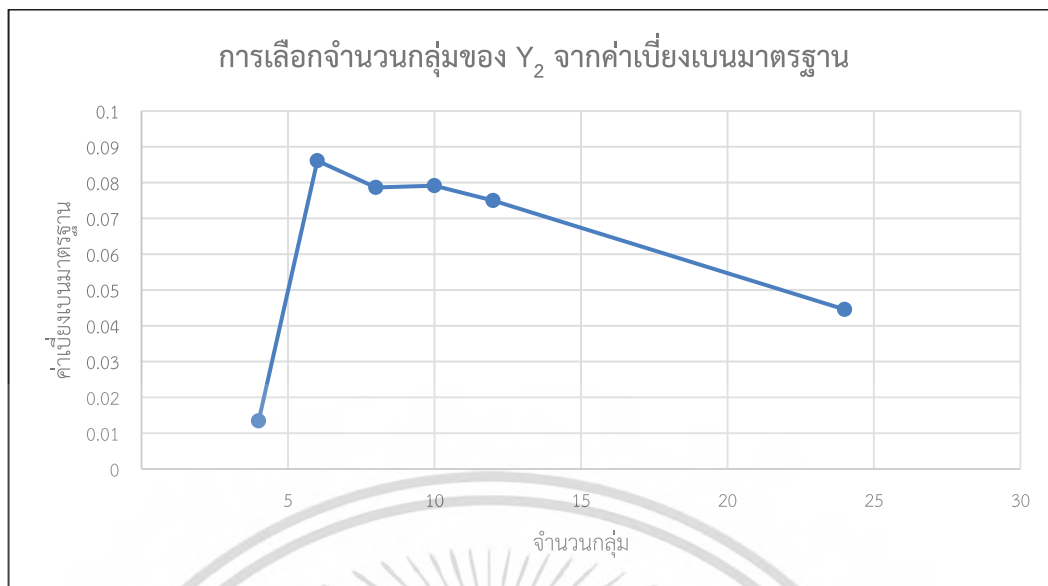


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

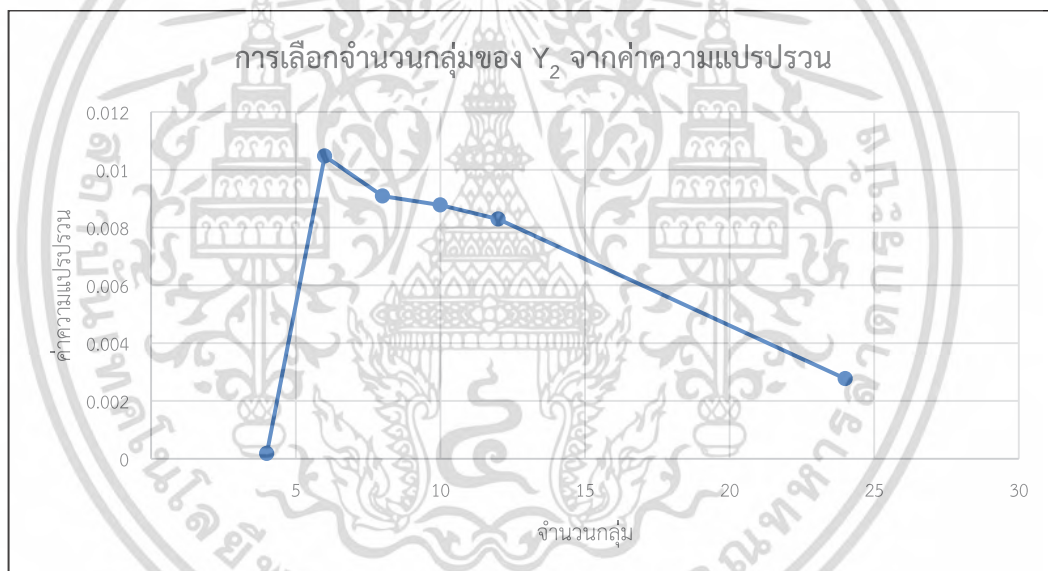


รูปที่ 4.8 เดนโดแกรมการจัดกลุ่มของ Y<sub>1</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



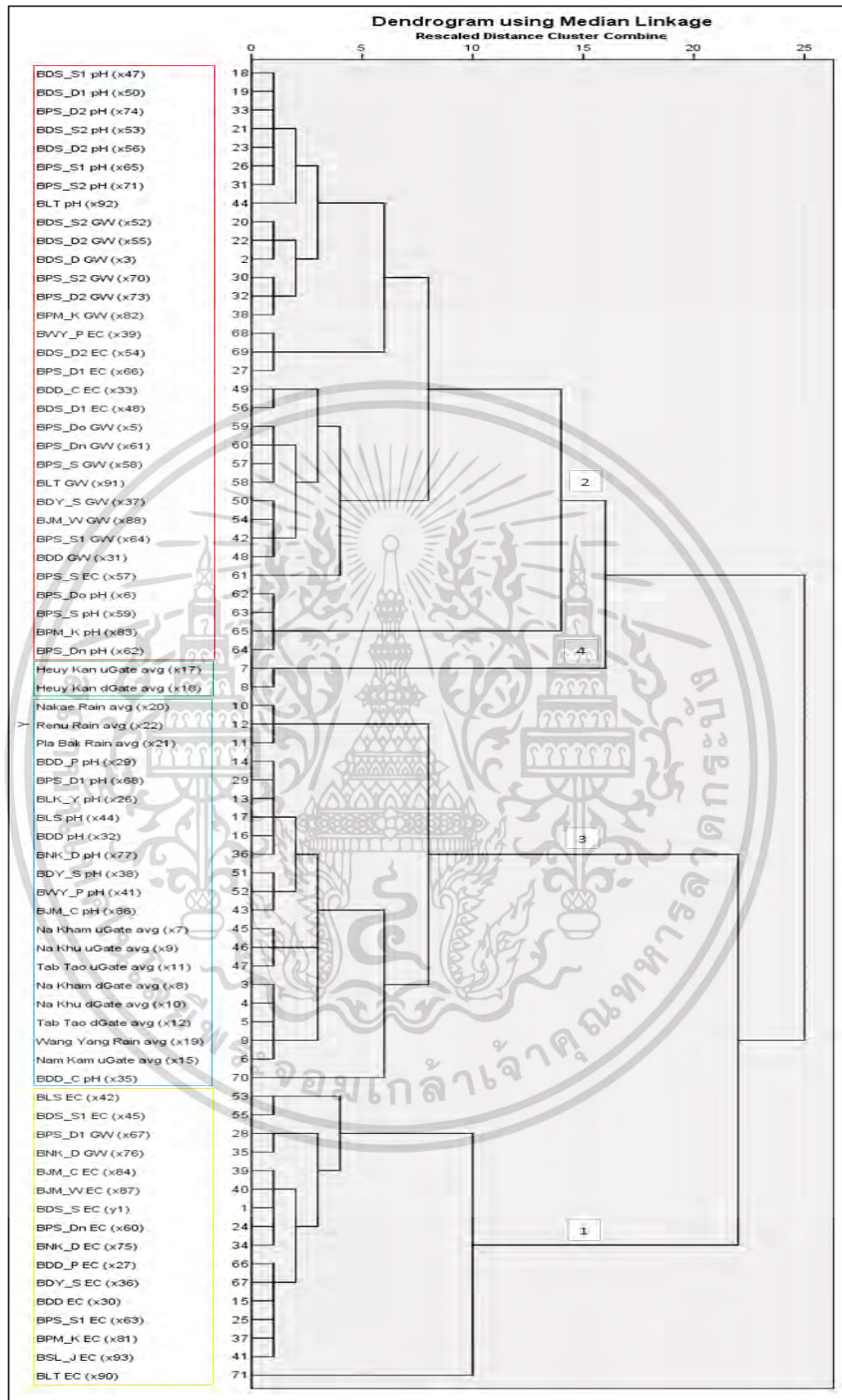
รูปที่ 4.9 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ  $Y_2$  จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.10 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ  $Y_2$  จากค่าความแปรปรวน

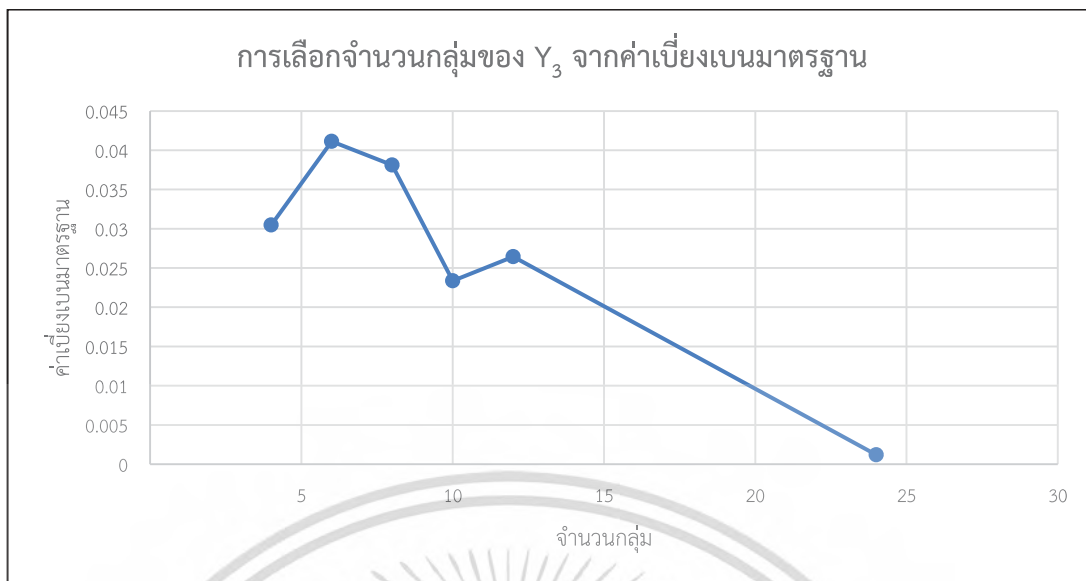
จากรูปที่ 4.9 - 4.10 เป็นการสร้างกราฟการหาจำนวนกลุ่มที่ดีที่สุดของ  $Y_2$  โดยการสร้างกราฟจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่ม กลุ่มไหนมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนที่น้อยจะถือว่าเหมาะสมกับการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป และจากการวิเคราะห์ตัวแปร  $Y_2$  มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดคือ 4 กลุ่ม ดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

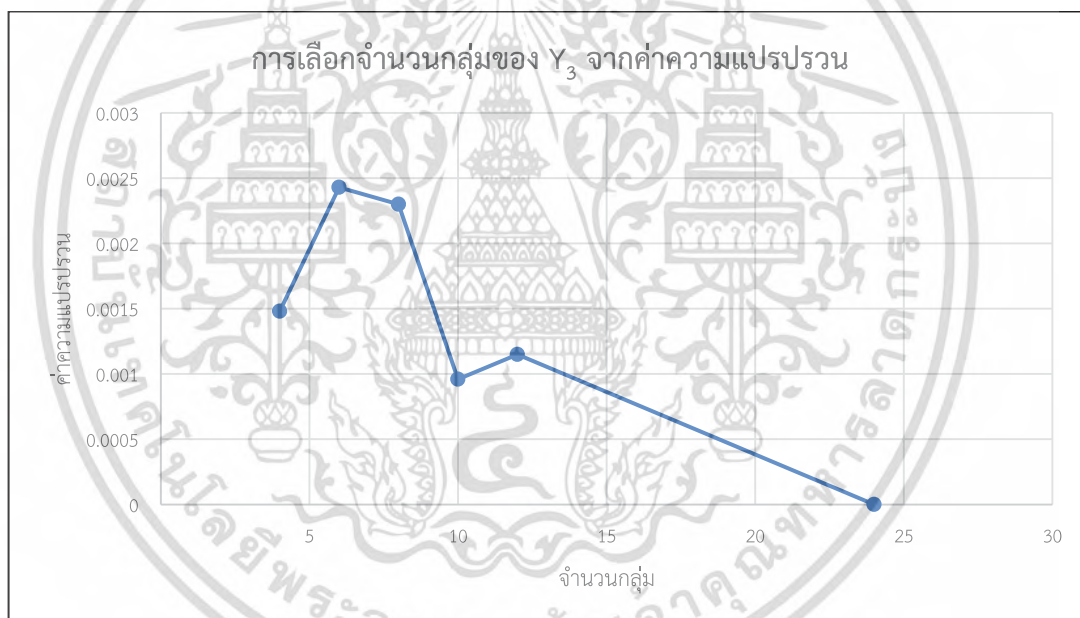


รูปที่ 4.11 เดนโดแกรมการจัดกลุ่มของ Y<sub>2</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



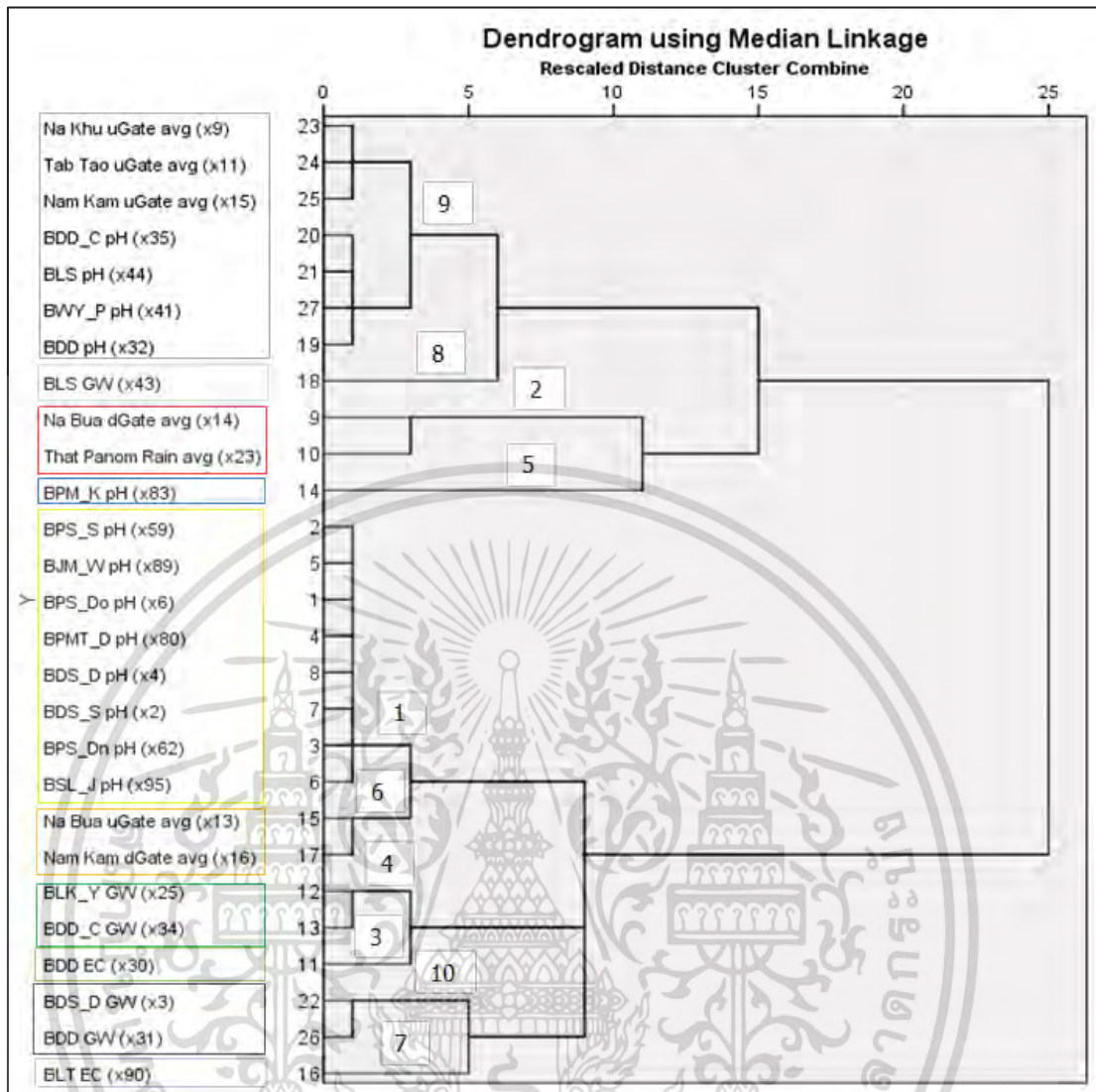
รูปที่ 4.12 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ  $Y_3$  จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.13 การพลอตกราฟการตัดสินใจเลือกจำนวนกลุ่มของ  $Y_3$  จากค่าความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.12 - 4.13 เป็นการสร้างกราฟการหาจำนวนกลุ่มที่ดีที่สุดของ  $Y_3$  โดยการสร้างกราฟจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่ม กลุ่มไหนมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนที่น้อยจะถือว่าเหมาะสมกับการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป และจากการวิเคราะห์ตัวแปร  $Y_3$  มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดคือ 10 กลุ่ม ดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 เดนโดแกรมการจัดกลุ่มของ  $Y_3$

ในขั้นตอนการจัดกลุ่มสามารถสรุปได้ว่าการทดลองหาจำนวนกลุ่มของแต่ละตัวแปรหลักที่มีค่าสหสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระโดยทดลองทำการจัดกลุ่ม 4, 6, 8, 10, 12, 24 กลุ่มของตัวแปรหลัก  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  นำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวน มาสร้างกราฟและพิจารณาว่าจำนวนกลุ่มเท่าใดจึงจะเหมาะสมที่สุด ผลที่ได้คือตัวแปรหลัก  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมได้แก่ 8, 4 และ 10 กลุ่ม ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงจำนวนการแบ่งกลุ่ม

ตัวแปรหลัก	จำนวนกลุ่ม
BDS_S EC ( $Y_1$ )	8
BDS_D EC ( $Y_2$ )	4
BPS_Do EC ( $Y_3$ )	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์แบบจำลองการพยากรณ์

ในบทนี้เป็นการวิเคราะห์วิธีการพยากรณ์ของข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล โดยใช้วิธีการประยุกต์สมการถดถอย การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุ และเทคนิคการปรับให้เรียบ เพื่อนำมาหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในการพยากรณ์โดยใช้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) เป็นค่าที่พิจารณาถึงวิธีที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาจากค่า MAPE โดยวิธีที่ได้ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุดจะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล

#### 5.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุแบบประยุกต์

ในการประยุกต์สมการถดถอยกับการจัดกลุ่มทำได้โดยนำตัวแปรอิสระมาอย่างละ 1 ตัวแปรจากแต่ละกลุ่มของขั้นตอนที่ 4.4 โดยตัวแปรอิสระที่มีค่าสหสัมพันธ์กับตัวแปรหลักที่สูงที่สุดในกลุ่มนั้น ๆ จะเป็นตัวแทนของกลุ่มนั้น ๆ จะนำมาทำการเข้าสมการถดถอยกับตัวแปรตามหลัก ( $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$ ) ที่มีผลกับตัวแปรอิสระนั้น ๆ โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยจะเป็นการสร้างสมการพยากรณ์ที่ดีที่สุดที่มีผลกับตัวแปรตามที่สนใจและจะใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์สมการถดถอย ผลที่ได้ในการศึกษามีดังนี้ ตัวแปรหลัก  $Y_1$  มีจำนวนกลุ่มที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับตัวแปรตาม  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  คือ 8, 4 และ 10 กลุ่ม ตามลำดับ จากนั้นจะเลือกตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์สูงที่สุดมา กลุ่มละ 1 ตัว แล้วมาจับคู่กับตัวแปรหลัก  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  มาเข้าการวิเคราะห์สมการถดถอย

$Y_1$  เลือกตัวแปรอิสระทั้ง 8 ตัว คือ  $X_{76}$ ,  $X_{52}$ ,  $X_{71}$ ,  $X_{31}$ ,  $X_{92}$ ,  $X_8$ ,  $X_{77}$  และ  $X_{78}$  โดยมีค่าสหสัมพันธ์ร่วมอยู่ที่ 0.92, -0.888, -0.919, -0.676, -0.455, 0.864, 0.913 และ -0.476 ตามลำดับ

$Y_2$  เลือกตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัว คือ  $X_{60}$ ,  $X_3$ ,  $X_{77}$  และ  $X_{18}$  โดยมีค่าสหสัมพันธ์ร่วมอยู่ที่ 0.884, -0.874, 0.848 และ -0.843 ตามลำดับ

$Y_3$  เลือกตัวแปรอิสระทั้ง 10 ตัว คือ  $X_{62}$ ,  $X_{14}$ ,  $X_{30}$ ,  $X_{34}$ ,  $X_{83}$ ,  $X_{16}$ ,  $X_{90}$ ,  $X_{43}$ ,  $X_{35}$  และ  $X_{31}$  โดยมีค่าสหสัมพันธ์ร่วมอยู่ที่ 0.621, -0.49, 0.608, 0.471, -0.552, 0.611, 0.526, -0.6, -0.635 และ 0.588 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยของ  $Y_1$ 

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	26489.345	9419.798		2.812	0.01
$X_{76}$	20522.496			6422.761	6.727
$X_{77}$	-21411.258	7758.275	-5.81	-2.76	0.012

ตารางที่ 5.2 ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยของ  $Y_2$ 

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	88786.137	12184.13		7.287	0
$X_{60}$	0.871	0.138	0.539	6.291	0
$X_3$	-36632.942	6218.23	-0.505	-5.891	0

ตารางที่ 5.3 ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยของ  $Y_3$ 

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-199546.3	51796.605		-3.852	0.001
$X_{62}$	33901.825	6829.683	1.081	4.964	0
$X_{35}$	25275.749	7467.916	0.427	3.385	0.003
$X_{83}$	-15236.375	5053.884	-0.655	-3.015	0.007

จากตารางที่ 5.1 - 5.3 ในขั้นตอนการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบประยุกต์นี้ได้ใช้วิธี step wise เพื่อทำการตัดตัวแปรที่ไม่สำคัญออก ผลการทดลองในขั้นตอนการประยุกต์สมการถดถอย พบว่าการสร้างสมการถดถอยของตัวแปรหลักทั้ง 3 ตัว มีสมการดังนี้

$$Y_1 = 26489.345 + 20522.46X_{76} - 21411.258X_{77}$$

$$Y_2 = 88786.137 + 0.871X_{60} - 36632.942X_3$$

$$Y_3 = -199546.303 + 33901.825X_{62} + 25275.749X_{35} - 15236.37X_{83}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ  $Y_1$  สามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S ( $Y_1$ ) มีความสัมพันธ์กับข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BNK\_D ( $X_{76}$ ) และข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BNK\_D ( $X_{77}$ )

จากสมการ  $Y_2$  สามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D ( $Y_2$ ) มีความสัมพันธ์กับข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Dn ( $X_{60}$ ) และข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D ( $X_3$ )

จากสมการ  $Y_3$  สามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do ( $Y_3$ ) มีความสัมพันธ์กับข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDD\_C ( $X_{35}$ ) ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Dn ( $X_{62}$ ) และข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPM\_K ( $X_{83}$ )

เนื่องจากความสัมพันธ์ที่ได้ของตัวแปรหลักและตัวแปรอิสระเกิดจากกระบวนการทางคณิตศาสตร์โดยไม่ได้ขึ้นอยู่กับระยะทางหรือตำแหน่งของบ่อสังเกตการณ์แต่ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของข้อมูลการนำไฟฟ้า จึงทำให้ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันอยู่ในตำแหน่งที่ห่างกันหรือใกล้กัน และข้อมูลที่ได้สามารถบอกได้ว่า ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า ข้อมูลค่า pH และ ข้อมูลระดับน้ำ ของบางบ่อสังเกตการณ์มีอิทธิพลกับตัวแปรหลัก  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$

ตารางที่ 5.4 ตารางสรุปการวิเคราะห์สมการถดถอย

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
$Y_1$	0.942	0.888	0.877	2010.424
$Y_2$	0.958	0.918	0.91	11245.213
$Y_3$	0.832	0.692	0.646	12133.253

จากตารางที่ 5.4 จะนำสมการที่ดีที่สุดของแต่ละตัวแปรหลักมาใส่ในตารางเท่านั้น และสามารถอธิบายได้ว่าสมการ  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  ข้างต้น มีค่า  $R^2$  ที่ 0.888, 0.918 และ 0.692 ตามลำดับ บ่งบอกว่าสมการของแต่ละตัวแปรหลักนั้นมีความสัมพันธ์กับแปรหลักที่ 88.8%, 91.8% และ 69.2% ตามลำดับ หรือเรียกได้ว่าสมการของ  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  นั้นสามารถเป็นสมการที่อธิบายค่า  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  ได้ 88.8%, 91.8% และ 69.2% ตามลำดับ ส่วนค่า Adjusted  $R^2$  เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบสมการว่าสมการไหนมีความเหมาะสมในการอธิบายตัวแปรหลักมากกว่ากัน โดยจะใช้เฉพาะเปรียบเทียบสมการที่ใช้ตัวแปรตามหรือตัวแปรหลักตัวเดียวกันเท่านั้น

## 5.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุ

ในขั้นตอนการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุจะใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ โดยจะนำข้อมูลจากขั้นตอนเตรียมข้อมูลให้สมบูรณ์และการกำหนดตัวแปร ทำการวิเคราะห์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยการนำข้อมูลตัวแปรหลักที่สนใจทีละหนึ่งตัวกับตัวแปรอิสระทั้งหมดมาเข้าโปรแกรมวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุด้วยวิธีการ step wise ทำการตัดข้อมูลตัวแปรที่ไม่สำคัญออกและเหลือไว้แค่ตัวแปรอิสระที่มีผลกับตัวแปรหลัก

ตารางที่ 5.5 ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยทั้งหมดของ  $Y_1$

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-180393.35	53004.937		-3.403	0.003
X <sub>76</sub>	2012.503	188.237	0.66	10.691	0
X <sub>26</sub>	7171.067	1355.862	0.331	5.289	0
X <sub>90</sub>	2.889	0.914	0.158	3.161	0.005
X <sub>13</sub>	1027.105	372.431	0.134	2.758	0.013

ตารางที่ 5.6 ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยทั้งหมดของ  $Y_2$

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	56109.078	22101.202		2.539	0.022
X <sub>60</sub>	0.908	0.1	0.562	9.08	0
X <sub>3</sub>	-23571.375	3947.934	-0.325	-5.971	0
X <sub>57</sub>	1.407	0.31	0.191	4.532	0
X <sub>52</sub>	-4266.28	3756.566	-0.11	-1.136	0.273
Y <sub>3</sub>	0.264	0.053	0.143	4.966	0
X <sub>32</sub>	10046.34	2704.489	0.143	3.715	0.002
X <sub>6</sub>	-9641.585	2866.329	-0.17	-3.364	0.004

ตารางที่ 5.7 ตารางการวิเคราะห์สมการถดถอยทั้งหมดของ  $Y_3$

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-39595.996	26710.246		-1.482	0.153
X <sub>62</sub>	23133.428	4366.873	0.738	5.297	0
X <sub>1</sub>	-83917.699	23689.957	-0.493	-3.542	0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.5 - 5.7 การทดลองการวิเคราะห์ที่ใช้สมการถดถอยเชิงเส้นพหุ พบว่าการนำข้อมูลตัวแปรหลักที่สนใจและข้อมูลตัวแปรอิสระทั้งหมดมาเข้าขั้นตอนการหาสมการถดถอยพร้อมกัน พบว่าสมการของตัวแปรหลัก  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  มีสมการดังนี้

$$Y_1 = -180393.355 + 2012.503X_{76} + 7171.067X_{26} + 2.889X_{90} + 1027.105X_{13}$$

$$Y_2 = 56109.078 + 0.908X_{60} - 23571.375X_3 + 1.407X_{57} - 4266.280X_{52} + 0.264Y_3 + 10046.340X_{32} - 9641.585X_6$$

$$Y_3 = -39595.996 + 23133.428X_{62} - 83917.699X_1$$

จากสมการ  $Y_1$  สามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S ( $Y_1$ ) มีความสัมพันธ์กับ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BNK\_D ( $X_{76}$ ) ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BLK\_Y ( $X_{26}$ ) ข้อมูลระดับน้ำของประตูระบายน้ำ Nabua upper gate ( $X_{13}$ ) และข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BLT ( $X_{90}$ )

จากสมการ  $Y_2$  สามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D ( $Y_2$ ) มีความสัมพันธ์กับ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Dn ( $X_{60}$ ) ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D ( $X_3$ ) ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do ( $Y_3$ ) ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do ( $X_6$ ) ข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BDD ( $X_{32}$ ) ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S2 ( $X_{52}$ ) และข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_S ( $X_{57}$ )

จากสมการ  $Y_3$  สามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do ( $Y_3$ ) มีความสัมพันธ์กับ ข้อมูลค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S ( $X_1$ ) และข้อมูลค่า pH ของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Dn ( $X_{62}$ )

เนื่องจากความสัมพันธ์ที่ได้ของตัวแปรหลักและตัวแปรอิสระเกิดจากการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุ โดยไม่ได้ขึ้นอยู่กับระยะทางหรือตำแหน่งของบ่อสังเกตการณ์แต่ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของข้อมูลการนำไฟฟ้า จึงทำให้ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันอยู่ในตำแหน่งที่ห่างกันหรือใกล้กัน และข้อมูลที่ได้สามารถบอกได้ว่า ข้อมูลระดับน้ำที่ประตูน้ำบางประตู ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า ข้อมูลค่า pH และข้อมูลระดับน้ำของบางบ่อสังเกตการณ์มีอิทธิพลกับตัวแปรหลัก  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$

**ตารางที่ 5.8** ตารางสรุปการวิเคราะห์สมการถดถอยทั้งหมด

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
$Y_1$	.979	0.959	0.950	1282.740
$Y_2$	.996	0.993	0.990	3837.847
$Y_3$	.785	0.615	0.579	13230.557

จากตารางที่ 5.8 จะนำสมการที่ดีที่สุดของแต่ละตัวแปรหลักมาใส่ในตาราง และอธิบายได้ว่าสมการ  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  ข้างต้น มีค่า  $R^2$  ที่ 0.959, 0.993 และ 0.615 ตามลำดับ สามารถบ่งบอกได้ว่าสมการนี้เป็นการวิเคราะห์ที่สมเหตุสมผลและน่าเชื่อถือ เพราะค่า  $R^2$  มีค่าสูงใกล้เคียง 1.00 ซึ่งหมายความว่าค่าที่พยากรณ์ได้จะใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด อย่างไรก็ตามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าสมการของแต่ละตัวแปรหลักนั้นมีความสัมพันธ์กับแปรหลักที่ 95.9%, 99.3% และ 61.5% ตามลำดับ และค่า Adjusted  $R^2$  ที่ 0.950, 0.990 และ 0.579 ตามลำดับ

### 5.3 การใช้เทคนิคการปรับให้เรียบ

ในขั้นตอนการปรับให้เรียบจะนำตัวแปรหลักเพียงครั้งละ 1 ตัวแปร มาเข้าแบบจำลองเพื่อทำการพยากรณ์ โดยจะนำข้อมูลจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูลและจะนำตัวแปรที่สนใจมากที่สุดและสอดคล้องกับวิธีอื่น คือ ตัวแปร  $Y_1$   $Y_2$  และ  $Y_3$  มาทำการสร้างแบบจำลองโดยจะใช้เทคนิคการปรับให้เรียบ 3 แบบในการสร้างแบบจำลองพยากรณ์โดยจะใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์

#### 5.3.1 เทคนิคการปรับให้เรียบด้วยวิธี Holt's linear method

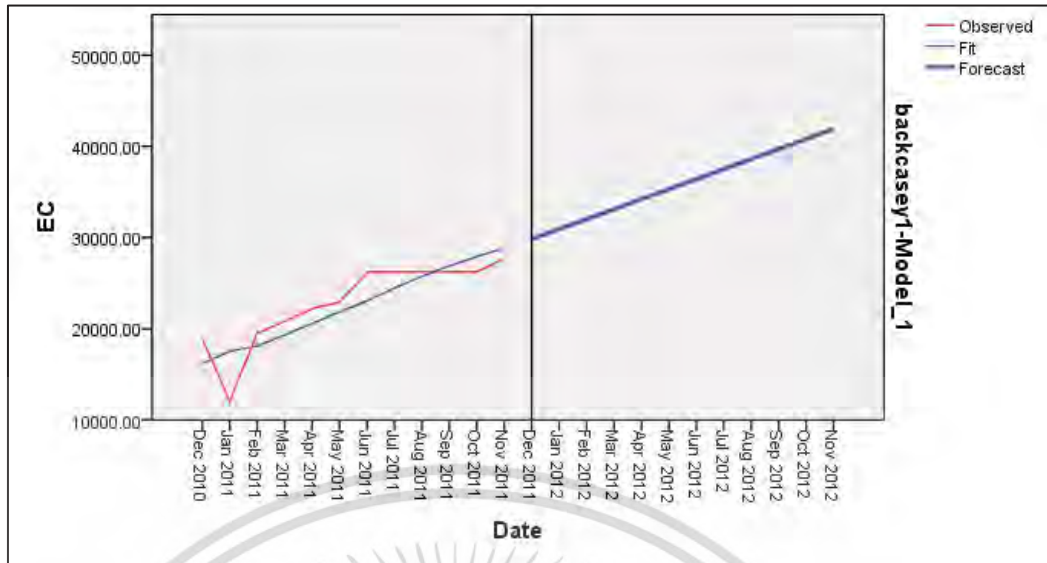
เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลที่มีแนวโน้มในรูปเชิงเส้น (linear trend) และวิธีการนี้จะใช้หลักการเฉลี่ยเคลื่อนที่สองครั้งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล เพื่อปรับให้สมการพยากรณ์มีความเรียบขึ้น



รูปที่ 5.1 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ  $Y_1$

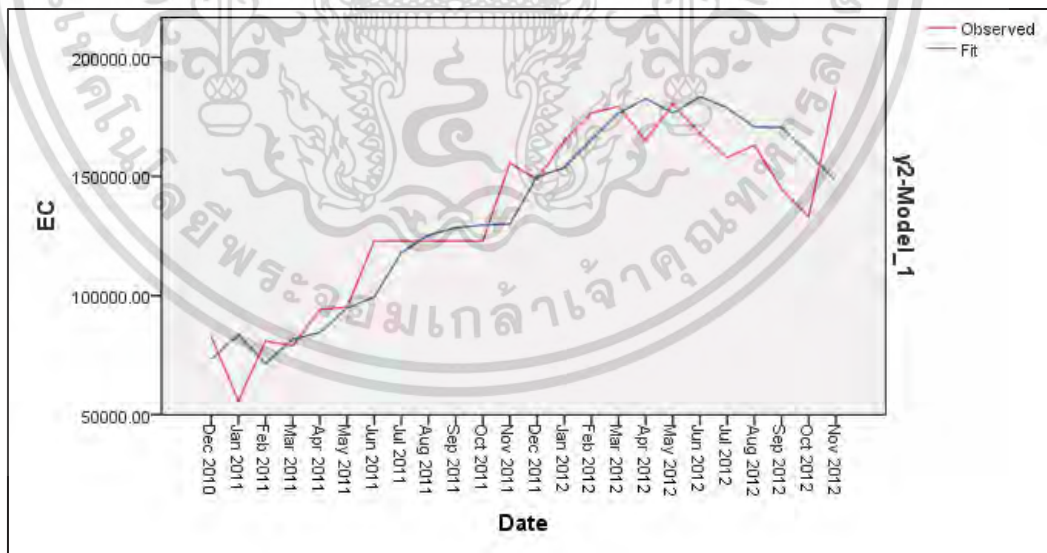
จากรูปที่ 5.1 เป็นการปรับเทียบแบบจำลองข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_1$  โดยจะนำเข้าโปรแกรม SPSS และปรับโมเดลหรือการฟิตโมเดลโดยวิธี Holt's linear method การปรับเทียบนี้จะทำให้แบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง โดยจะทำการนำข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_1$  จากเดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 มาทำการคำนวณให้ใกล้เคียงกับค่าจริงเพื่อทำการปรับโมเดล ผลที่ได้คือเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่ทำการฟิตตั้งโมเดลมีความใกล้เคียงกับเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริงของ  $Y_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ  $Y_1$

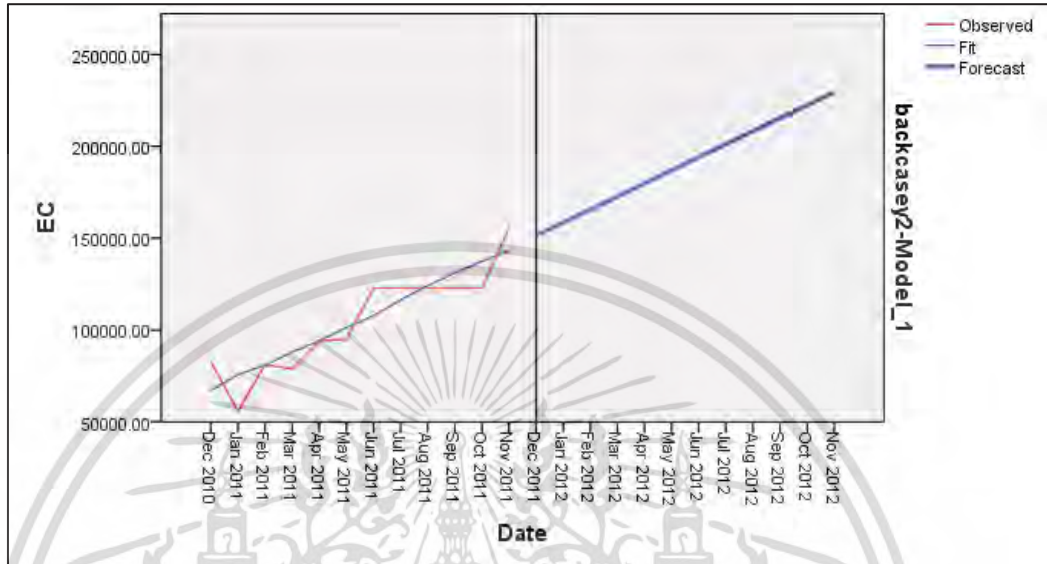
จากรูปที่ 5.2 เป็นการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี Holt's linear method โดยจะพยากรณ์  $Y_1$  ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 ผลที่ได้คือการพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_1$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 35857.41  $\mu\text{S/cm}$  มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงโดยค่าจริงมีข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_1$  เฉลี่ยอยู่ที่ 31801.16  $\mu\text{S/cm}$



รูปที่ 5.3 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ  $Y_2$

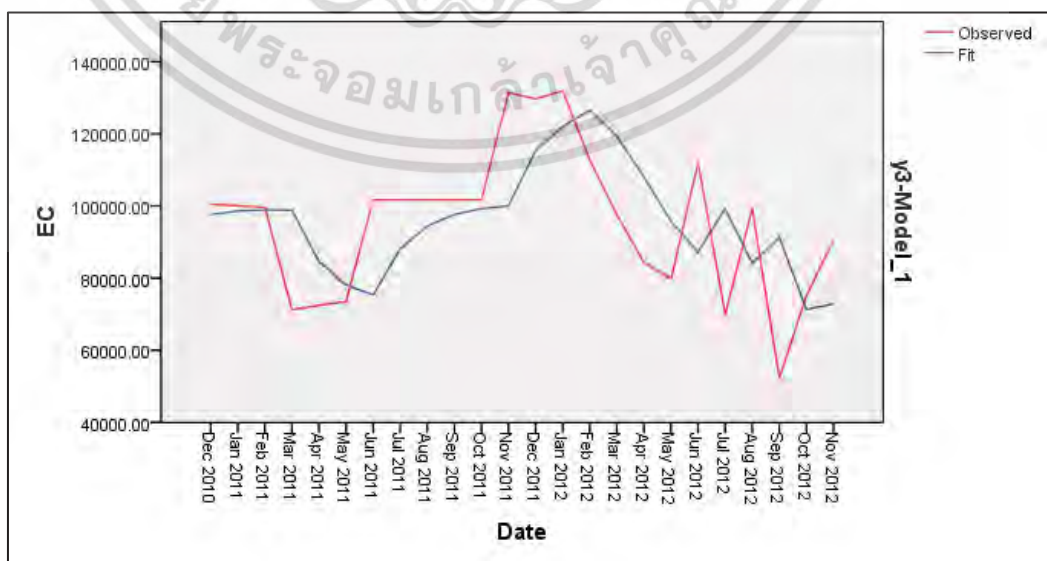
จากรูปที่ 5.3 เป็นการปรับเทียบแบบจำลองข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_2$  โดยจะนำเข้าโปรแกรม SPSS และปรับโมเดลหรือการฟิตโมเดลโดยวิธี Holt's linear method การปรับเทียบนี้จะทำให้แบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง โดยจะทำการนำข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_2$  จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 มาทำการคำนวณให้ใกล้เคียงกับค่าจริงเพื่อทำการปรับโมเดล ผลที่ได้คือเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่ทำการฟิตตั้งโมเดลมีความใกล้เคียงกับเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริงของ  $Y_2$



รูปที่ 5.4 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ  $Y_2$

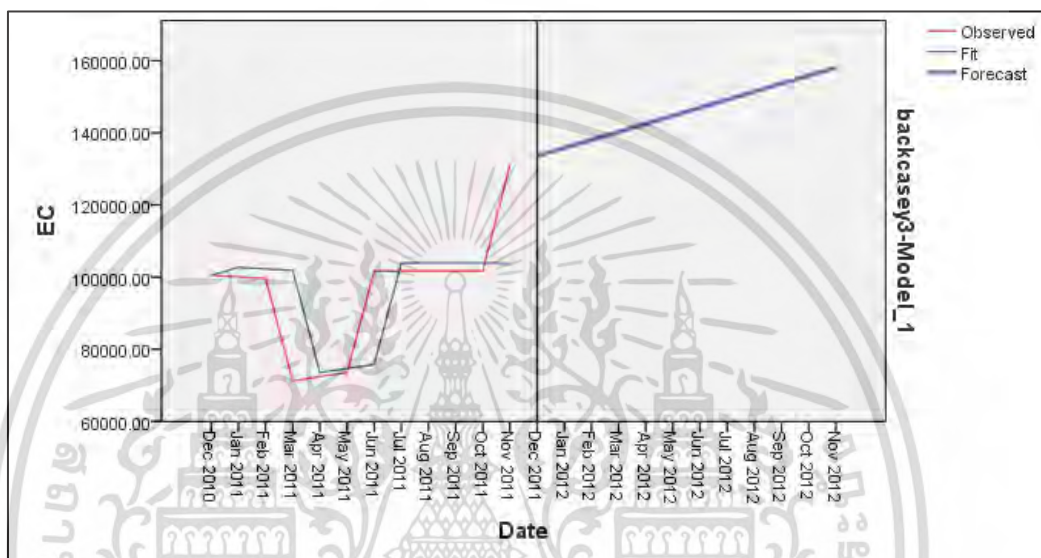
จากรูปที่ 5.4 เป็นการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี Holt's linear method โดยจะพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_2$  ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 ผลที่ได้คือการพยากรณ์ของ  $Y_2$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $190503.40 \mu\text{S}/\text{cm}$  มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงโดยค่าจริงมีข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_2$  เฉลี่ยอยู่ที่  $163995.40 \mu\text{S}/\text{cm}$



รูปที่ 5.5 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ  $Y_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ได้ หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ อาจก่อให้เกิดความเสียหายได้

จากรูปที่ 5.5 เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลองข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_3$  โดยจะนำเข้าโปรแกรม SPSS และปรับโมเดลหรือการฟิตโมเดลโดยวิธี Holt's linear method การปรับเทียบนี้จะทำให้แบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง โดยจะทำการนำข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_3$  จากเดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 มาทำการคำนวณให้ใกล้เคียงกับค่าจริงเพื่อทำการปรับโมเดล ผลที่ได้คือเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่ทำการฟิตตั้งโมเดลมีความห่างกับเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริงของ  $Y_3$

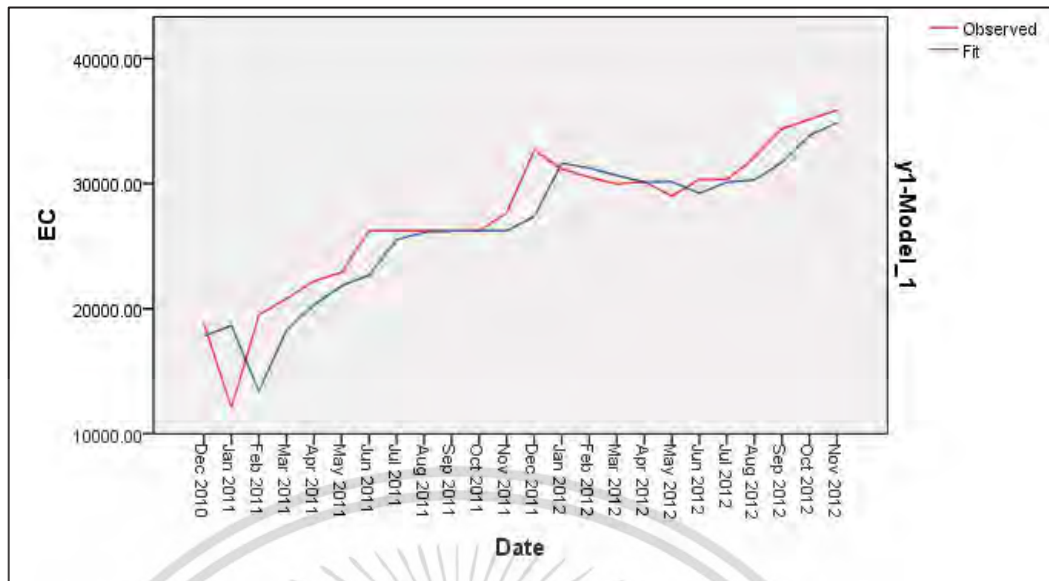


รูปที่ 5.6 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Holt's linear method ของ  $Y_3$

จากรูปที่ 5.6 เป็นการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี Holt's linear method โดยจะพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_3$  ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 ผลที่ได้คือการพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_3$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $145827.52 \mu\text{S/cm}$  มีค่าค่อนข้างห่างกับค่าจริงโดยค่าจริงมีข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_3$  เฉลี่ยอยู่ที่  $94618.09 \mu\text{S/cm}$

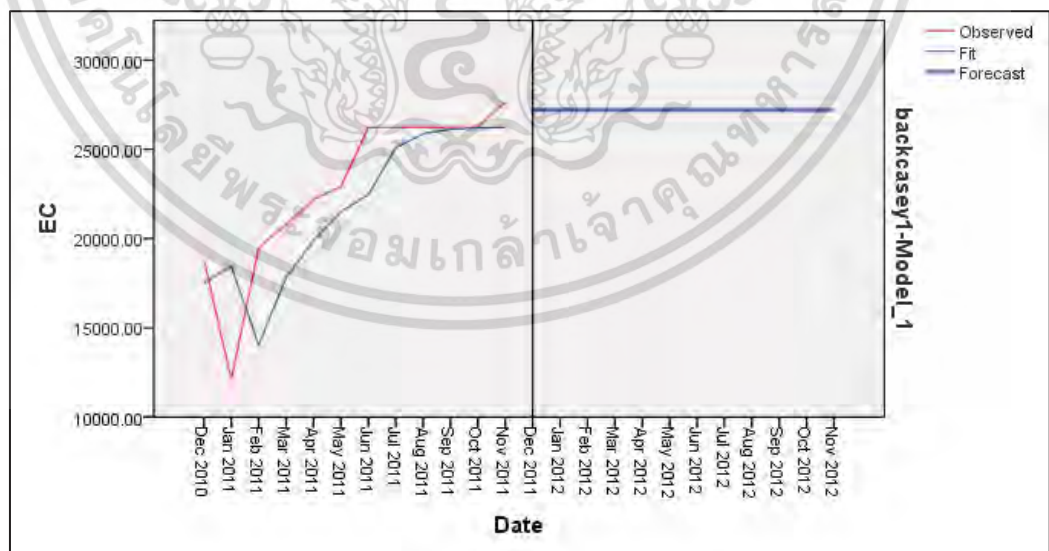
### 5.3.2. เทคนิคการปรับให้เรียบด้วยวิธี Moving Average

เป็นวิธีการปรับให้เรียบโดยมีหลักการคือ การลดความผันแปรและความไม่สม่ำเสมอของข้อมูลโดยการนำข้อมูลมาทำการเฉลี่ยจะทำให้ข้อมูลในช่วงเวลาหนึ่งๆ นั้น มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอและมีช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.7 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Moving average ของ  $Y_1$

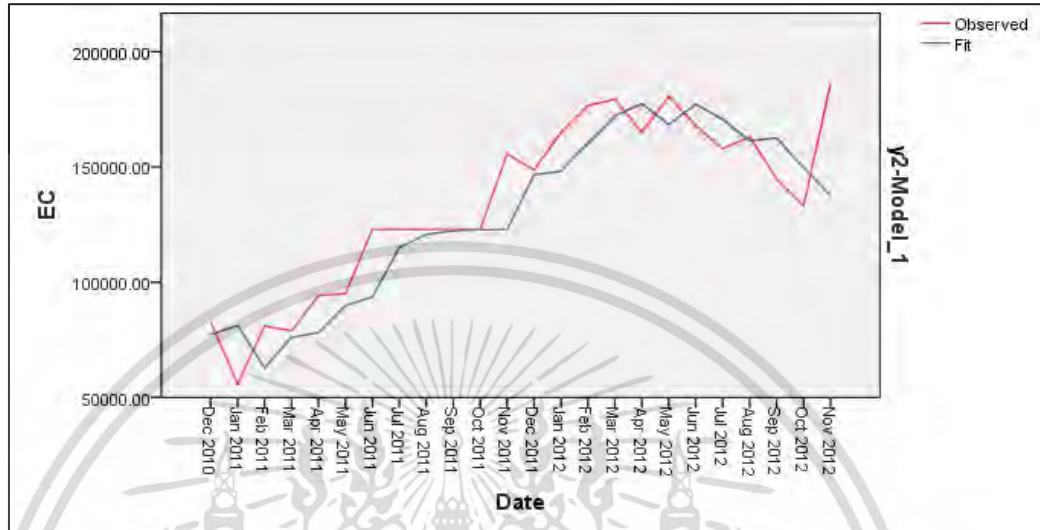
จากรูปที่ 5.7 เป็นการปรับเทียบแบบจำลองข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_1$  โดยจะนำเข้าโปรแกรม SPSS และปรับโมเดลหรือการฟิตโมเดลโดยวิธี Moving average การปรับเทียบนี้จะทำให้แบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง โดยจะทำการนำข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_1$  จากเดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 มาทำการคำนวณให้ใกล้เคียงกับค่าจริงเพื่อทำการปรับโมเดล ผลที่ได้คือเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่ทำการฟิตตั้งโมเดลมีความใกล้เคียงกับเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริงของ  $Y_1$



รูปที่ 5.8 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Moving average ของ  $Y_1$

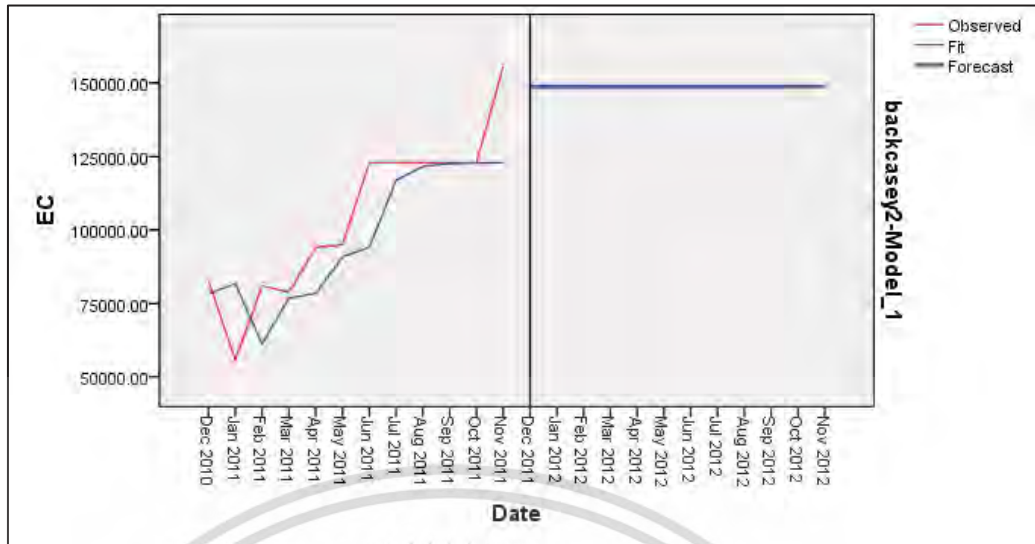
จากรูปที่ 5.8 เป็นการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี Moving average โดยจะพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_1$  ตั้งแต่เดือนธันวาคมไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 ผลที่ได้คือการพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_1$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 27213.42  $\mu\text{S}/\text{cm}$  มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าจริงโดยค่าจริงมีข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_1$  เฉลี่ยอยู่ที่ 31801.16  $\mu\text{S}/\text{cm}$



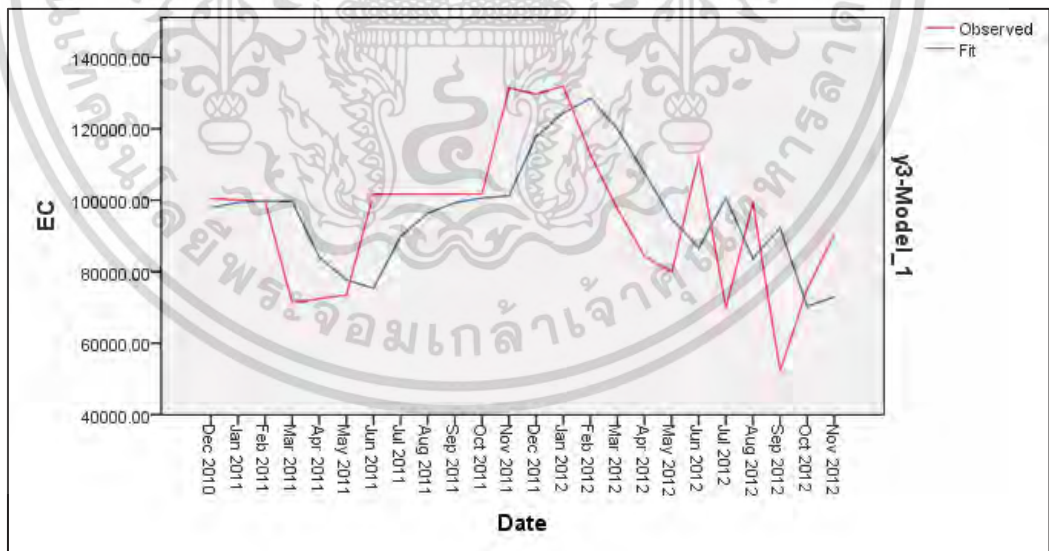
รูปที่ 5.9 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Moving average ของ  $Y_2$

จากรูปที่ 5.9 เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลองข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_2$  โดยจะนำเข้าโปรแกรม SPSS และปรับโมเดลหรือการฟิตโมเดลโดยวิธี Moving average การปรับเทียบนี้จะทำให้แบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง โดยจะทำการนำข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_2$  จากเดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 มาทำการคำนวณให้ใกล้เคียงกับค่าจริงเพื่อทำการปรับโมเดล ผลที่ได้คือเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่ทำการฟิตตั้งโมเดลมีความใกล้เคียงกับเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริงของ  $Y_2$



รูปที่ 5.10 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Moving average ของ  $Y_2$

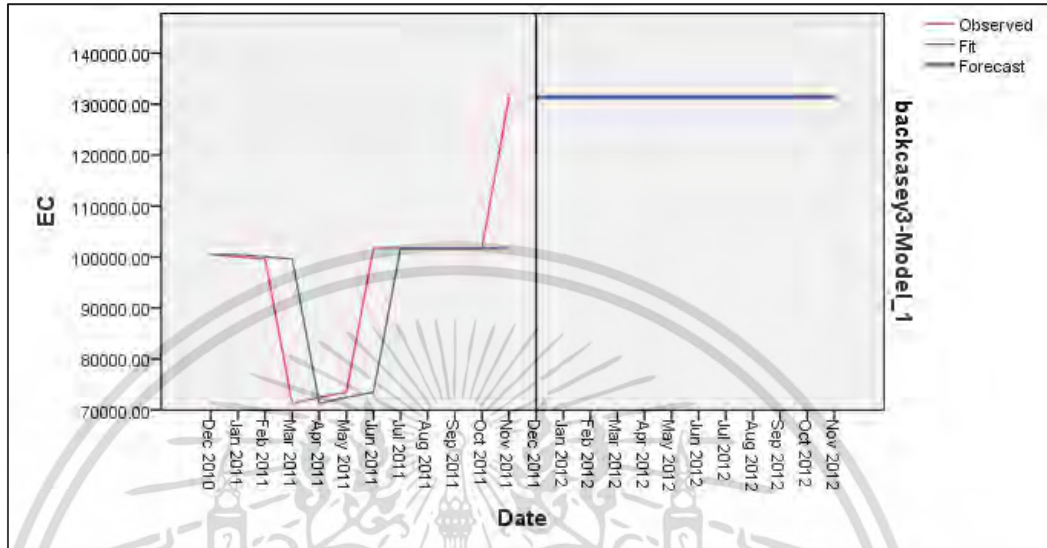
จากรูปที่ 5.10 เป็นการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี Moving average โดยจะพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_2$  ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 ผลที่ได้คือการพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_2$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 148740.1  $\mu\text{S/cm}$  มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าจริงโดยค่าจริงมีข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_2$  เฉลี่ยอยู่ที่ 163995.74  $\mu\text{S/cm}$



รูปที่ 5.11 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Moving average ของ  $Y_3$

จากรูปที่ 5.11 เป็นการปรับเทียบแบบจำลองข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_3$  โดยจะนำเข้าโปรแกรม SPSS และปรับโมเดลหรือการฟิตโมเดลโดยวิธี Moving average การปรับเทียบนี้จะทำให้แบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง โดยจะทำการนำข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Y_3$  จากเดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 มาทำการคำนวณให้ใกล้เคียงกับค่าจริงเพื่อทำการปรับโมเดล ผลที่ได้คือเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่ทำการติดตั้งโมเดลมีความห่างกับเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริงของ  $Y_3$

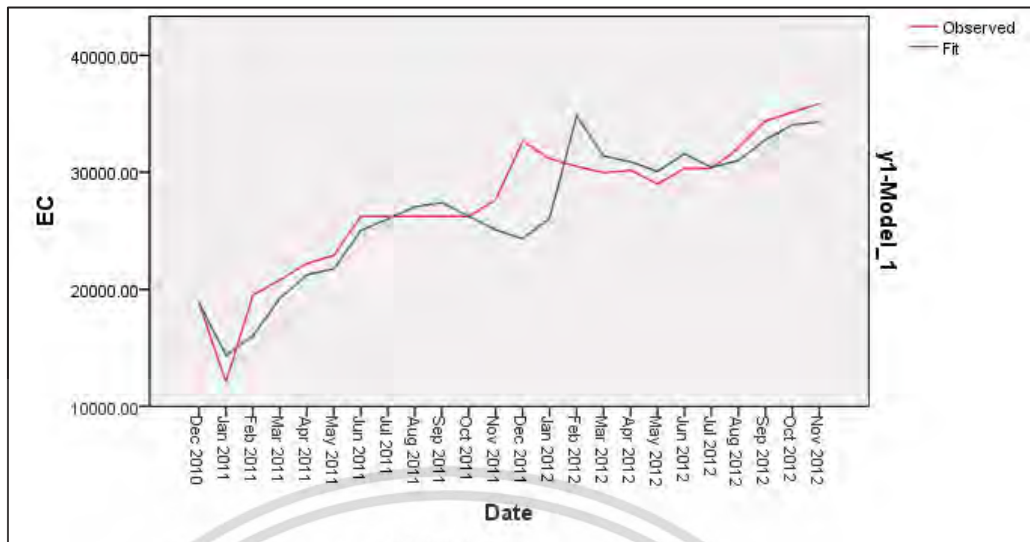


รูปที่ 5.12 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Moving average ของ  $Y_3$

จากรูปที่ 5.12 เป็นการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี Moving average โดยจะพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_3$  ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 ผลที่ได้คือการพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_3$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $131367.19 \mu\text{S/cm}$  มีค่าค่อนข้างห่างกับค่าจริงโดยค่าจริงมีข้อมูลการนำไฟฟ้าของ  $Y_3$  เฉลี่ยอยู่ที่  $94618.09 \mu\text{S/cm}$

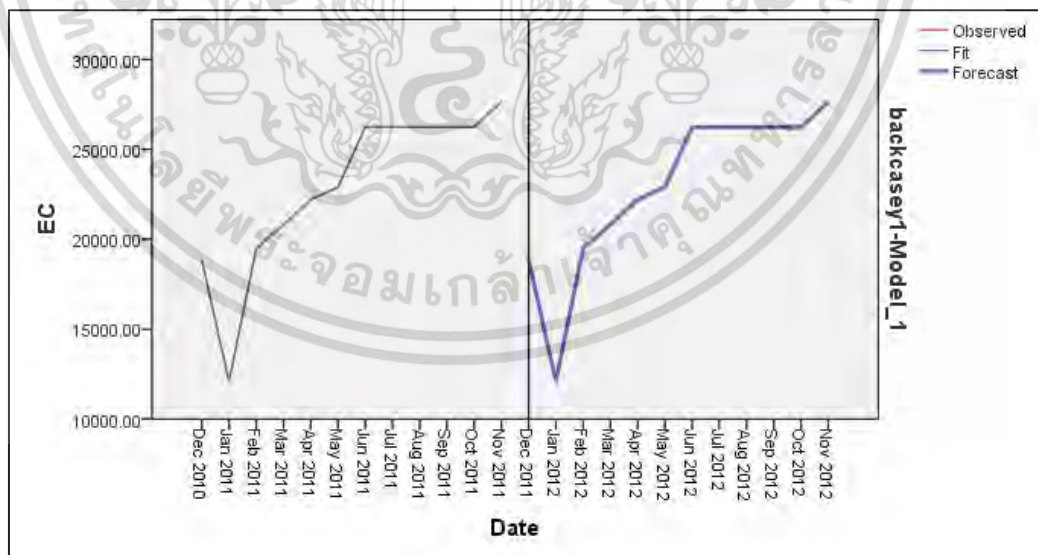
### 5.3.3. เทคนิคการปรับให้เรียบด้วยวิธี Winter's method

เป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มและฤดูกาล วิธีนี้เป็นการปรับให้เรียบกับอนุกรมเวลาที่มีลักษณะแนวโน้มเป็นเส้นโค้งรูปแบบกำลังสอง



รูปที่ 5.13 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ  $Y_1$

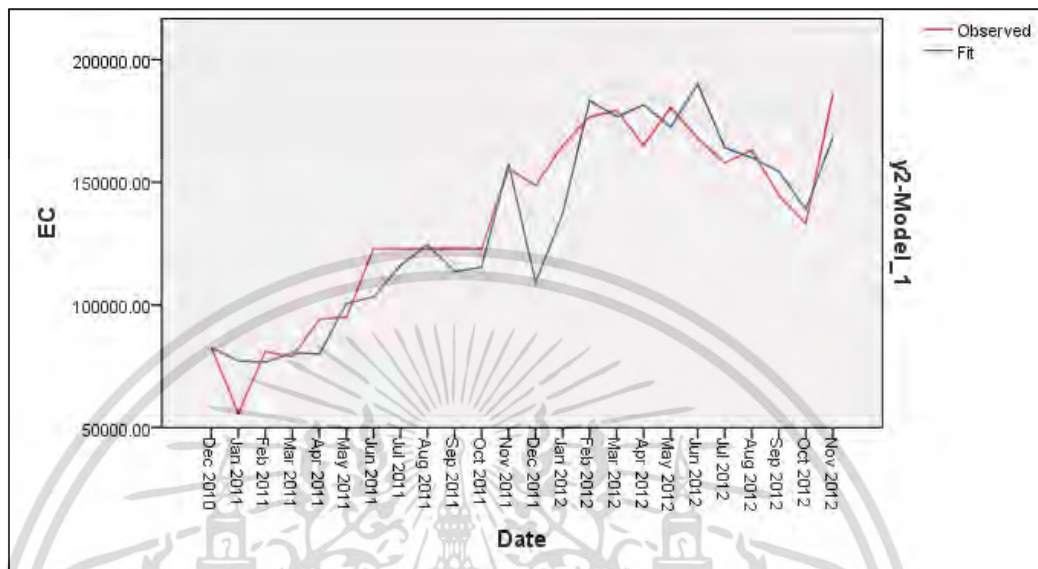
จากรูปที่ 5.13 เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลอง  $Y_1$  โดยจะนำเข้าไปโปรแกรม SPSS และปรับโมเดลหรือการฟิตโมเดลโดยวิธี Winter's method การปรับเทียบนี้จะทำให้แบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง โดยจะทำการนำข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_1$  จากเดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 มาทำการคำนวณให้ใกล้เคียงกับค่าจริงเพื่อทำการปรับโมเดล ผลที่ได้คือเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่ทำการฟิตตั้งโมเดลมีความใกล้เคียงกับเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริงของ  $Y_1$



รูปที่ 5.14 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ  $Y_1$

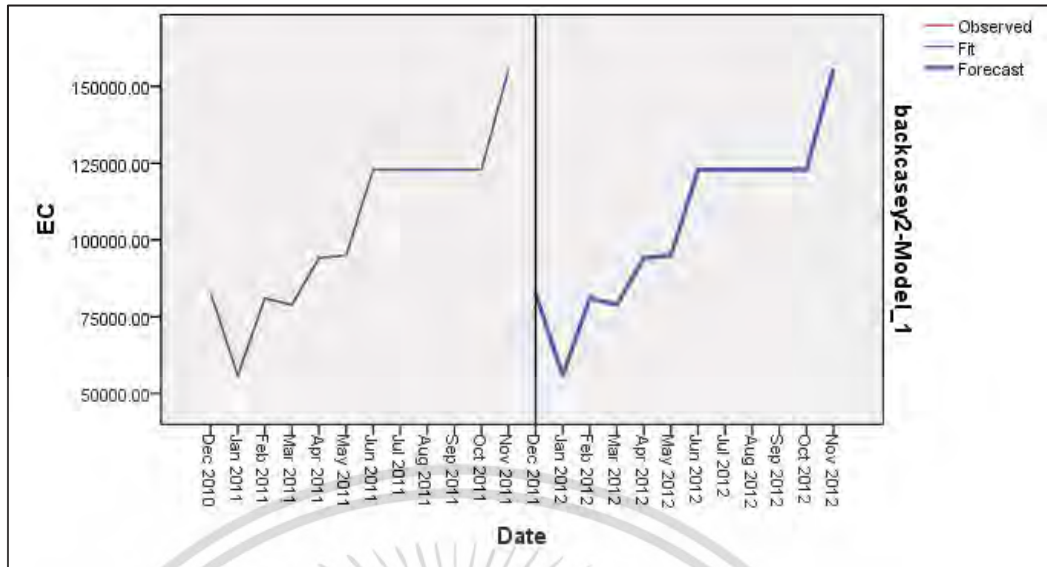
จากรูปที่ 5.14 เป็นการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี Winter's method โดยจะพยากรณ์  $Y_1$  ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤศจิกายน 2555 ผลที่ได้คือการพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_1$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 22929.99  $\mu\text{S}/\text{cm}$  มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงโดยค่าจริงมีข้อมูลการนำไฟฟ้าของ  $Y_1$  เฉลี่ยอยู่ที่ 31801.16  $\mu\text{S}/\text{cm}$



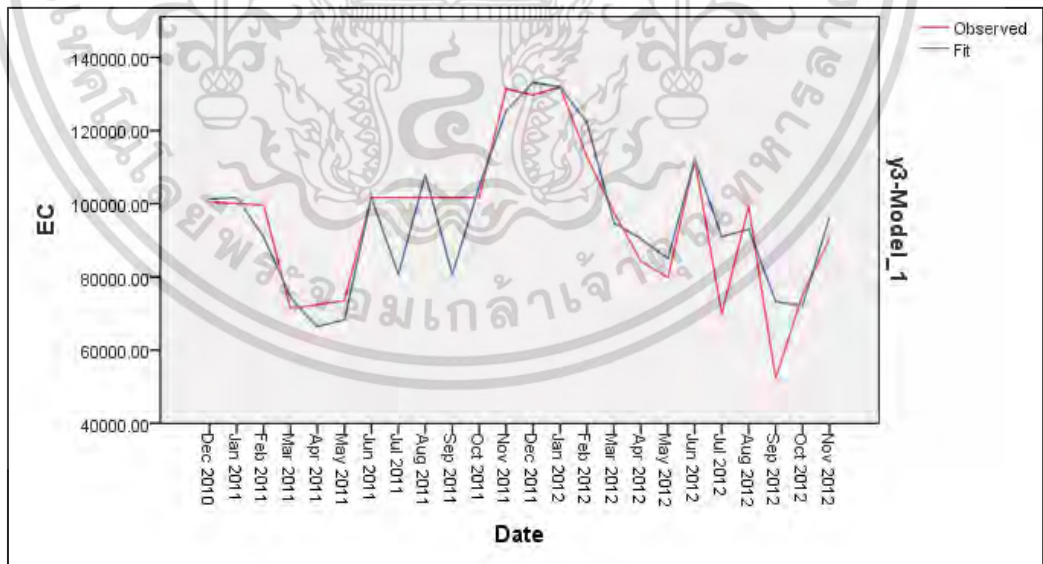
รูปที่ 5.15 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ  $Y_2$

จากรูปที่ 5.15 เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลอง  $Y_2$  โดยจะนำเข้าโปรแกรม SPSS และปรับโมเดลหรือการฟิตโมเดลโดยวิธี Winter's method การปรับเทียบนี้จะทำให้แบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง โดยจะทำการนำข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_2$  จากเดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 มาทำการคำนวณให้ใกล้เคียงกับค่าจริงเพื่อทำการปรับโมเดล ผลที่ได้คือเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่ทำการฟิตตั้งโมเดลมีความใกล้เคียงกับเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริงของ  $Y_2$



รูปที่ 5.16 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ  $Y_2$

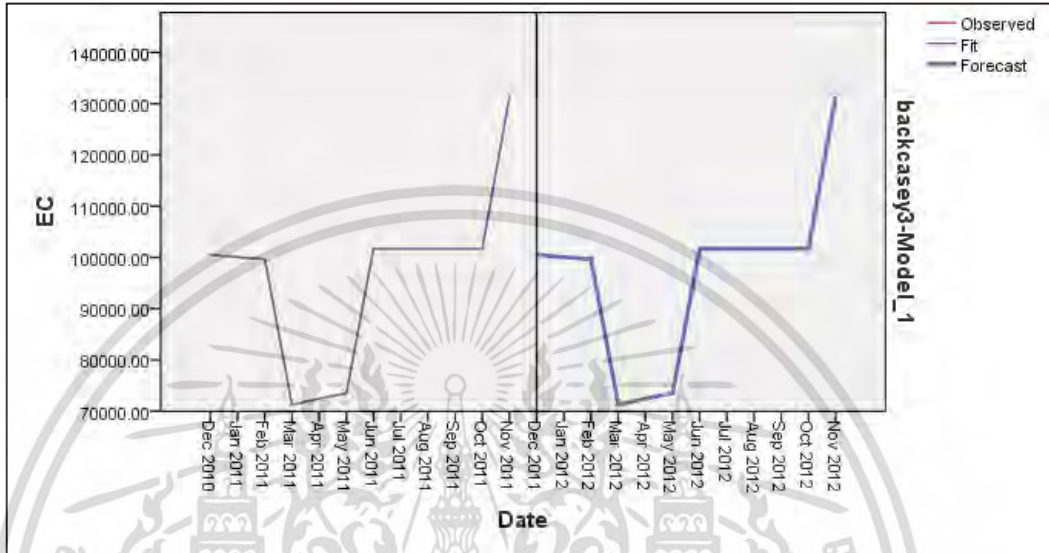
จากรูปที่ 5.16 เป็นการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี Winter's method โดยจะพยากรณ์  $Y_2$  ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 ผลที่ได้คือการพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_2$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 104808.92  $\mu\text{S}/\text{cm}$  มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงโดยค่าจริงมีข้อมูลการนำไฟฟ้าของ  $Y_2$  เฉลี่ยอยู่ที่ 163995.74  $\mu\text{S}/\text{cm}$



รูปที่ 5.17 กราฟการฟิตโมเดลโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ  $Y_3$

จากรูปที่ 5.17 เป็นการปรับเทียบแบบจำลอง  $Y_3$  โดยจะนำเข้าโปรแกรม SPSS และปรับโมเดลหรือการฟิตโมเดลโดยวิธี Winter's method การปรับเทียบนี้จะทำให้ออกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง โดยจะทำการนำข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_3$  จากเดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 มาทำการคำนวณให้ใกล้เคียงกับค่าจริงเพื่อทำการปรับโมเดล ผลที่ได้คือเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่ทำการฟิตตั้งโมเดลมีความใกล้เคียงกับเส้นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่แท้จริงของ  $Y_3$



รูปที่ 5.18 กราฟการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิค Winter's method ของ  $Y_3$

จากรูปที่ 5.18 เป็นการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ย้อนกลับโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี Winter's method โดยจะพยากรณ์  $Y_3$  ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 ผลที่ได้คือการพยากรณ์ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_3$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $96437.58 \mu\text{S/cm}$  มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงโดยค่าจริงมีข้อมูลการนำไฟฟ้าของ  $Y_3$  เฉลี่ยอยู่ที่  $94618.09 \mu\text{S/cm}$

#### 5.4 การเปรียบเทียบการพยากรณ์

ในขั้นตอนการเปรียบเทียบวิธีการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์จะวิธีสร้างตัวแบบพยากรณ์ทั้งหมดของงานวิจัยครั้งนี้มาเปรียบเทียบกับกันโดยใช้ ค่า MAPE เป็นตัวตัดสินใจในการเลือกวิธีการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์วิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

ตารางที่ 5.9 ตารางการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_1$

เดือน	BDS_S EC ( $Y_1$ ) obs	holt's linear method $Y_1$	moving average $Y_1$	winter method $Y_1$	cluster regression $Y_1$	Regression $Y_1$
ธ.ค.54	32675	29821.72	27213.42	18857.84	28224.99	30471.92
ม.ค.55	31175	30919.12	27213.42	12080	28850.36	28929.07
ก.พ.55	30500	32016.52	27213.42	19496.25	29475.73	31945.59
มี.ค.55	29975	33113.92	27213.42	20800	30101.09	30121.01
เม.ย.55	30162.5	34211.31	27213.42	22205	30726.45	30086.77
พ.ค.55	29000	35308.71	27213.42	22900	31351.81	30449.98
มิ.ย.55	30337.5	36406.11	27213.42	26234.17	31977.18	30457.24
ก.ค.55	30337.5	37503.51	27213.42	26234.17	32709.60	30531.62
ส.ค.55	32050	38600.9	27213.42	26234.17	33227.90	32009.22
ก.ย.55	34394.	39698.3	27213.42	26234.17	33853.27	34261.29966
ต.ค.55	35133.84	40795.7	27213.42	26234.17	34478.63	34443.35
พ.ย.55	35873.68	41893.1	27213.42	27650	35103.99	35797.53
	MAPE (%)	14.38	14.05	27.90	4.78	2.40

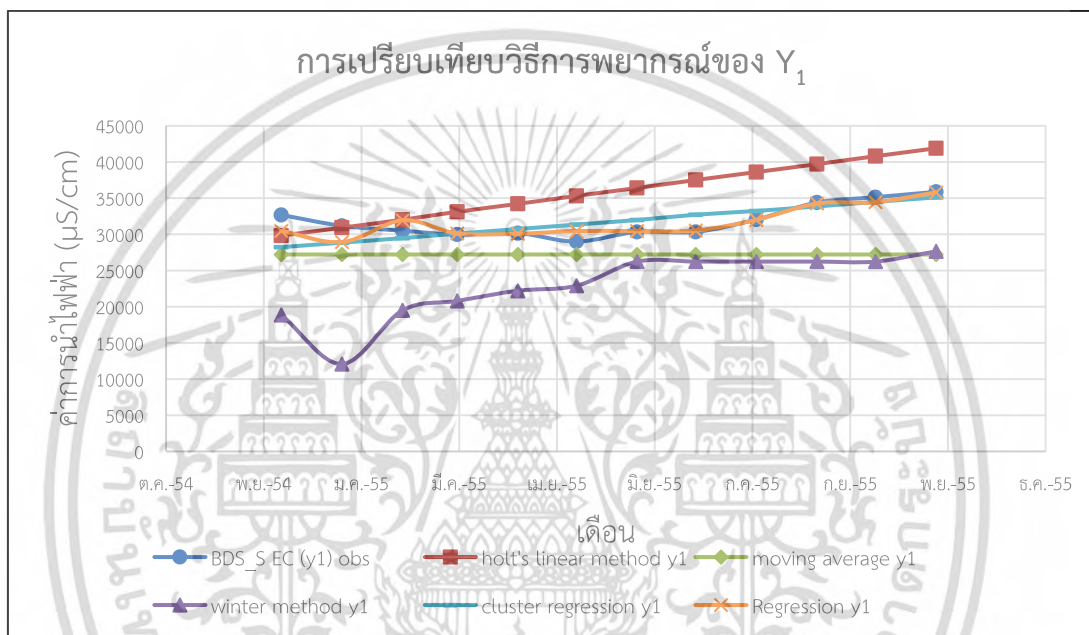
ตารางที่ 5.10 ตารางการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_2$

เดือน	BDS_D EC ( $Y_2$ ) obs	holt's linear method $Y_2$	moving average $Y_2$	winter method $Y_2$	cluster regression $Y_2$	Regression $Y_2$
ธ.ค.54	148600	151426.4	148740.1	82700.8	153305.46	153603.037
ม.ค.55	165050	158531.31	148740.1	55900	143477.30	161657.921
ก.พ.55	176650	165636.22	148740.1	80993.75	162116.70	183031.460
มี.ค.55	179325	172741.13	148740.1	78900	168264.89	178493.41
เม.ย.55	165000	179846.04	148740.1	94175	167655.19	162197.12
พ.ค.55	180575	186950.95	148740.1	95000	174427.21	178822.074
มิ.ย.55	167975	194055.86	148740.1	122887.5	175603.06	171292.31
ก.ค.55	157870	201160.78	148740.1	122887.5	173316.69	157684.31
ส.ค.55	163075	208265.69	148740.1	122887.5	176343.41	165580.08
ก.ย.55	144700	215370.6	148740.1	122887.5	134774.94	144937.38
ต.ค.55	133025	222475.51	148740.1	122887.5	145466.46	135672.56
พ.ย.55	186103.98	229580.42	148740.1	155600	175368.42	180011.86
	MAPE (%)	19.87	10.92	35.31	6.67	1.76

ตารางที่ 5.11 ตารางการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ค่าการนำไฟฟ้าของ  $Y_3$

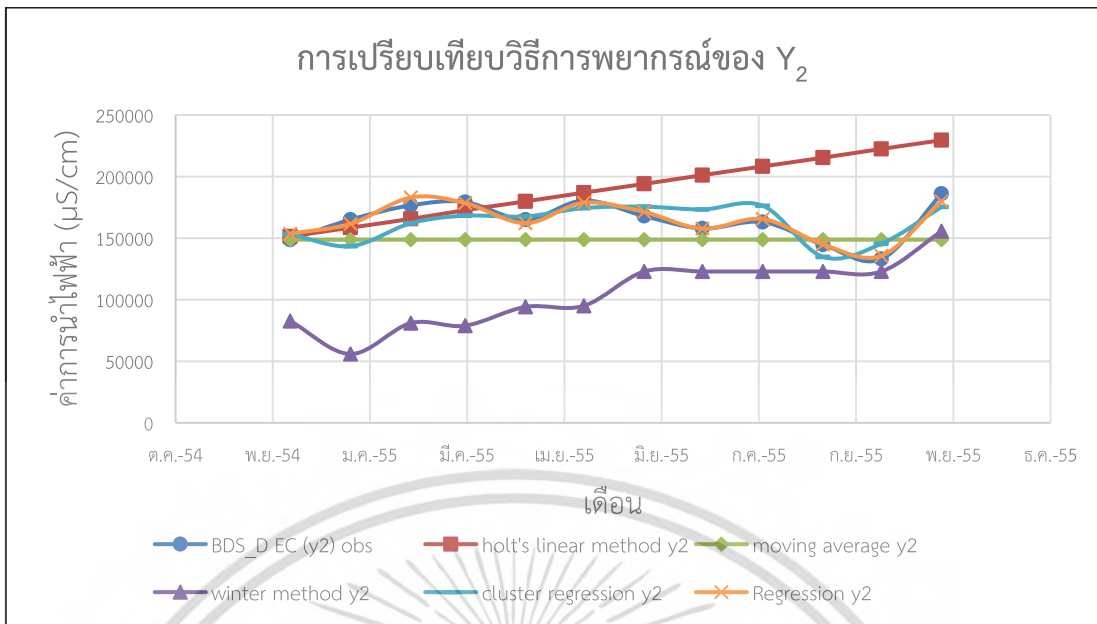
เดือน	BPS_Do EC ( $Y_3$ ) obs	holt's linear method $Y_3$	moving average $Y_3$	winter method $Y_3$	cluster regression $Y_3$	Regression $Y_3$
ธ.ค.54	129675	133575.56	131367.19	100488.6	132776.01	121817.50
ม.ค.55	131900	135803.19	131367.19	100057.3	106632.96	109325.45
ก.พ.55	112850	138030.82	131367.19	99625.92	106075.38	105334.93
มี.ค.55	97650	140258.45	131367.19	71250	96747.95	102385.42
เม.ย.55	84300	142486.08	131367.19	72475	109388.46	76562.13
พ.ค.55	79750	144713.71	131367.19	73500	84613.55	106144.60
มิ.ย.55	112000	146941.34	131367.19	101695.83	94229.02	90986.30
ก.ค.55	70000	149168.97	131367.19	101695.83	75807.52	90928.47
ส.ค.55	99275	151396.6	131367.19	101695.83	91939.11	84572.68
ก.ย.55	52250	153624.23	131367.19	101695.83	55707.46	46633.86
ต.ค.55	75200	155851.86	131367.19	101695.83	91160.30	92373.89
พ.ย.55	90567.14912	158079.49	131367.19	131375	90744.34	88261.89
	MAPE (%)	66.25	48.47	28.26	10.33	14.21

จากตารางที่ 5.9 - 5.11 เป็นตารางการแสดงผลการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ของข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  โดยในตารางการเปรียบเทียบจะประกอบไปด้วย ตารางข้อมูลที่สังเกตหรือข้อมูลที่แท้จริง ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้เทคนิค holt's linear method ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้เทคนิค moving average ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้เทคนิค winter method ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบประยุกต์ และข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุ และในส่วนล่างของตารางจะมีค่า MAPE ของแต่ละวิธีการ ถ้าวิธีการใดมีค่า MAPE ที่น้อยจะแสดงให้เห็นว่าวิธีนั้นจะเป็นวิธีที่มีความผิดพลาดน้อยเช่นกัน



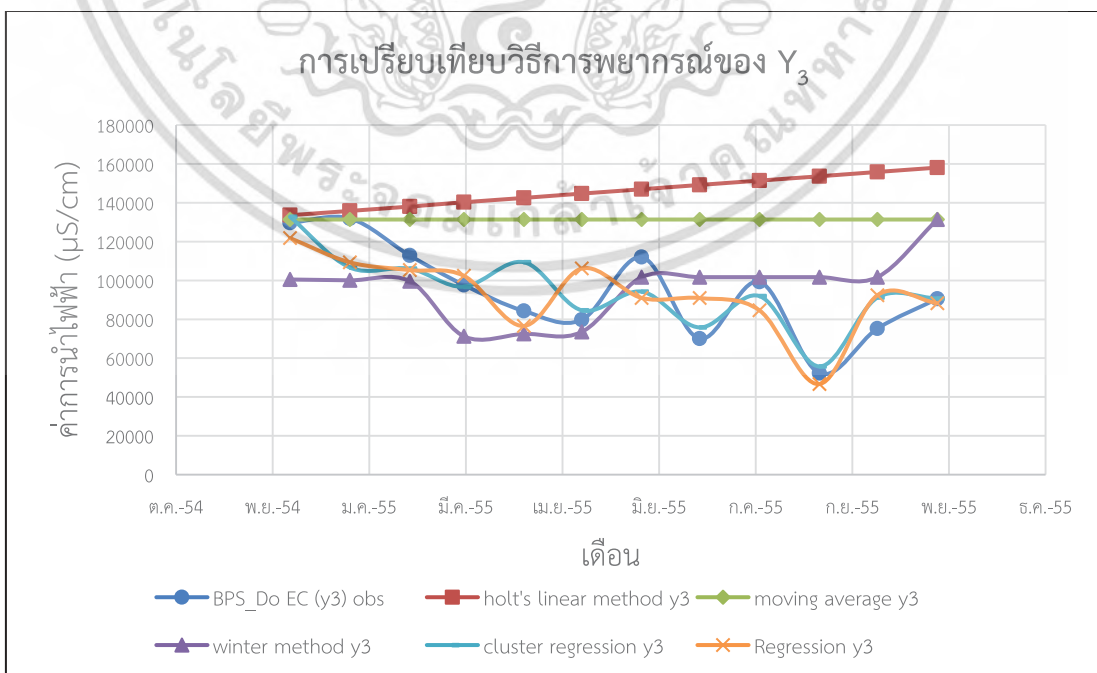
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ของ  $Y_1$

จากรูปที่ 5.19 แสดงกราฟการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ในแบบต่าง ๆ ซึ่งค่าความสามารถในการพยากรณ์จากวิธีต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง แต่วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแปรหลัก  $Y_1$  ที่ใช้ค่า MAPE เป็นตัวตัดสินใจ พบว่าวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดของตัวแปรหลัก  $Y_1$  จะเรียงลำดับวิธีการพยากรณ์ได้ดังนี้ Regression > cluster regression > moving average > holt's linear method > winter method และมีค่า MAPE เท่ากับ 2.40%, 4.78%, 14.05%, 14.38%, 27.90% ตามลำดับ



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ของ  $Y_2$

จากรูปที่ 5.20 แสดงกราฟการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ในแบบต่าง ๆ ซึ่งค่าความสามารถในการพยากรณ์จากวิธีต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง แต่วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแปรหลัก  $Y_2$  ที่ใช้ค่า MAPE เป็นตัวตัดสินใจ พบว่าวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดของตัวแปรหลัก  $Y_2$  จะเรียงลำดับวิธีการพยากรณ์ได้ดังนี้ Regression > cluster regression > moving average > holt's linear method > winter method และมีค่า MAPE เท่ากับ 1.76%, 6.67%, 10.92%, 19.87%, 35.31% ตามลำดับ



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ของ  $Y_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.21 แสดงกราฟการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ในแบบต่าง ๆ ซึ่งค่าความสามารถในการพยากรณ์จากวิธีต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง แต่วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแปรหลัก  $Y_3$  ที่ใช้ค่า MAPE เป็นตัวตัดสินใจ พบว่าวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดของตัวแปรหลัก  $Y_3$  จะเรียงลำดับวิธีการพยากรณ์ได้ดังนี้ cluster regression > Regression > winter method > moving average > holt's linear method และมีค่า MAPE เท่ากับ 10.33%, 14.21%, 28.26%, 48.47%, 66.25% ตามลำดับ

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลที่สูงจะแสดงให้เห็นถึงความเค็มที่สูงขึ้นเช่นกัน โดยความเค็มของน้ำบาดาลในการศึกษาครั้งนี้มีความเค็มที่สูงกว่าความเค็มของน้ำทะเล และความเหมาะสมของวิธีการพยากรณ์ในการศึกษาจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ค่าความผิดพลาด (MAPE) ของวิธีการพยากรณ์จะสามารถยอมรับได้ถ้ามีค่าความผิดพลาดต่ำกว่า 30%

วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบประยุกต์เหมาะสมกับข้อมูลที่มีหลายตัวแปรและทำการตัดตัวแปรให้เหลือเฉพาะตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรหลัก ผลที่ได้มีค่าความผิดพลาดที่น้อยโดยข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่บ่อสังเกตการณ์ BDS\_S ( $Y_1$ ), BDS\_D ( $Y_2$ ) และ BPS\_Do ( $Y_3$ ) มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 4.78%, 6.67% และ 10.33% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการพยากรณ์

วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุเหมาะสมกับข้อมูลที่มีระยะเวลาของข้อมูลที่ไม่มากและเป็นข้อมูลเชิงเส้นตรง มีจำนวนตัวแปรของข้อมูลที่ไม่มาก ผลที่ได้มีค่าความผิดพลาดน้อยโดยข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่บ่อสังเกตการณ์ BDS\_S ( $Y_1$ ), BDS\_D ( $Y_2$ ) และ BPS\_Do ( $Y_3$ ) มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 2.4% 1.76% และ 14.21% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการพยากรณ์

วิธีการพยากรณ์โดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี holt's linear method มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มเชิงเส้นตรง ผลที่ได้มีค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้โดยข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่บ่อสังเกตการณ์ BDS\_S ( $Y_1$ ) และ BDS\_D ( $Y_2$ ) มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 14.38% และ 19.87% แต่ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่บ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do ( $Y_3$ ) มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 66.25% แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้กับข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่บ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do ( $Y_3$ )

วิธีการพยากรณ์โดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี moving average มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่ต้องการความสม่ำเสมอ ผลที่ได้มีค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้โดยข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่บ่อสังเกตการณ์ BDS\_S ( $Y_1$ ) และ BDS\_D ( $Y_2$ ) มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 14.05% และ 10.92% แต่ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่บ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do ( $Y_3$ ) มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ

48.47% แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้ไม่เหมาะกับการนำมาใช้กับข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่บ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do ( $Y_3$ )

วิธีการพยากรณ์โดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบวิธี winter method มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มเชิงเส้นโค้ง ผลที่ได้มีค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้โดยข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่บ่อสังเกตการณ์ BDS\_S ( $Y_1$ ) และ BPS\_Do ( $Y_3$ ) มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 27.9% และ 28.26% แต่ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่บ่อสังเกตการณ์ BDS\_D ( $Y_2$ ) มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 35.31% แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้ไม่เหมาะกับการนำมาใช้กับข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่บ่อสังเกตการณ์ BDS\_D ( $Y_2$ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลการวิจัย

1. จากการศึกษาพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ที่สนใจ มีค่าการนำไฟฟ้าเกินค่าระดับการนำไฟฟ้าในน้ำจืดอยู่มาก ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ที่ผู้จัดทำสนใจทั้ง 3 บ่อสังเกตการณ์มีดังนี้ ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S ( $Y_1$ ) ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D ( $Y_2$ ) และข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do ( $Y_3$ ) มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 27365.58, 134402.3 และ 95527.84  $\mu\text{S/cm}$  ตามลำดับ ถือว่าน้ำบาดาลในบ่อสังเกตการณ์เหล่านี้มีเกลือละลายน้ำอยู่มากหรือมีความเค็มในน้ำที่มากกว่าความเค็มของน้ำทะเล

2. จากการทดลองพบว่าการพยากรณ์ข้อมูลเชิงปริมาณสามารถใช้วิธีการพยากรณ์ได้หลากหลายวิธี ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำวิธีการพยากรณ์มา 5 วิธี ประกอบด้วย การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบประยุกต์ การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นพหุและเทคนิคการปรับให้เรียบ 3 วิธีได้แก่ การเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย วิธีแบบโฮลท์ วิธีแบบวินเตอร์ วิธีทางเลือกในการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S ( $Y_1$ ) และข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BDS\_D ( $Y_2$ ) คือ การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นพหุ โดยมีค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) อยู่ที่ 2.40% และ 1.76% ส่วนวิธีทางเลือกในการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์ BPS\_Do ( $Y_3$ ) คือ การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบประยุกต์ โดยมีค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) อยู่ที่ 10.33% ซึ่งค่า MAPE ที่น้อยจะแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของวิธีที่ใช้ในการพยากรณ์ข้อมูล

3. วิธีการสร้างแบบจำลองที่ประยุกต์ขึ้นมามีความเหมาะสมต่อการพยากรณ์ เพราะจากการทดลองพบว่าค่าการเปรียบเทียบพยากรณ์โดยใช้ค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) ของข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าจากบ่อสังเกตการณ์ BDS\_S ( $Y_1$ ), BDS\_D ( $Y_2$ ) และ BPS\_Do ( $Y_3$ ) มีค่าอยู่ที่ 4.78%, 6.67% และ 10.33% ตามลำดับ

4. ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของบ่อสังเกตการณ์หลักทั้ง 3 บ่อสังเกตการณ์อาจมีความสัมพันธ์กับ ข้อมูลระดับน้ำที่ประตูน้ำบางประตู ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า ข้อมูลค่า pH และ ข้อมูลระดับน้ำของบางบ่อสังเกตการณ์ที่อยู่ในตำแหน่งที่ห่างกันหรือใกล้กันก็ได้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบข้อมูลและวิธีการพยากรณ์ข้อมูล

5. วิธีการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของข้อมูลที่น่าสนใจ โดยรูปแบบข้อมูลอาจจะมีแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลแตกต่างกันไป

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการเปรียบเทียบการพยากรณ์ในการวิจัยครั้งนี้ พบว่าสามารถสร้างตัวแบบพยากรณ์ในการพยากรณ์ความเค็มในน้ำบาดาลได้หลากหลายวิธี ค่าการเปรียบเทียบการพยากรณ์นั้นสามารถบ่งบอกได้ถึงความเหมาะสมของวิธีการพยากรณ์ในการวิจัยครั้งนี้ได้ และวิธีการพยากรณ์สามารถพยากรณ์แนวโน้มของความเค็มในน้ำบาดาลได้ในอนาคต วิธีการพยากรณ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับข้อมูลอื่น ๆ และผู้วิจัยขอเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและวิจัยต่อไปดังนี้

1. ในงานวิจัยครั้งนี้ปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีผลต่อความเค็มของน้ำบาดาลที่อาจจะมึ้น้อยไปและจำนวนตัวแปรอิสระที่มากเกินไป
2. ระยะเวลาการเก็บข้อมูลตัวอย่างที่อาจจะน้อยเกินไป สำหรับการนำไปพยากรณ์ข้อมูลในอนาคต จึงสามารถทำได้เพียงเปรียบเทียบวิธีการสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์เท่านั้น
3. การวิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นพหุในขั้นตอนการนำตัวแปรทั้งหมดมาใส่ในการวิเคราะห์อาจจะทำให้การวิเคราะห์ผิดไป เนื่องจากตัวแปรอิสระที่มีหลายตัวอาจจะมีความสัมพันธ์กันจึงทำให้ถูกตัดออกจากสมการถดถอยจนทำให้สมการที่ได้มีตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรหลักมีจำนวนที่น้อยมาก
4. ระยะเวลาในการนำข้อมูลไปทำการพยากรณ์ควรจะมีระยะเวลาของข้อมูลอย่างน้อย 5 ปี เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลไปพยากรณ์ช่วงระยะเวลาในอนาคตได้

## บรรณานุกรม

- กิจการ พรหมมา. 2547. **อุทกธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม**. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- กิจการ พรหมมา. 2555. **อุทกธรณีวิทยา**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กิจจา ตรีเนตร, ยาหี ตรีเนตร และ ภัทรภรณ์ เมฆพฤกษาวงศ์. 2550. **รายงานการศึกษาโครงการชลประทาน น้ำท่าตอนล่าง จังหวัดนครพนม**. กรุงเทพฯ : กรมชลประทาน.
- โกมล โอบารัตน์มณี. 2540. **การศึกษาผลกระทบจากชั้นเกลือหินต่ออ่างเก็บน้ำโดยวิธีการสำรวจควาต้านทานไฟฟ้าในโครงการชลประทานลุ่มน้ำท่าตอนล่างจังหวัดนครพนม**. กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2545. **หลักสถิติ**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2552. **การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2552. **สถิติสำหรับงานวิจัย**. พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มุกดา แม่นมิตร. 2549. **อนุกรมเวลาและการพยากรณ์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ประกายพริก
- ทรงศิริ แต้สมบัติ. 2548. **การวิเคราะห์การถดถอย**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทรงศิริ แต้สมบัติ. 2549. **การพยากรณ์เชิงปริมาณ**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เปี่ยมศรี สุวรรณภู. 2540. **คณิตศาสตร์ขั้นสูงสำหรับวิศวกร**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วิจิต หล่อจี้รชุนท์. 2548. **เทคนิคการพยากรณ์**. กรุงเทพฯ : สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- วีระพงษ์ ต้นสุวรรณ, นรรัตน์ บุญกันภัย. 2540. “**ธรณีวิทยาลุ่มน้ำท่าตอนล่าง อ่างเก็บน้ำหนองมน จังหวัดนครพนม**”. การประชุมเสนอผลงานทางวิชาการ กองธรณีวิทยา ประจำปี 2540.
- Adhikary S.K., Rahman M. and Gupta A.D. 2012. “A Stochastic Modeling Technique for Predicting Groundwater Table Fluctuations with Time Series Analysis”. **International Journal of Applied Science and Engineering Research**. 1(2) : 238- 249.
- Anpalaki J. R. and George C. F. 2006. “Modeling Water Quality Trend in Long Term Time Series”. **University of Nevada**. Paper 205-31
- Belkhiri L, Boudoukha A. and Mouni L. 2010. “A multivariate Statistical Analysis of Groundwater Chemistry Data”. **International Journal of Environmental Research**. 5(2): 537-544.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Clean Water Team. 2004. **Electrical conductivity/salinity Fact SheetFS-3.1.3.0 (EC)**. In: **The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment, Version 2.0**. Division of Water Quality, **California State Water Resources Control Board (SWRCB)**. Sacramento : California.
- Hammer Q., Harper D.A.T. and Ryan P.D. 2001. "PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis". **Palaeontologia Electronica** 4(1): 1-9.
- Hammer Q. and Harper DAT. 2006. **Paleontological Data Analysis**. Blackwell : Oxford.
- Jain, C.K. and Sharma, M.K. 2000. "Regression Analysis of Groundwater Quality Data of Sagar District, Madhya Pradesh". **Indian J. Environ. Health**. 42 (4), 159-168.
- Kumar N. and Sinha D.K. 2010. "Drinking water quality management through correlation studies among various physicochemical parameters: a case study". **International Journal of Environmental Sciences**. 1(2): 253-259.
- Hayashi M. 2003. **Temperature-Electrical Conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data**. University of Calgary
- Agarwal M. and Agarwal A. 2013. "Linear Regression And Correlation Analysis Of Water Quality Parameters: A Case Study Of River Kosi at District Rampur, India". **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**. (2) : 7273-7279.
- Joarder M.A.M., Raihan F., Alam J.B. and Hasanuzzaman S. 2008. "Regression analysis of ground water quality data of Sunamganj District, Bangladesh". **International Journal of Environment Research**. 2(3) : 291-296.
- Russoniello J. C. , Fernandez C. , Bratton J. F. , Banaszak F. J. , Krantz E. D. , Andres S. , Konikow F. L. and Holly A. M. 2013. "Geologic effects on groundwater salinity and discharge into an estuary". **Journal of Hydrology**. (498) : 1-12.
- Tankersley C.D., Graham W.D. and Hatfield K. 1993. Comparison of univariate and transfer function models of groundwater fluctuations. **Water Resources Research**. 29 (10) : 3517-3533.
- Thailand Mineral Resource Department. 1998. **The study of salt rock in the Lower Namkam Basin Irrigation Project-Nakhon Panom Province**. Thailand.

- Seeboonruang U. 2011. "Investigation of Geochemical Conditions in the Mottled Saline Area in Lower Namkam Basin Thailand". **GEOINDO 2011**.
- Seeboonruang U. 2015. "An application of time-lag regression technique for assessment of groundwater fluctuations in a regulated river basin: a case study in Northeastern Thailand". **Environmental Earth Sciences**. (73) : 6511–6523.
- Seeboonruang U. 2016. "A Multiple Regression Analysis for Predicting Salinity in Shallow Groundwater". **IMEC 2017**. (2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.  
ข้อมูลผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล

### 1.1 ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ที่ยังไม่สมบูรณ์

ตารางที่ ผ.ก.1 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการเฉลี่ยรายเดือนแล้ว

เดือน	BLK_Y			BDD_P			BDD			BDD_C		
	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC
ธ.ค.53	5.135	5.5	121	2.695	5.09	43.05	0.99	6.51	280	4.625	6.68	592
ม.ค.54	5.25	4.78	76.4	3.43	4.63	31.6	1.16	5.43	47	4.9	6.57	394
ก.พ.54												
มี.ค.54	6.355	5.4175	379.75	4.31	5.3225	59.25	2.41	6.225	283.55	5.525	6.355	1348.5
เม.ย.54	6.445	5.5875	582	4.47	5.425	100.8	2.745	5.68	369	5.5	6.21	1218
พ.ค.54	6.62	5.6125	646.5				2.91	5.625	219.775	5.7	6.01	1390
มิ.ย.54												
ก.ค.54	1.6	5.875	424	0.5	5.755	117.4	2	6.27	265	1	6.11	204.95
ส.ค.54	1.6	5.2875	208.075	0.25	5.5075	47.425	0	5.82	203.25	2.15	6.535	349.25
ก.ย.54	1.3	5.69	177.6	0.2	6.01	55.3	0	5.7	193	2.2	6.84	426.5
ต.ค.54	2.2	5.69	197.05	1.05	5.335	67.2	0.15	6.1725	154.9	2.9	6.755	553.75
พ.ย.54	3.25	5.485	151.05	1.7	5.885	67.9	0	6.32	213.325	3.55	6.935	675
ธ.ค.54	4.05	5.875	288.2	2	6.03	89.275	0.35	6.4975	335.25	4	7.3125	789.75



ตารางที่ ผ.ก.1 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการเฉลี่ยรายเดือนแล้ว (ต่อ)

เดือน	BDY_S			BWY_P			BLS			BDS_S		
	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC
ธ.ค.53	2.38	4.98	48.05	4.815	5.365	5320	1.415	5.34	153.5			
ม.ค.54	2.9	5.13	43.4	5	6.09	3360	1.5	5.96	974	0	7.91	12080
ก.พ.54												
มี.ค.54	4.98	4.46	135.425	5.955	4.835	7855	2.35	5.87	108.9	0.16	7.46	20800
เม.ย.54	5.28	4.5675	134.475	6.18	4.665	8095	2.53	5.2	148.575	0.24	7.37	22205
พ.ค.54	5.635	4.5925	148.425	6.065	4.865	7440	2.63	5.1525	143	0.3	6.925	22900
มิ.ย.54												
ก.ค.54	2.3	5.72	702.05	0.3	5.92	746.5	0	5.66	125.6			
ส.ค.54	1.5	6.0775	376.5	1.15	5.91	1078.5	0	5.95	99.225			
ก.ย.54	1	6.385	283.5	0.8	6.16	1005.5	0.2	5.785	100.65			
ต.ค.54	1.5	5.615	192.75	2.2	6.04	1083.75	0.3	6.06	114.575			
พ.ย.54	2	4.845	132.4	3.3	6.0475	1154.25	0.425	6.0075	155.775	0	7.855	27650
ธ.ค.54		5.42	71.675	4.15	6.025	1150	0.7	5.84	107.325	0	7.78	32675
ม.ค.55	3.05	5.3125	137.025	4.325	5.99	1144.75	0.65	5.9375	544.575	0	7.435	31175
ก.พ.55	3.55	5.43	192.825	4.4	6.05	1098.25	1.2	6.66	381.41	0	7.765	30500
มี.ค.55	4.15	5.21	191.675	4.55	5.98	1109.5	1.65	6.66	381.41	0	7.955	29975



ตารางที่ ผ.ก.1 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการเฉลี่ยรายเดือนแล้ว (ต่อ)

เดือน	BDS_D			BDS_S1			BDS_D1			BDS_S2		
	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC
ธ.ค.53												
ม.ค.54	0.76	6.45	55900									
ก.พ.54												
มี.ค.54	1.22	6.525	78900									
เม.ย.54	1.36	6.2575	94175									
พ.ค.54	1.38	6.015	95000									
มิ.ย.54												
ก.ค.54												
ส.ค.54												
ก.ย.54												
ต.ค.54												
พ.ย.54	0	6.6	155600									
ธ.ค.54	0	6.6175	148600	0	6.99	8655	0	8.01	91850			
ม.ค.55	0.15	6.3525	165050	0	8.0575	6862.5	0	7.34	94975	3.6	6.76	5067.5
ก.พ.55	0.15	6.695	176650	0	8.0625	7735	0	7.455	90125	3.9	7.15	17355
มี.ค.55	0	6.875	179325	0	8.535	8950	0	8.06	84425	3.7	7.7	24090



ตารางที่ ผ.ก.1 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการเฉลี่ยรายเดือนแล้ว (ต่อ)

เดือน	BDS_D2			BPS_S			BPS_Do			BPS_Dn		
	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC
ธ.ค.53				2.91	6.035	16230	2.5	6.03	39150	2.5	6.395	21470
ม.ค.54				2.48	6.165	3900	2.48	6.58	28800	3.39	6.68	19735
ก.พ.54												
มี.ค.54				2.95	6.765	12890	2.54	6.72	71250	3.37	6.24	48550
เม.ย.54				2.955	6.1425	26175	3.03	6.46	72475	3.02	6.0825	63800
พ.ค.54				2.82	5.8425	31300	3.015	6.2775	73500	3.5	6.065	68250
มิ.ย.54												
ก.ค.54												
ส.ค.54												
ก.ย.54												
ต.ค.54												
พ.ย.54				1.45	6.33	4086.5	1.2	6.895	131375	2.55	6.9525	83510
ธ.ค.54				1.9	6.92	8875	1.9	6.75	129675	2.7	6.9775	74075
ม.ค.55	3.25	7.0025	47825	2.15	6.5725	13317.5	2.1	6.4	131900	3	6.4375	69100
ก.พ.55	3.45	7.0025	70475	2.425	6.255	20125	2.5	6.535	112850	3.15	6.265	90500
มี.ค.55	3.8	6.89	102865	2.625	6.6575	13875	2.675	6.805	97650	3.35	6.1375	91250



ตารางที่ ผ.ก.1 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการเฉลี่ยรายเดือนแล้ว (ต่อ)

เดือน	BPS_S1			BPS_D1			BPS_S2			BPS_D2		
	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC
ธ.ค.-53												
ม.ค.-54												
ก.พ.-54												
มี.ค.-54												
เม.ย.-54												
พ.ค.-54												
มิ.ย.-54												
ก.ค.-54												
ส.ค.-54												
ก.ย.-54												
ต.ค.-54												
พ.ย.-54												
ธ.ค.-54	0	7.565	17180	0.4	7.21	92050	0	8.29	8375	0	7.28	87350
ม.ค.-55	0.5	7.0425	25150	0.45	6.475	59670	0.05	8.185	43827.5	0	7.1425	85825
ก.พ.-55	0.625	7.37	25000	0.65	6.8125	89125	0.225	8.2625	8167.5	0.15	6.68	91750
มี.ค.-55	0.6	7.505	26025	0.6	6.535	86925	0.45	8.51	8217.5	0.2	7.05	93050



ตารางที่ ผ.ก.1 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการเฉลี่ยรายเดือนแล้ว (ต่อ)

เดือน	BNK_D			BPMT_D			BPM_K			BJM_C		
	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC
ธ.ค.-53	6.245	6.375	257.65	3.39	6.13	894.5	2.155	5.3	178.35	4.58	5.185	56.6
ม.ค.-54	6.37	6.595	573	3.29	6.26	6008.5	2.2	5.59	95.35	4.58	5.205	38.2
ก.พ.-54												
มี.ค.-54	6.89			4.205	6.185	1396.5	2.535	5.4125	170.975	4.895	5.065	107.65
เม.ย.-54				4.36	6.205	1884	2.815	5.695	291	5.43	5.07	113.8
พ.ค.-54				4.485	6.22	2905	2.84	5.88	334	5.725	5.175	101.3
มิ.ย.-54												
ก.ค.-54				1.2	6.675	1288.5	0.7	5.795	315	3.7	5.515	89.85
ส.ค.-54				0.85	6.66	1428	0.75	5.735	225.625	2.35	5.49	159
ก.ย.-54				0.8	6.115	876	0.6	5.52	279.5	1.7	5.69	378
ต.ค.-54				1.4	6.495	1455.75	1.25	5.7575	225.025	3.1	5.29	200.35
พ.ย.-54				2.425	6.6275	1432	1.65	5.5625	201.3	3.225	5.29	200.35
ธ.ค.-54				2.95	6.7375	1422.75	1.8	5.845	205.3	3.65	5.66	306.375
ม.ค.-55				3.2	6.5875	1364	2	5.675	240.35	3.85	5.1425	415.5
ก.พ.-55				3.9	6.5875	1364	2.15	5.7425	262.025	4.2	5.33	291
มี.ค.-55				4.625	6.625	1666	2.4	5.7475	270.675	4.55	5.2625	289.425



ตารางที่ ผ.ก.1 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการเฉลี่ยรายเดือนแล้ว (ต่อ)

เดือน	BJM_W			BLT			BSL_J		
	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC
ธ.ค.-53	3.695	5.38	96.8	1.705	5.905	403		5.68	300.5
ม.ค.-54	3.84	5.55	70.5	1.57	6.42	451		5.32	182.4
ก.พ.-54									
มี.ค.-54	4.885	5.2	108.25	2.23	6.78	1214		5.345	972
เม.ย.-54	4.85	5.355	166.1	2.24	6.2325	1395		5.205	763.5
พ.ค.-54	4.975	5.38	98.4	2.21	6.47	1591.25	4.845	5.695	716.5
มิ.ย.-54									
ก.ค.-54	3	5.455	190.55	0.5	6.175	898.5	0.6	6.415	3545
ส.ค.-54	2.25	5.4825	241.275				1.25	6.3525	3065
ก.ย.-54	1.3	5.43	174				0.5	6.35	3175
ต.ค.-54	2.1	5.31	207.175	0.4	6.155	1020.5	1.3	6.3275	2895
พ.ย.-54	2.55	5.4925	217.9	1	6.4525	1672.25	1.95	5.9	1598
ธ.ค.-54	2.95	5.8525	203.85	1.825	6.4125	3168.25	2.325	6.0725	1581.5
ม.ค.-55	3.175	5.59	193.55	1.325	6.18	1202.5	2.65	5.76	1164
ก.พ.-55	3.425	5.585	247.925	2.45	6.1775	1249.5	3.025	5.765	1331.25
มี.ค.-55	4.05	5.5425	267.25	1.75	6.05	1331.25	3.45	5.8175	3810

ตารางที่ ผ.ก.1 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการเฉลี่ยรายเดือนแล้ว (ต่อ)

เดือน	BJM_W			BLT			BSL_J		
	GW	pH	EC	GW	pH	EC	GW	pH	EC
เม.ย.-55	4.15	5.7825	275.95	1.4	6.17	1386.5	3.25	6.1475	1830.25
พ.ค.-55	3.425	5.9675	225.025	0.95	6.655	1214.75	2.04	6.5825	1918.5
มิ.ย.-55	2.5	5.9675	225.025	0.35	5.7175	684.5	0.85	6.7475	2842.5
ก.ค.-55	1.7	5.6925	160.525	0	5.805	102.425	0.425	6.3725	2143
ส.ค.-55	2.1	5.9475	153.325	0.1	6.465	1177.5	0.65	6.5	2782.5
ก.ย.-55	2.05	2.9725	237.5	0.4	3.175	891.25	1.1	3.3475	1722
ต.ค.-55	2.5		236.2	0.75		974	1.825		1526.75
พ.ย.-55									

\*หน่วยของคุณภาพน้ำจากบ่อบาดาล ค่าระดับน้ำ (GW) หน่วยคือ เมตร (m), ค่าการนำไฟฟ้า (EC) หน่วยคือ ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

## 1.2 ข้อมูลประตูระบายน้ำ

ตารางที่ ผ.ก.2 ข้อมูลระดับน้ำของประตูระบายน้ำที่ทำการเฉลี่ยรายเดือนแล้ว

เดือน	Na Kham uGate avg	Na Kham dGate avg	Na Khu uGate avg	Na Khu dGate avg	Tab Tao uGate avg	Tab Tao dGate avg	Na Bua uGate avg	Na Bua dGate avg	Nam Kam uGate avg	Nam Kam dGate avg	Heuy Kan uGate avg	Heuy Kan dGate avg
ธ.ค.-53	146.16	141.91	141.24	136.5	146.9	143.7	141.98	138.68	137.49	131.13	139.28	155.32
ม.ค.-54	146.07	141.87	141.21	136.5	146.74	143.65	141.524	138.7	137.43	131.34	139.28	155.32
ก.พ.-54	145.91	141.76	141.03	136.39	146.26	143.65	140.73	138.7	137.32	131.34	139.24	153.57
มี.ค.-54	145.77	141.48	140.8	136.23	145.37	143.69	140.14	138.7	137.11	131.2	139.2	151.81
เม.ย.-54	145.6	141.3	140.62	136.14	144.97	143.76	140.06	138.7	136.83	131.08	139.16	150.06
พ.ค.-54	145.8	142.38	140.57	137.12	145.17	143.98	140.58	138.77	136.89	131.69	139.12	148.3
มิ.ย.-54	145.2	144.2	140.74	138.46	146.2	145.19	141.57	139.35	136.8	134.74	139.08	146.55
ก.ค.-54	145.32	144.62	140.76	139.27	146.69	145.46	142.12	139.94	137.95	136.63	139.04	144.79
ส.ค.-54	148.28	148.18	142.15	141.98	147.05	146.07	142.32	141.1	139.12	139.07	139.32	139.3
ก.ย.-54	147.69	147.59	141.76	141.58	147.2	145.65	142.26	140.57	138.53	138.08	138.69	138.23
ต.ค.-54	146.33	145.143	140.94	139.35	147.1	144.21	142.3871	139.23	138.48	135.62	138.75	135.79
พ.ย.-54	146.6	143.1	141.56	137.8	147.2	143.98	142.44	138.74	138.3	131.7	138.74	137.77
ธ.ค.-54	146.93	146.55	141.43	140.74	147.03	145.33	142.07	138.7	138.14	130.32	138.73	136.015

ตารางที่ ผ.ก.2 ข้อมูลระดับน้ำของประตูระบายน้ำที่ทำการเฉลี่ยรายเดือนแล้ว (ต่อ)

เดือน	Na Kham uGate avg	Na Kham dGate avg	Na Khu uGate avg	Na Khu dGate avg	Tab Tao uGate avg	Tab Tao dGate avg	Na Bua uGate avg	Na Bua dGate avg	Nam Kam uGate avg	Nam Kam dGate avg	Heuy Kan uGate avg	Heuy Kan dGate avg
ม.ค.-55	147.04	147	141.47	141.5	147.13	145.48	141.76	138.7	138.06	129.94	138.68	134.26
ก.พ.-55	147.14	147.45	141.52	141.55	147.25	145.62	141.28	138.7	138.01	131.76	138.56	132.5
มี.ค.-55	147.25	147.9	141.57	141.96	147.32	145.76	140.37	138.71	137.96	132	138.77	130.75
เม.ย.-55	147.36	148.35	141.61	142.63	147.42	145.9	140.37	138.76	138.14	132	138.37	129
พ.ค.-55	147.47	148.8	141.66	142.77	147.51	146.04	141.57	138.97	137.9	132.94	138.55	127.24
มิ.ย.-55	147.57	149.25	141.7	143.17	147.61	146.18	141.25	140.44	137.94	133	138.57	125.49
ก.ค.-55	147.68	149.7	141.8	143.58	147.7	146.32	141.18	140.31	137.8984	133.22	138.18	123.73
ส.ค.-55	147.79	150.15	141.8	143.98	147.8	146.46	141.49	140.24	137.94	135.93	138.54	121.98
ก.ย.-55	147.9	150.6	141.85	144.39	147.9	146.6	142.37	139.74	137.945	133.68	138.63	120.22
ต.ค.-55	148	151.05	141.9	144.8	148	146.74	141.64	439.8	138.3	133.73	138.42	118.47
พ.ย.-55	148.11	151.49	141.95	145.24	148.09	146.88	141.65	192	138.34	133.78	138.28	116.65

\*หน่วยของระดับน้ำของประตูระบายน้ำคือ มิลลิเมตร (ม.ม.)

### 1.3 ข้อมูลปริมาณฝน

ตารางที่ ผ.ก.3 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ทำการเฉลี่ยรายเดือนแล้ว

เดือน	Wang Yang Rain avg	Nakae Rain avg	Pla Bak Rain avg	Renu Rain avg	That Panom Rain avg	เดือน	Wang Yang Rain avg	Nakae Rain avg	Pla Bak Rain avg	Renu Rain avg	That Panom Rain avg
ธ.ค.53	0	0	0	0	0	ธ.ค.-54	14.62	9.33	11.5	11.95	0
ม.ค.54	0	0	0	0	0	ม.ค.-55	15.83	10.02	12.46	12.83	1.36
ก.พ.54	0.31	0.5	0.13	0.28	0.26	ก.พ.-55	17.05	10.72	13.42	13.7	0
มี.ค.54	0.64	1.34	0.34	0.76	0.92	มี.ค.-55	18.27	11.411	14.38	14.59	0.16
เม.ย.54	1.9	1.8	0.89	0.84	0.07	เม.ย.-55	19.49	12.1	15.34	15.47	5.8
พ.ค.54	4.32	6.43	2.78	7.88	7.12	พ.ค.-55	20.71	12.8	16.3	16.35	3.31
มิ.ย.54	6.85	5.66	6.77	10.69	9.72	มิ.ย.-55	21.93	13.5	17.27	17.23	9.37
ก.ค.54	16.19	17.43	13.05	21.7	14.54	ก.ค.-55	23.15	14.19	18.23	18.11	7.6
ส.ค.54	26.84	8.2	22.2	19.7	13.4	ส.ค.-55	23.37	14.88	19.19	18.99	0.57
ก.ย.54	17.6	12.89	12.8	10.96	8.42	ก.ย.-55	25.58	15.58	20.15	19.87	4.62
ต.ค.54	5.68	3.5	4.05	1.89	0.89	ต.ค.-55	26.8	16.27	21.11	20.75	4.69
พ.ย.54	0	0	0	0	0	พ.ย.-55	27.87	16.96	22.07	21.63	4.79

\*หน่วยปริมาณน้ำฝนคือ มิลลิเมตร (ม.ม.)

## 1.4 ข้อมูลที่สมบูรณ์แล้ว

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประทุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว

เดือน	BDS_S			BDS_D			BPS_Do		
	EC (Y <sub>1</sub> )	GW (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	EC (Y <sub>2</sub> )	GW (X <sub>3</sub> )	pH (X <sub>4</sub> )	EC (Y <sub>3</sub> )	GW (X <sub>5</sub> )	pH (X <sub>6</sub> )
ธ.ค.53	18857.84	0.1343	7.6268	82700.8	1.1884	6.7617	100488.6	2.5	6.03
ม.ค.54	12080	0	7.91	55900	0.76	6.45	100057.3	2.48	6.58
ก.พ.54	19496.25	0.133575	7.41625	80993.75	1.18	6.311875	99625.92	2.6375	6.4475
มี.ค.54	20800	0.16	7.46	78900	1.22	6.525	71250	2.54	6.72
เม.ย.54	22205	0.24	7.37	94175	1.36	6.2575	72475	3.03	6.46
พ.ค.54	22900	0.3	6.925	95000	1.38	6.015	73500	3.015	6.2775
มิ.ย.54	26234.17	0.116667	7.470833	122887.5	0.685	6.394583	101695.8	2.2975	6.58375
ก.ค.54	26234.17	0.116667	7.470833	122887.5	0.685	6.394583	101695.8	2.2975	6.58375
ส.ค.54	26234.17	0.116667	7.470833	122887.5	0.685	6.394583	101695.8	2.2975	6.58375
ก.ย.54	26234.17	0.116667	7.470833	122887.5	0.685	6.394583	101695.8	2.2975	6.58375

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประทุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BDS_S			BDS_D			BPS_Do		
	EC (Y <sub>1</sub> )	GW (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	EC (Y <sub>2</sub> )	GW (X <sub>3</sub> )	pH (X <sub>4</sub> )	EC (Y <sub>3</sub> )	GW (X <sub>5</sub> )	pH (X <sub>6</sub> )
ต.ค.54	26234.17	0.116667	7.470833	122887.5	0.685	6.394583	101695.8	2.2975	6.58375
พ.ย.54	27650	0	7.855	155600	0	6.6	131375	1.2	6.895
ธ.ค.54	32675	0	7.78	148600	0	6.6175	129675	1.9	6.75
ม.ค.55	31175	0	7.435	165050	0.15	6.3525	131900	2.1	6.4
ก.พ.55	30500	0	7.765	176650	0.15	6.695	112850	2.5	6.535
มี.ค.55	29975	0	7.955	179325	0	6.875	97650	2.675	6.805
เม.ย.55	30162.5	0.5	7.85	165000	0	6.515	84300	2.275	6.95
พ.ค.55	29000	0	6.825	180575	0	6.3875	79750	1.64	6.3725
มิ.ย.55	30337.5	0.1	7.338	167975	0	6.0325	112000	0.975	6.325
ก.ค.55	30337.5	0.1	7.338	157870	0	5.6055	70000	0.75	6.28
ส.ค.55	32050	0	6.295	163075	0	5.4525	99275	0.7	5.655
ก.ย.55	34394.01	0	7.260363	144700	0	6.120547	52250	0.745	3.61
ต.ค.55	35133.84	0	7.242914	133025	0	6.099355	75200	1.625	5.913718
พ.ย.55	35873.68	0.036343	7.225466	186104	0	6.078162	90567.15	1.083241	5.87455

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประตูระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	avg watergate											
	Na Kham uGate avg (X <sub>7</sub> )	Na Kham dGate avg (X <sub>8</sub> )	Na Khu uGate avg (X <sub>9</sub> )	Na Khu dGate avg (X <sub>10</sub> )	Tab Tao uGate avg (X <sub>11</sub> )	Tab Tao dGate avg (X <sub>12</sub> )	Na Bua uGate avg (X <sub>13</sub> )	Na Bua dGate avg (X <sub>14</sub> )	Nam Kam uGate avg (X <sub>15</sub> )	Nam Kam dGate avg (X <sub>16</sub> )	Heuy Kan uGate avg (X <sub>17</sub> )	Heuy Kan dGate avg (X <sub>18</sub> )
ธ.ค.53	146.16	141.91	141.24	136.5	146.9	143.7	141.98	138.68	137.49	131.13	139.28	155.32
ม.ค.54	146.07	141.87	141.21	136.5	146.74	143.65	141.524	138.7	137.43	131.34	139.28	155.32
ก.พ.54	145.91	141.76	141.03	136.39	146.26	143.65	140.73	138.7	137.32	131.34	139.24	153.57
มี.ค.54	145.77	141.48	140.8	136.23	145.37	143.69	140.14	138.7	137.11	131.2	139.2	151.81
เม.ย.54	145.6	141.3	140.62	136.14	144.97	143.76	140.06	138.7	136.83	131.08	139.16	150.06
พ.ค.54	145.8	142.38	140.57	137.12	145.17	143.98	140.58	138.77	136.89	131.69	139.12	148.3
มิ.ย.54	145.2	144.2	140.74	138.46	146.2	145.19	141.57	139.35	136.8	134.74	139.08	146.55
ก.ค.54	145.32	144.62	140.76	139.27	146.69	145.46	142.12	139.94	137.95	136.63	139.04	144.79
ส.ค.54	148.28	148.18	142.15	141.98	147.05	146.07	142.32	141.1	139.12	139.07	139.32	139.3
ก.ย.54	147.69	147.59	141.76	141.58	147.2	145.65	142.26	140.57	138.53	138.08	138.69	138.23
ต.ค.54	146.33	145.143	140.94	139.35	147.1	144.21	142.3871	139.23	138.48	135.62	138.75	135.79
พ.ย.54	146.6	143.1	141.56	137.8	147.2	143.98	142.44	138.74	138.3	131.7	138.74	137.77

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประตูระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	avg watergate											
	Na Kham uGate avg (X <sub>7</sub> )	Na Kham dGate avg (X <sub>8</sub> )	Na Khu uGate avg (X <sub>9</sub> )	Na Khu dGate avg (X <sub>10</sub> )	Tab Tao uGate avg (X <sub>11</sub> )	Tab Tao dGate avg (X <sub>12</sub> )	Na Bua uGate avg (X <sub>13</sub> )	Na Bua dGate avg (X <sub>14</sub> )	Nam Kam uGate avg (X <sub>15</sub> )	Nam Kam dGate avg (X <sub>16</sub> )	Heuy Kan uGate avg (X <sub>17</sub> )	Heuy Kan dGate avg (X <sub>18</sub> )
ธ.ค.54	146.93	146.55	141.43	140.74	147.03	145.33	142.07	138.7	138.14	130.32	138.73	136.015
ม.ค.55	147.04	147	141.47	141.5	147.13	145.48	141.76	138.7	138.06	129.94	138.68	134.26
ก.พ.55	147.14	147.45	141.52	141.55	147.25	145.62	141.28	138.7	138.01	131.76	138.56	132.5
มี.ค.55	147.25	147.9	141.57	141.96	147.32	145.76	140.37	138.71	137.96	132	138.77	130.75
เม.ย.55	147.36	148.35	141.61	142.63	147.42	145.9	140.37	138.76	138.14	132	138.37	129
พ.ค.55	147.47	148.8	141.66	142.77	147.51	146.04	141.57	138.97	137.9	132.94	138.55	127.24
มิ.ย.55	147.57	149.25	141.7	143.17	147.61	146.18	141.25	140.44	137.94	133	138.57	125.49
ก.ค.55	147.68	149.7	141.8	143.58	147.7	146.32	141.18	140.31	137.8984	133.22	138.18	123.73
ส.ค.55	147.79	150.15	141.8	143.98	147.8	146.46	141.49	140.24	137.94	135.93	138.54	121.98
ก.ย.55	147.9	150.6	141.85	144.39	147.9	146.6	142.37	139.74	137.945	133.68	138.63	120.22
ต.ค.55	148	151.05	141.9	144.8	148	146.74	141.64	439.8	138.3	133.73	138.42	118.47
พ.ย.55	148.11	151.49	141.95	145.24	148.09	146.88	141.65	192	138.34	133.78	138.28	116.65

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประตูละบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	avg rain					เดือน	avg rain				
	Wang Yang Rain avg (X <sub>19</sub> )	Nakae Rain avg (X <sub>20</sub> )	Pla Bak Rain avg (X <sub>21</sub> )	Renu Rain avg (X <sub>22</sub> )	That Panom Rain avg (X <sub>23</sub> )		Wang Yang Rain avg (X <sub>19</sub> )	Nakae Rain avg (X <sub>20</sub> )	Pla Bak Rain avg (X <sub>21</sub> )	Renu Rain avg (X <sub>22</sub> )	That Panom Rain avg (X <sub>23</sub> )
ธ.ค.53	0	0	0	0	0	ธ.ค.-54	14.62	9.33	11.5	11.95	0
ม.ค.54	0	0	0	0	0	ม.ค.-55	15.83	10.02	12.46	12.83	1.36
ก.พ.54	0.31	0.5	0.13	0.28	0.26	ก.พ.-55	17.05	10.72	13.42	13.7	0
มี.ค.54	0.64	1.34	0.34	0.76	0.92	มี.ค.-55	18.27	11.411	14.38	14.59	0.16
เม.ย.54	1.9	1.8	0.89	0.84	0.07	เม.ย.-55	19.49	12.1	15.34	15.47	5.8
พ.ค.54	4.32	6.43	2.78	7.88	7.12	พ.ค.-55	20.71	12.8	16.3	16.35	3.31
มิ.ย.54	6.85	5.66	6.77	10.69	9.72	มิ.ย.-55	21.93	13.5	17.27	17.23	9.37
ก.ค.54	16.19	17.43	13.05	21.7	14.54	ก.ค.-55	23.15	14.19	18.23	18.11	7.6
ส.ค.54	26.84	8.2	22.2	19.7	13.4	ส.ค.-55	23.37	14.88	19.19	18.99	0.57
ก.ย.54	17.6	12.89	12.8	10.96	8.42	ก.ย.-55	25.58	15.58	20.15	19.87	4.62
ต.ค.54	5.68	3.5	4.05	1.89	0.89	ต.ค.-55	26.8	16.27	21.11	20.75	4.69
พ.ย.54	0	0	0	0	0	พ.ย.-55	27.87	16.96	22.07	21.63	4.79

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประตุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BLK_Y			BDD_P			BDD			BDD_C		
	EC (X <sub>24</sub> )	GW (X <sub>25</sub> )	pH (X <sub>26</sub> )	EC (X <sub>27</sub> )	GW (X <sub>28</sub> )	pH (X <sub>29</sub> )	EC (X <sub>30</sub> )	GW (X <sub>31</sub> )	pH (X <sub>32</sub> )	EC (X <sub>33</sub> )	GW (X <sub>34</sub> )	pH (X <sub>35</sub> )
ธ.ค.53	121	5.135	5.5	43.05	2.695	5.09	280	0.99	6.51	592	4.625	6.68
ม.ค.54	76.4	5.25	4.78	31.6	3.43	4.63	47	1.16	5.43	394	4.9	6.57
ก.พ.54	289.787	5.79625	5.32125	58.675	3.72625	5.116875	244.8875	2.043	5.96125	888.125	5.1375	6.45375
มี.ค.54	379.75	6.355	5.4175	59.25	4.31	5.3225	283.55	2.41	6.225	1348.5	5.525	6.355
เม.ย.54	582	6.445	5.5875	100.8	4.47	5.425	369	2.745	5.68	1218	5.5	6.21
พ.ค.54	646.5	6.62	5.6125	74.5625	1.796667	5.604	219.775	2.91	5.625	1390	5.7	6.01
มิ.ย.54	465.143	3.513	5.59062	74.5625	1.796667	5.604	255.595	1.6775	5.88666	822.866	3.67916	6.343333
ก.ค.54	424	1.6	5.875	117.4	0.5	5.755	265	2	6.27	204.95	1	6.11
ส.ค.54	208.075	1.6	5.2875	47.425	0.25	5.5075	203.25	0	5.82	349.25	2.15	6.535
ก.ย.54	177.6	1.3	5.69	55.3	0.2	6.01	193	0	5.7	426.5	2.2	6.84
ต.ค.54	197.05	2.2	5.69	67.2	1.05	5.335	154.9	0.15	6.1725	553.75	2.9	6.755
พ.ย.54	151.05	3.25	5.485	67.9	1.7	5.885	213.325	0	6.32	675	3.55	6.935

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประตุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BLK_Y			BDD_P			BDD			BDD_C		
	EC (X <sub>24</sub> )	GW (X <sub>25</sub> )	pH (X <sub>26</sub> )	EC (X <sub>27</sub> )	GW (X <sub>28</sub> )	pH (X <sub>29</sub> )	EC (X <sub>30</sub> )	GW (X <sub>31</sub> )	pH (X <sub>32</sub> )	EC (X <sub>33</sub> )	GW (X <sub>34</sub> )	pH (X <sub>35</sub> )
ธ.ค.54	288.2	4.05	5.875	89.275	2	6.03	335.25	0.35	6.4975	789.75	4	7.3125
ม.ค.55	304.05	4.6	5.665	77.15	2.675	5.73	692.75	0.575	6.9525	823.25	4.3	6.9
ก.พ.55	305	5.125	6.0625	76.175	2.775	5.8625	1164.5	0.8	6.95	844.25	4.6	7.15
มี.ค.55	461	5.5	5.8325	90.1	3.1	5.795	1411.25	1.15	7.5275	1070.25	5.05	6.955
เม.ย.55	805	5.425	5.7325	72.525	3.2	5.9125	1489	1	6.6575	488	4.875	6.635
พ.ค.55	781.75	4.755	5.6075	93.375	2.35	6.195	1517	0.525	6.7	625	4.175	6.48
มิ.ย.55	300.25	3.6	5.795	80.175	0.9	6.09	346	0.1	6.4975	457	2.9	6.8775
ก.ค.55	168.2	1.65	5.62	149.55	0	6.685	260.75	0	6.3275	60.675	1.775	6.36
ส.ค.55	425.75	2.735	5.6325	86.6	0.85	5.4725	303.675	0	5.4025	494.25	2.5	5.965
ก.ย.55	236	2.025	5.862863	58.025	1.3	6.268992	186.675	0	6.647341	198.125	2.7	6.731242
ต.ค.55	313.25	3.05	5.886503	116.95	1.625	6.3235	210.625	0	6.684057	304.05	3.525	6.7439
พ.ย.55	406.580	2.709419	5.91014	102.055	1.031825	6.37800	740.589	0	6.72077	361.363	2.841337	6.756558

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประตุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BDY_S			BWY_P			BLS			BDS_S1		
	EC (X <sub>36</sub> )	GW (X <sub>37</sub> )	pH (X <sub>38</sub> )	EC (X <sub>39</sub> )	GW (X <sub>40</sub> )	pH (X <sub>41</sub> )	EC (X <sub>42</sub> )	GW (X <sub>43</sub> )	pH (X <sub>44</sub> )	EC (X <sub>45</sub> )	GW (X <sub>46</sub> )	pH (X <sub>47</sub> )
ธ.ค.53	48.05	2.38	4.98	5320	4.815	5.365	153.5	1.415	5.34	2800.66	0	10.7082
ม.ค.54	43.4	2.9	5.13	3360	5	6.09	136.9917	1.5	5.96	1838.82	0	10.4954
ก.พ.54	90.3375	3.885	4.784375	1964.071	5.4875	5.23875	136.9917	0.548571	5.5925	876	0	10.2826
มี.ค.54	135.425	4.98	4.46	1964.071	5.955	4.835	108.9	0.548571	5.87	84.86	0	10.0698
เม.ย.54	134.475	5.28	4.5675	1964.071	6.18	4.665	148.575	0.548571	5.2	1046.7	0	9.857
พ.ค.54	148.425	5.635	4.5925	1964.071	6.065	4.865	143	0.548571	5.1525	2008.54	0	9.6442
มิ.ย.54	178.915	3.449167	5.300417	1964.071	3.408333	5.3925	120.9917	0.548571	5.602917	2970.38	0	9.4314
ก.ค.54	178.915	2.3	5.72	746.5	0.3	5.92	125.6	0	5.66	3932	0	9.2186
ส.ค.54	178.915	1.5	6.0775	1078.5	1.15	5.91	99.225	0	5.95	4894.06	0	9.0058
ก.ย.54	283.5	1	6.385	1005.5	0.8	6.16	100.65	0.2	5.785	5855.9	0	8.793
ต.ค.54	192.75	1.5	5.615	1083.75	2.2	6.04	114.575	0.3	6.06	6817.74	0	8.5802
พ.ย.54	132.4	2	4.845	1154.25	3.3	6.0475	155.775	0.425	6.0075	7779.58	0	8.3674

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประทุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BDY_S			BWY_P			BLS			BDS_S1		
	EC (X <sub>36</sub> )	GW (X <sub>37</sub> )	pH (X <sub>38</sub> )	EC (X <sub>39</sub> )	GW (X <sub>40</sub> )	pH (X <sub>41</sub> )	EC (X <sub>42</sub> )	GW (X <sub>43</sub> )	pH (X <sub>44</sub> )	EC (X <sub>45</sub> )	GW (X <sub>46</sub> )	pH (X <sub>47</sub> )
ธ.ค.54	71.675	2.541667	5.42	1150	4.15	6.025	107.325	0.7	5.84	8655	0	6.99
ม.ค.55	137.025	3.05	5.3125	1144.75	4.325	5.99	544.575	0.65	5.9375	6862.5	0	8.0575
ก.พ.55	192.825	3.55	5.43	1098.25	4.4	6.05	381.41	1.2	6.66	7735	0	8.0625
มี.ค.55	191.675	4.15	5.21	1109.5	4.55	5.98	381.41	1.65	6.66	8950	0	8.535
เม.ย.55	152.975	4.075	5.3575	1295	3.85	6.0625	362.25	1.5	6.19	15932.5	0	8.205
พ.ค.55	139.95	3.3	5.35	1391.5	3.675	6.04	431.25	1.125	6.26	9127.5	0	7.515
มิ.ย.55	164.875	1.7	6.2425	1350.25	2.675	6.345	421.132	0.625	6.3475	21185	0	7.6575
ก.ค.55	134.1	0.85	5.83	1184.25	2.05	6.065	509	0.1	6.36	12588.75	0	7.409167
ส.ค.55	196.275	1.05	5.66	1053.75	2.3	5.58	421.75	0.125	5.6275	18075	0	7.0775
ก.ย.55	221.225	1.3	5.84994	777.5	1.975	6.262119	244.25	0.225	6.390413	13847.5	0	4.5825
ต.ค.55	288	1.9	5.89573	1150	3.15	6.309038	676	0.525	6.43429	15517.5	0	6.0982
พ.ย.55	218.228	1.643406	5.94153	446.504	2.257477	6.35595	501.224	0.537614	6.47816	18981.0	0	5.9006

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประทุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BDS_D1			BDS_S2			BDS_D2			BPS_S		
	EC (X <sub>48</sub> )	GW (X <sub>49</sub> )	pH (X <sub>50</sub> )	EC (X <sub>51</sub> )	GW (X <sub>52</sub> )	pH (X <sub>53</sub> )	EC (X <sub>54</sub> )	GW (X <sub>55</sub> )	pH (X <sub>56</sub> )	EC (X <sub>57</sub> )	GW (X <sub>58</sub> )	pH (X <sub>59</sub> )
ธ.ค.53	98500.5	0	11.2217	10266.1	5.576	10.6412	79479.2	4.967	10.7044	16230	2.91	6.035
ม.ค.54	106647.2	0	10.8782	10201.6	5.4372	10.3974	78319.4	4.8491	10.4418	3900	2.48	6.165
ก.พ.54	105149	0	10.3534	10214.5	5.2984	10.1536	77159.6	4.7312	10.1792	11006.6	2.82375	6.276875
มี.ค.54	103651.4	0	10.1913	10227.3	5.1596	9.9098	75999.8	4.6133	9.9166	12890	2.95	6.765
เม.ย.54	102153.5	0	9.84786	10240.2	5.0208	9.666	74840	4.4954	9.654	11858.8	2.955	6.1425
พ.ค.54	100655.6	0	9.5	10253.03	4.882	9.4222	73680.2	4.3775	9.3914	11858.8	2.82	5.8425
มิ.ย.54	99157.7	0	9.1	10265.87	4.7432	9.1784	72520.4	4.2596	9.1288	11858.8	2.370833	6.42875
ก.ค.54	97659.8	0	8.8	10278.71	4.6044	8.9346	71360.6	4.1417	8.8662	11858.8	2.370833	6.42875
ส.ค.54	96161.9	0	9.5	10291.55	4.4656	8.6908	70200.8	4.0238	8.6036	11858.8	2.370833	6.42875
ก.ย.54	94664	0	9.161	10304.39	4.3268	8.447	69041	3.9059	8.341	11858.8	2.370833	6.42875
ต.ค.54	93166.1	0	8.8	10317.23	4.188	8.2032	67881.2	3.788	8.0784	11858.8	2.370833	6.42875
พ.ย.54	91668.2	0	8.4	10330.07	4.0492	7.9594	66721.4	3.6701	7.8158	4086.5	1.45	6.33

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประทุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BDS_D1			BDS_S2			BDS_D2			BPS_S		
	EC (X <sub>48</sub> )	GW (X <sub>49</sub> )	pH (X <sub>50</sub> )	EC (X <sub>51</sub> )	GW (X <sub>52</sub> )	pH (X <sub>53</sub> )	EC (X <sub>54</sub> )	GW (X <sub>55</sub> )	pH (X <sub>56</sub> )	EC (X <sub>57</sub> )	GW (X <sub>58</sub> )	pH (X <sub>59</sub> )
ธ.ค.54	91850	0	8.01	10342.91	3.9104	7.7156	65561.6	3.5522	7.5532	8875	1.9	6.92
ม.ค.55	94975	0	7.34	10355.75	3.6	6.76	47825	3.25	7.0025	13317.5	2.15	6.5725
ก.พ.55	90125	0	7.455	17355	3.9	7.15	70475	3.45	7.0025	20125	2.425	6.255
มี.ค.55	84425	0	8.06	9586.25	3.7	7.7	102865	3.8	6.89	13875	2.625	6.6575
เม.ย.55	89675	0	7.975	6102.5	3.7	7.29	44900	3.3	7.0075	12455	2.4	6.9825
พ.ค.55	94625	0	7.05	7147.5	4.05	7.205	51250	3.125	6.9125	16907.5	2.15	6.3275
มิ.ย.55	88325	0	6.9425	7740	2.85	7.32	42400	2.45	6.98	2115.25	1.025	5.685
ก.ค.55	83557.5	0	6.928333	10109	2.75	6.5575	71800	3.35	6.68	2620.5	0.45	5.96
ส.ค.55	84375	0	5.9975	8127.5	2.7	6.605	49425	2.3	6.5	2667	0.385	5.1925
ก.ย.55	55250	0	3.525	16782.5	2.34	4.075	87275	2.35	3.5525	3624.5	0.875	2.47
ต.ค.55	61950	0	4.69	10747.5	3.275	5.2776	35200	2.835	4.9272	3171.25	1.675	5.493596
พ.ย.55	73693.4	0	4.35	11098.1	2.3836	5.0338	52803.8	2.2553	4.6646	6412.704	1.048333	5.438797

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประตุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BPS_Dn			BPS_S1			BPS_D1			BPS_S2		
	EC (X <sub>60</sub> )	GW (X <sub>61</sub> )	pH (X <sub>62</sub> )	EC (X <sub>63</sub> )	GW (X <sub>64</sub> )	pH (X <sub>65</sub> )	EC (X <sub>66</sub> )	GW (X <sub>67</sub> )	pH (X <sub>68</sub> )	EC (X <sub>69</sub> )	GW (X <sub>70</sub> )	pH (X <sub>71</sub> )
ธ.ค.53	21470	2.5	6.395	16831.86	0.5518	10.6777	94385	1.1455	9.5139	19943.2	0.3195	12.2228
ม.ค.54	19735	3.39	6.68	17359.72	0.5352	10.4354	92965	1.0887	9.3233	20197.5	0.3056	11.9166
ก.พ.54	38388.75	3.07	6.349375	17887.58	0.5186	10.1931	91545	1.0319	9.1327	20451.7	0.2917	11.6104
มี.ค.54	48550	3.37	6.24	18415.44	0.502	9.9508	90125	0.9751	8.9421	20706	0.2778	11.3042
เม.ย.54	63800	3.02	6.0825	18943.3	0.4854	9.7085	88705	0.9183	8.7515	20960.2	0.2639	10.998
พ.ค.54	68250	3.5	6.065	19471.16	0.4688	9.4662	87285	0.8615	8.5609	21214.5	0.25	10.6918
มิ.ย.54	67880.83	3.023333	6.459167	19999.02	0.4522	9.2239	85865	0.8047	8.3709	21468.7	0.2361	10.3856
ก.ค.54	67880.83	3.023333	6.459167	20526.88	0.4356	8.9816	84445	0.7479	8.1797	21723	0.2222	10.0794
ส.ค.54	67880.83	3.023333	6.459167	21054.74	0.419	8.7393	83025	0.6911	7.9891	21977.2	0.2083	9.7732
ก.ย.54	67880.83	3.023333	6.459167	21582.6	0.4024	8.497	81605	0.6343	7.7985	22231.5	0.1944	9.467
ต.ค.54	67880.83	3.023333	6.459167	22110.46	0.3858	8.2547	80185	0.5775	7.6079	22485.7	0.1805	9.1608
พ.ย.54	83510	2.55	6.9525	22638.32	0.3692	8.0124	78765	0.5207	7.4173	22740	0.1666	8.8546

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประทุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BPS_Dn			BPS_S1			BPS_D1			BPS_S2		
	EC (X <sub>60</sub> )	GW (X <sub>61</sub> )	pH (X <sub>62</sub> )	EC (X <sub>63</sub> )	GW (X <sub>64</sub> )	pH (X <sub>65</sub> )	EC (X <sub>66</sub> )	GW (X <sub>67</sub> )	pH (X <sub>68</sub> )	EC (X <sub>69</sub> )	GW (X <sub>70</sub> )	pH (X <sub>71</sub> )
ธ.ค.54	74075	2.7	6.9775	17180	0	7.565	92050	0.4	7.21	8375	0	8.29
ม.ค.55	69100	3	6.4375	25150	0.5	7.0425	59670	0.45	6.475	43827.5	0.05	8.185
ก.พ.55	90500	3.15	6.265	25000	0.625	7.37	89125	0.65	6.8125	8167.5	0.225	8.2625
มี.ค.55	91250	3.35	6.1375	26025	0.6	7.505	86925	0.6	6.535	8217.5	0.45	8.51
เม.ย.55	90550	2.95	6.835	16480	0.25	8.0375	60400	0.3	7.07	14447.5	0.25	7.9975
พ.ค.55	98325	2.25	6.3	31025	0.35	7.255	47665	0	7.61	49447.5	0	7.44
มิ.ย.55	99675	2.125	6.0075	29120	0	7.2175	57285	0	7.47	54870	0	6.9175
ก.ค.55	97050	1.8	6.005	38000	0	6.385	96350	0	6.635	7740	0	8.015
ส.ค.55	100525	2.075	5.3675	22650	0.2	6.8275	66750	0	5.845	53592.5	0	6.185
ก.ย.55	52800	2	3.7275	22100	0.225	4.02	66375	0	3.9325	7777.5	0	4.9625
ต.ค.55	65075	2.4	5.704727	25325	0.4	5.3471	65725	0.2	5.3207	7660	0.1	5.4864
พ.ย.55	99405.61	2.211436	5.658813	28972.64	0.17	5.1048	61725	0	5.1301	25791	0	5.1802

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประทุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BPS_D2			BNK_D			BPMT_D			BPM_K		
	EC (X <sub>72</sub> )	GW (X <sub>73</sub> )	pH (X <sub>74</sub> )	EC (X <sub>75</sub> )	GW (X <sub>76</sub> )	pH (X <sub>77</sub> )	EC (X <sub>78</sub> )	GW (X <sub>79</sub> )	pH (X <sub>80</sub> )	EC (X <sub>81</sub> )	GW (X <sub>82</sub> )	pH (X <sub>83</sub> )
ธ.ค.53	94055.64	0.1555	10.6999	257.65	6.245	6.375	894.5	3.39	6.13	178.35	2.155	5.3
ม.ค.54	94034.27	0.1478	10.4288	573	6.37	6.595	1770	3.29	6.26	95.35	2.2	5.59
ก.พ.54	94012.91	0.1401	10.1577	888.35	6.89	6.815	1770	3.81125	6.195	183.9188	2.42625	5.499375
มี.ค.54	93991.54	0.1324	9.8866	1203.7	6.89	7.035	1396.5	4.205	6.185	170.975	2.535	5.4125
เม.ย.54	93970.18	0.1247	9.6155	1519.05	7.41	7.255	1884	4.36	6.205	291	2.815	5.695
พ.ค.54	93948.82	0.117	9.3444	1834.4	7.67	7.475	2905	4.485	6.22	334	2.84	5.88
มิ.ย.54	93927.45	0.1093	9.0733	2149.75	7.93	7.695	1545.25	2.5875	6.45075	248.8075	1.694	5.68775
ก.ค.54	93906.09	0.1016	8.8022	2465.1	8.19	7.915	1288.5	1.2	6.675	315	0.7	5.795
ส.ค.54	93884.72	0.0939	8.5311	2780.45	8.45	8.135	1428	0.85	6.66	225.625	0.75	5.735
ก.ย.54	93863.36	0.0862	8.26	3095.8	8.71	8.355	876	0.8	6.115	279.5	0.6	5.52
ต.ค.54	93842	0.0785	7.9889	3411.15	8.97	8.575	1455.75	1.4	6.495	225.025	1.25	5.7575
พ.ย.54	93820.63	0.0708	7.7178	3726.5	9.23	8.795	1432	2.425	6.6275	201.3	1.65	5.5625

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประตุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BPS_D2			BNK_D			BPMT_D			BPM_K		
	EC (X <sub>72</sub> )	GW (X <sub>73</sub> )	pH (X <sub>74</sub> )	EC (X <sub>75</sub> )	GW (X <sub>76</sub> )	pH (X <sub>77</sub> )	EC (X <sub>78</sub> )	GW (X <sub>79</sub> )	pH (X <sub>80</sub> )	EC (X <sub>81</sub> )	GW (X <sub>82</sub> )	pH (X <sub>83</sub> )
ธ.ค.54	87350	0	7.28	4041.85	9.49	9.015	1422.75	2.95	6.7375	205.3	1.8	5.845
ม.ค.55	85825	0	7.1425	4357.2	9.75	9.235	1364	3.2	6.5875	240.35	2	5.675
ก.พ.55	91750	0.15	6.68	4672.55	10.01	9.455	1364	3.9	6.5875	262.025	2.15	5.7425
มี.ค.55	93050	0.2	7.05	4987.9	10.27	9.675	1666	4.625	6.625	270.675	2.4	5.7475
เม.ย.55	93925	0	7.24	5303.25	10.53	9.895	1542	3.5	6.83	242.05	2.05	5.939
พ.ค.55	97100	0	7.0425	5618.6	10.79	10.115	1522.5	2.13	6.8425	254.1	1.25	6.1175
มิ.ย.55	106825	0	6.8375	5933.95	11.05	10.335	1218	1.35	6.58	249	0.425	5.495
ก.ค.55	113200	0	5.925	6249.6	11.31	10.55	1368	1	6.4625	399.25	0.6	5.84
ส.ค.55	115525	0	6.28	6564.65	11.57	10.775	1393	1.375	6.4075	264.75	1	2.7075
ก.ย.55	78325	0	3.4925	6880	11.83	10.995	1004.75	1.4	3.3875	264.75	1	2.7075
ต.ค.55	67975	0	4.7357	7195.36	12.09	11.215	1174	2.125	6.15671	337.125	1.475	4.80108
พ.ย.55	93564.26	0	4.4646	7510.7	12.35	11.435	1240.299	1.654111	6.14162	309.0244	0.954976	4.74722

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประทุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BJM_C			BJM_W			BLT			BSL_J		
	EC (X <sub>84</sub> )	GW (X <sub>85</sub> )	pH (X <sub>86</sub> )	EC (X <sub>87</sub> )	GW (X <sub>88</sub> )	pH (X <sub>89</sub> )	EC (X <sub>90</sub> )	GW (X <sub>91</sub> )	pH (X <sub>92</sub> )	EC (X <sub>93</sub> )	GW (X <sub>94</sub> )	pH (X <sub>95</sub> )
ธ.ค.53	56.6	4.58	5.185	96.8	3.695	5.38	403	1.705	5.905	300.5	2.5995	5.68
ม.ค.54	38.2	4.58	5.205	70.5	3.84	5.55	451	1.57	6.42	182.4	2.5462	5.32
ก.พ.54	79.0625	4.87125	5.13125	110.4125	4.3175	5.37125	865.75	1.93625	6.334375	554.6	2.4929	5.3875
มี.ค.54	107.65	4.895	5.065	108.25	4.885	5.2	1214	2.23	6.78	972	2.4396	5.345
เม.ย.54	113.8	5.43	5.07	166.1	4.85	5.355	1395	2.24	6.2325	763.5	2.3863	5.205
พ.ค.54	101.3	5.725	5.175	98.4	4.975	5.38	1591.25	2.21	6.47	716.5	4.845	5.695
มิ.ย.54	207.2175	3.7625	5.33875	180.105	3.2035	5.45475	1274.68	1.795	6.414375	1947.55	1.79875	5.94225
ก.ค.54	89.85	3.7	5.515	190.55	3	5.455	898.5	0.5	6.175	3545	0.6	6.415
ส.ค.54	159	2.35	5.49	241.275	2.25	5.4825	1295.17	1.502778	6.363542	3065	1.25	6.3525
ก.ย.54	378	1.7	5.69	174	1.3	5.43	1295.17	1.502778	6.363542	3175	0.5	6.35
ต.ค.54	200.35	3.1	5.29	207.175	2.1	5.31	1020.5	0.4	6.155	2895	1.3	6.3275
พ.ย.54	200.35	3.225	5.29	217.9	2.55	5.4925	1672.25	1	6.4525	1598	1.95	5.9

ตารางที่ ผ.ก.4 ข้อมูลคุณภาพบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลประทุระบายน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนที่สมบูรณ์แล้ว (ต่อ)

เดือน	BJM_C			BJM_W			BLT			BSL_J		
	EC (X <sub>84</sub> )	GW (X <sub>85</sub> )	pH (X <sub>86</sub> )	EC (X <sub>87</sub> )	GW (X <sub>88</sub> )	pH (X <sub>89</sub> )	EC (X <sub>90</sub> )	GW (X <sub>91</sub> )	pH (X <sub>92</sub> )	EC (X <sub>93</sub> )	GW (X <sub>94</sub> )	pH (X <sub>95</sub> )
ธ.ค.54	306.375	3.65	5.66	203.85	2.95	5.8525	1286.188	1.825	6.4125	1581.5	2.325	6.0725
ม.ค.55	415.5	3.85	5.1425	193.55	3.175	5.59	1202.5	1.325	6.18	1164	2.65	5.76
ก.พ.55	291	4.2	5.33	247.925	3.425	5.585	1249.5	2.45	6.1775	1331.25	3.025	5.765
มี.ค.55	289.425	4.55	5.2625	267.25	4.05	5.5425	1331.25	1.75	6.05	3810	3.45	5.8175
เม.ย.55	174.25	4.575	5.4925	275.95	4.15	5.7825	1386.5	1.4	6.17	1830.25	3.25	6.1475
พ.ค.55	377.45	4.275	5.495	225.025	3.425	5.9675	1214.75	0.95	6.655	1918.5	2.04	6.5825
มิ.ย.55	213.4	3.225	5.385	225.025	2.5	5.9675	684.5	0.35	5.7175	2842.5	0.85	6.7475
ก.ค.55	298.5	2.575	5.565	160.525	1.7	5.6925	988.4	0	5.805	2143	0.425	6.3725
ส.ค.55	351.725	2.85	5.655	153.325	2.1	5.9475	1177.5	0.1	6.465	2782.5	0.65	6.5
ก.ย.55	284.75	2.265	5.5645	237.5	2.05	2.9725	891.25	0.4	6.143269	1722	1.1	3.3475
ต.ค.55	322	3.275	5.58364	236.2	2.5	5.37904	974	0.75	6.13162	1526.75	1.825	6.02230
พ.ย.55	373.1386	2.836798	5.602786	257.821	2.163542	5.37342	1199.38	0.464563	6.11998	2672.16	1.373099	6.03597

## 2. ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์ร่วม

ตารางที่ ผ.ก. 5 ตารางค่าสหสัมพันธ์ร่วมของตัวแปรหลัก

ตัวแปรหลัก	ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วม	ตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์	ค่าสหสัมพันธ์	ตัวแปรหลัก	ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วม	ตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์	ค่าสหสัมพันธ์
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	0	-0.867	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDS_S2 GW (X <sub>52</sub> )	0	-0.888
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDS_D GW (X <sub>3</sub> )	0	-0.808	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDS_S2 pH (X <sub>53</sub> )	0	-0.912
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_Do GW (X <sub>5</sub> )	0	-0.636	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDS_D2 EC (X <sub>54</sub> )	0	-0.455
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Na Kham uGate avg (X <sub>7</sub> )	0	0.688	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDS_D2 GW (X <sub>55</sub> )	0	-0.866
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Na Kham dGate avg (X <sub>8</sub> )	0	0.864	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDS_D2 pH (X <sub>56</sub> )	0	-0.912
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Tab Tao dGate avg (X <sub>12</sub> )	0	0.854	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_S GW (X <sub>58</sub> )	0	-0.656
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Heuy Kan uGate avg (X <sub>17</sub> )	0	-0.821	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_Dn EC (X <sub>60</sub> )	0	0.742
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Heuy Kan dGate avg (X <sub>18</sub> )	0	-0.913	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_Dn GW (X <sub>61</sub> )	0	-0.581
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Wang Yang Rain avg (X <sub>19</sub> )	0	0.812	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_S1 EC (X <sub>63</sub> )	0	0.537
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Nakae Rain avg (X <sub>20</sub> )	0	0.797	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_S1 GW (X <sub>64</sub> )	0	-0.547
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Pla Bak Rain avg (X <sub>21</sub> )	0	0.808	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_S1 pH (X <sub>65</sub> )	0	-0.906
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Renu Rain avg (X <sub>22</sub> )	0	0.778	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_D1 EC (X <sub>66</sub> )	0	-0.587
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BLK_Y GW (X <sub>25</sub> )	0	-0.456	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_D1 GW (X <sub>67</sub> )	0	-0.85
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BLK_Y pH (X <sub>26</sub> )	0	0.809	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_D1 pH (X <sub>68</sub> )	0	-0.89
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDD_P EC (X <sub>27</sub> )	0	0.553	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_S2 GW (X <sub>70</sub> )	0	-0.665
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDD_P GW (X <sub>28</sub> )	0	-0.471	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_S2 pH (X <sub>71</sub> )	0	-0.919
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDD_P pH (X <sub>29</sub> )	0	0.844	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_D2 GW (X <sub>73</sub> )	0	-0.707
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDD_C GW (X <sub>34</sub> )	0	-0.436	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPS_D2 pH (X <sub>74</sub> )	0	-0.913
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDY_S EC (X <sub>36</sub> )	0	0.615	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BNK_D EC (X <sub>75</sub> )	0	0.913
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BWY_P GW (X <sub>40</sub> )	0	-0.47	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BNK_D GW (X <sub>76</sub> )	0	0.92

ตารางที่ ผ.ก. 5 ตารางค่าสหสัมพันธ์ร่วมของตัวแปรหลัก (ต่อ)

ตัวแปรหลัก	ตัวที่แปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วม	ตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์	ค่าสหสัมพันธ์	ตัวแปรหลัก	ตัวที่แปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วม	ตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์	ค่าสหสัมพันธ์
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDS_S1 EC (X <sub>45</sub> )	0	0.784	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BNK_D pH (X <sub>77</sub> )	0	0.913
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDS_S1 pH (X <sub>47</sub> )	0	-0.907	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPM_K EC (X <sub>81</sub> )	0	0.59
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDS_D1 EC (X <sub>48</sub> )	0	-0.79	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPM_K GW (X <sub>82</sub> )	0	-0.484
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDS_D1 pH (X <sub>50</sub> )	0	-0.891	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BJM_C EC (X <sub>84</sub> )	0	0.806
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BJM_C GW (X <sub>85</sub> )	0	-0.535	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDD GW (X <sub>31</sub> )	2	-0.676
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BJM_C pH (X <sub>86</sub> )	0	0.667	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDD_C EC (X <sub>33</sub> )	2	-0.537
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BJM_W EC (X <sub>87</sub> )	0	0.794	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDY_S GW (X <sub>37</sub> )	2	-0.489
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BJM_W GW (X <sub>88</sub> )	0	-0.544	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDY_S pH (X <sub>38</sub> )	2	0.567
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BLT GW (X <sub>91</sub> )	0	0.502	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BWY_P pH (X <sub>41</sub> )	2	0.73
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BSL_J EC (X <sub>93</sub> )	0	0.515	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BLT pH (X <sub>92</sub> )	2	-0.455
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Nam Kam uGate avg (X <sub>15</sub> )	1	0.547	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BLS pH (X <sub>44</sub> )	3	0.628
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BDD pH (X <sub>32</sub> )	1	0.587	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BPMT_D EC (X <sub>78</sub> )	4	-0.476
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BLS EC (X <sub>42</sub> )	1	0.693	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	BWY_P EC (X <sub>39</sub> )	-1	-0.763
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Na Khu uGate avg (X <sub>9</sub> )	2	0.688				
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Na Khu dGate avg (X <sub>10</sub> )	2	0.688				
BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	Tab Tao uGate avg (X <sub>11</sub> )	2	0.795				

ตารางที่ ผ.ก. 5 ตารางค่าสหสัมพันธ์ร่วมของตัวแปรหลัก (ต่อ)

ตัวแปรหลัก	ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วม	ตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์	ค่าสหสัมพันธ์	ตัวแปรหลัก	ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วม	ตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์	ค่าสหสัมพันธ์
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_S EC (Y <sub>1</sub> )	0	0.867	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BLK_Y pH (X <sub>26</sub> )	0	0.688
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_D GW (X <sub>3</sub> )	0	-0.874	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDD_P pH (X <sub>29</sub> )	0	0.751
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Na Kham dGate avg (X <sub>8</sub> )	0	0.79	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDD EC (X <sub>30</sub> )	0	0.625
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Na Khu dGate avg (X <sub>10</sub> )	0	0.8	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDD pH (X <sub>32</sub> )	0	0.635
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Tab Tao dGate avg (X <sub>12</sub> )	0	0.771	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BLS pH (X <sub>44</sub> )	0	0.678
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Nam Kam uGate avg (X <sub>15</sub> )	0	0.517	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_S1 pH (X <sub>47</sub> )	0	-0.722
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Heuy Kan uGate avg (X <sub>17</sub> )	0	-0.824	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_D1 pH (X <sub>50</sub> )	0	-0.727
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Heuy Kan dGate avg (X <sub>18</sub> )	0	-0.843	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_S2 GW (X <sub>52</sub> )	0	-0.807
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Wang Yang Rain avg (X <sub>19</sub> )	0	0.722	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_S2 pH (X <sub>53</sub> )	0	-0.771
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Nakae Rain avg (X <sub>20</sub> )	0	0.695	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_D2 GW (X <sub>55</sub> )	0	-0.813
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Pla Bak Rain avg (X <sub>21</sub> )	0	0.72	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_D2 pH (X <sub>56</sub> )	0	-0.781
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Renu Rain avg (X <sub>22</sub> )	0	0.683	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_Dn EC (X <sub>60</sub> )	0	0.884
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_S1 EC (X <sub>63</sub> )	0	0.647	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPM_K EC (X <sub>81</sub> )	0	0.499
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_S1 pH (X <sub>65</sub> )	0	-0.758	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPM_K GW (X <sub>82</sub> )	0	-0.436
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_D1 EC (X <sub>66</sub> )	0	-0.613	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BJM_C EC (X <sub>84</sub> )	0	0.791
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_D1 GW (X <sub>67</sub> )	0	0.81	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BJM_W EC (X <sub>87</sub> )	0	0.818
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_D1 pH (X <sub>68</sub> )	0	0.724	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BSL_J EC (X <sub>93</sub> )	0	0.562
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_S2 GW (X <sub>70</sub> )	0	-0.542	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_S1 GW (X <sub>64</sub> )	1	-0.465
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_S2 pH (X <sub>71</sub> )	0	-0.798	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BJM_C pH (X <sub>86</sub> )	1	0.537
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_D2 GW (X <sub>73</sub> )	0	-0.566	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BLT pH (X <sub>92</sub> )	1	-0.463
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_D2 pH (X <sub>74</sub> )	0	-0.733	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Na Kham uGate avg (X <sub>7</sub> )	2	0.729
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BNK_D EC (X <sub>75</sub> )	0	0.848	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Na Khu uGate avg (X <sub>9</sub> )	2	0.741
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BNK_D GW (X <sub>76</sub> )	0	0.855	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	Tab Tao uGate avg (X <sub>11</sub> )	2	0.828

ตารางที่ ผ.ก. 5 ตารางค่าสหสัมพันธ์ร่วมของตัวแปรหลัก (ต่อ)

ตัวแปรหลัก	ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วม	ตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์	ค่าสหสัมพันธ์	ตัวแปรหลัก	ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วม	ตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์	ค่าสหสัมพันธ์
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BNK_D pH (X <sub>77</sub> )	0	0.848	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDD GW (X <sub>31</sub> )	2	-0.706
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDD_C EC (X <sub>33</sub> )	2	-0.561	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_Do pH (X <sub>6</sub> )	6	-0.526
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDY_S GW (X <sub>37</sub> )	2	-0.485	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_S pH (X <sub>59</sub> )	6	-0.515
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDY_S pH (X <sub>38</sub> )	2	-0.534	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_Dn pH (X <sub>62</sub> )	6	-0.563
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BWY_P pH (X <sub>41</sub> )	2	0.712	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPM_K pH (X <sub>83</sub> )	6	-0.492
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BLS EC (X <sub>42</sub> )	2	0.716	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDD_P EC (X <sub>27</sub> )	-1	0.485
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BJM_W GW (X <sub>88</sub> )	2	-0.467	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDY_S EC (X <sub>36</sub> )	-1	0.439
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_S1 EC (X <sub>45</sub> )	3	0.76	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BWY_P EC (X <sub>39</sub> )	-1	-0.662
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_D1 EC (X <sub>48</sub> )	3	-0.566	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDS_D2 EC (X <sub>54</sub> )	-1	-0.481
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_S GW (X <sub>58</sub> )	3	-0.62	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BDD_C pH (X <sub>35</sub> )	-2	0.464
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BLT GW (X <sub>91</sub> )	3	-0.554	BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BLT EC (X <sub>90</sub> )	-3	0.461
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_Do GW (X <sub>5</sub> )	4	-0.66				
BDS_D EC (Y <sub>2</sub> )	BPS_Dn GW (X <sub>61</sub> )	4	-0.655				

ตารางที่ ผ.ก. 5 ตารางค่าสหสัมพันธ์ร่วมของตัวแปรหลัก (ต่อ)

ตัวแปรหลัก	ตัวที่แปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วม	ตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์	ค่าสหสัมพันธ์	ตัวแปรหลัก	ตัวที่แปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วม	ตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์	ค่าสหสัมพันธ์
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BPS_Do pH (X <sub>6</sub> )	0	0.509	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BDD_C GW (X <sub>34</sub> )	4	0.471
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BPS_S pH (X <sub>59</sub> )	0	0.502	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BPM_K pH (X <sub>83</sub> )	9	-0.552
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BPS_Dn pH (X <sub>62</sub> )	0	0.621	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	Na Bua uGate avg (X <sub>13</sub> )	-1	0.57
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BPMT_D pH (X <sub>80</sub> )	0	0.543	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BLT EC (X <sub>90</sub> )	-3	0.526
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BJM_W pH (X <sub>89</sub> )	0	0.5	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	Nam Kam dGate avg (X <sub>16</sub> )	-4	0.611
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BSL_J pH (X <sub>95</sub> )	0	0.424	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BLS GW (X <sub>43</sub> )	-4	-0.6
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BDS_S pH (X <sub>2</sub> )	1	0.576	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BDD pH (X <sub>32</sub> )	-6	-0.527
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BDS_D pH (X <sub>4</sub> )	1	0.484	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BDD_C pH (X <sub>35</sub> )	-7	-0.635
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	Na Bua dGate avg (X <sub>14</sub> )	1	-0.49	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BLS pH (X <sub>44</sub> )	-7	-0.605
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	That Panom Rain avg (X <sub>23</sub> )	2	-0.488	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BDS_D GW (X <sub>3</sub> )	-8	0.568
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BDD EC (X <sub>30</sub> )	3	0.608	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	Na Khu uGate avg (X <sub>9</sub> )	-8	-0.586
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BLK_Y GW (X <sub>25</sub> )	4	0.468	BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	Tab Tao uGate avg (X <sub>11</sub> )	-8	-0.586
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	Nam Kam uGate avg (X <sub>15</sub> )	-8	-0.597				
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BDD GW (X <sub>31</sub> )	-8	0.588				
BPS_Do EC (Y <sub>3</sub> )	BWY_P pH (X <sub>41</sub> )	-8	-0.612				

### 3. ข้อมูลการจัดกลุ่ม

ตารางที่ ผ.ก.6 ตารางการแสดงการจัดกลุ่มของตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์กับตัวแปร  $Y_1$

ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับ BDS_S EC ( $Y_1$ )	24 กลุ่ม	12 กลุ่ม	10 กลุ่ม	8 กลุ่ม	6 กลุ่ม	4 กลุ่ม
1:BDS_D EC ( $Y_2$ )	1	1	1	1	1	1
2:BDD_P EC ( $X_{27}$ )	2	1	1	1	1	1
3:BDY_S EC ( $X_{36}$ )	2	1	1	1	1	1
4:BDS_S1 EC ( $X_{45}$ )	1	1	1	1	1	1
5:BPS_Dn EC ( $X_{60}$ )	1	1	1	1	1	1
6:BPS_S1 EC ( $X_{63}$ )	2	1	1	1	1	1
7:BNK_D EC ( $X_{75}$ )	1	1	1	1	1	1
8:BPM_K EC ( $X_{81}$ )	2	1	1	1	1	1
9:BJM_C EC ( $X_{84}$ )	1	1	1	1	1	1
10:BJM_W EC ( $X_{87}$ )	1	1	1	1	1	1
11:BSL_J EC ( $X_{93}$ )	2	1	1	1	1	1
12:BLS EC ( $X_{42}$ )	3	1	1	1	1	1
13:BNK_D GW ( $X_{76}$ )	4	2	1	1	1	1
14:BLT GW ( $X_{91}$ )	5	2	1	1	1	1
15:BDS_D GW ( $X_3$ )	6	3	2	2	2	2
16:BPS_Do GW ( $X_5$ )	6	3	2	2	2	2
17:BLK_Y GW ( $X_{25}$ )	7	3	2	2	2	2
18:BDD_P GW ( $X_{28}$ )	7	3	2	2	2	2
19:BDD_C GW ( $X_{34}$ )	7	3	2	2	2	2
20:BWY_P GW ( $X_{40}$ )	7	3	2	2	2	2
21:BDS_S2 GW ( $X_{52}$ )	6	3	2	2	2	2
22:BDS_D2 GW ( $X_{55}$ )	6	3	2	2	2	2
23:BPS_S GW ( $X_{58}$ )	6	3	2	2	2	2
24:BPS_Dn GW ( $X_{61}$ )	7	3	2	2	2	2
25:BPS_S1 GW ( $X_{64}$ )	7	3	2	2	2	2
26:BPS_D1 GW ( $X_{67}$ )	6	3	2	2	2	2
27:BPS_S2 GW ( $X_{70}$ )	6	3	2	2	2	2
28:BPS_D2 GW ( $X_{73}$ )	6	3	2	2	2	2
30:BJM_C GW ( $X_{85}$ )	7	3	2	2	2	2
31:BJM_W GW ( $X_{88}$ )	7	3	2	2	2	2
32:BDS_D1 EC ( $X_{48}$ )	8	4	2	2	2	2
33:BDS_D2 EC ( $X_{54}$ )	9	4	2	2	2	2
34:BPS_D1 EC ( $X_{66}$ )	9	4	2	2	2	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.6 ตารางการแสดงการจัดกลุ่มของตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์กับตัวแปร  $Y_1$  (ต่อ)

ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับ BDS_S EC ( $Y_1$ )	24 กลุ่ม	12 กลุ่ม	10 กลุ่ม	8 กลุ่ม	6 กลุ่ม	4 กลุ่ม
35:BWY_P EC ( $X_{39}$ )	10	4	2	2	2	2
36:Heuy Kan uGate avg ( $X_{17}$ )	11	5	3	3	3	2
37:Heuy Kan dGate avg ( $X_{18}$ )	11	5	3	3	3	2
38:BDS_S1 pH ( $X_{47}$ )	12	5	3	3	3	2
39:BDS_D1 pH ( $X_{50}$ )	12	5	3	3	3	2
40:BDS_S2 pH ( $X_{53}$ )	12	5	3	3	3	2
41:BDS_D2 pH ( $X_{56}$ )	12	5	3	3	3	2
42:BPS_S1 pH ( $X_{65}$ )	12	5	3	3	3	2
43:BPS_D1 pH ( $X_{68}$ )	12	5	3	3	3	2
44:BPS_S2 pH ( $X_{71}$ )	12	5	3	3	3	2
45:BPS_D2 pH ( $X_{74}$ )	12	5	3	3	3	2
46:BDD GW ( $X_{31}$ )	13	6	4	4	4	2
47:BDD_C EC ( $X_{33}$ )	14	6	4	4	4	2
48:BDY_S GW ( $X_{37}$ )	13	6	4	4	4	2
49:BLT pH ( $X_{92}$ )	15	7	5	5	4	2
50:Na Kham uGate avg ( $X_7$ )	16	8	6	6	5	3
51:Na Kham dGate avg ( $X_8$ )	16	8	6	6	5	3
52:Tab Tao dGate avg ( $X_{12}$ )	16	8	6	6	5	3
53:Wang Yang Rain avg ( $X_{19}$ )	17	8	6	6	5	3
54:Nakae Rain avg ( $X_{20}$ )	17	8	6	6	5	3
55:Pla Bak Rain avg ( $X_{21}$ )	17	8	6	6	5	3
56:Renu Rain avg ( $X_{22}$ )	17	8	6	6	5	3
57:BLK_Y pH ( $X_{26}$ )	18	9	7	7	5	3
59:BNK_D pH ( $X_{77}$ )	18	9	7	7	5	3
60:BJM_C pH ( $X_{86}$ )	18	9	7	7	5	3
61:BDD pH ( $X_{32}$ )	19	9	7	7	5	3
62:Nam Kam uGate avg ( $X_{15}$ )	20	10	8	7	5	3
64:Na Khu dGate avg ( $X_{10}$ )	21	10	8	7	5	3
65:Tab Tao uGate avg ( $X_{11}$ )	21	10	8	7	5	3
66:BDY_S pH ( $X_{38}$ )	22	11	9	7	5	3
67:BWY_P pH ( $X_{41}$ )	22	11	9	7	5	3
68:BLS pH ( $X_{44}$ )	23	11	9	7	5	3
69:BPMT_D EC ( $X_{78}$ )	24	12	10	8	6	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.7 ตารางการแสดงการจัดกลุ่มของตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์กับตัวแปร  $Y_2$

ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับ BDS_D EC ( $Y_2$ )	24 กลุ่ม	12 กลุ่ม	10 กลุ่ม	8 กลุ่ม	6 กลุ่ม	4 กลุ่ม
1:BDS_S EC ( $Y_1$ )	1	1	1	1	1	1
2:BDD EC ( $X_{30}$ )	2	1	1	1	1	1
3:BPS_Dn EC ( $X_{60}$ )	1	1	1	1	1	1
4:BPS_S1 EC ( $X_{63}$ )	2	1	1	1	1	1
5:BPS_D1 GW ( $X_{67}$ )	3	1	1	1	1	1
6:BNK_D EC ( $X_{75}$ )	1	1	1	1	1	1
7:BNK_D GW ( $X_{76}$ )	3	1	1	1	1	1
8:BPM_K EC ( $X_{81}$ )	2	1	1	1	1	1
9:BJM_C EC ( $X_{84}$ )	1	1	1	1	1	1
10:BJM_W EC ( $X_{87}$ )	1	1	1	1	1	1
11:BSL_J EC ( $X_{93}$ )	2	1	1	1	1	1
12:BDD_P EC ( $X_{27}$ )	2	1	1	1	1	1
13:BDY_S EC ( $X_{36}$ )	2	1	1	1	1	1
14:BLS EC ( $X_{42}$ )	4	2	1	1	1	1
15:BDS_S1 EC ( $X_{45}$ )	4	2	1	1	1	1
16:BLT EC ( $X_{90}$ )	5	3	2	2	2	1
17:BDS_D GW ( $X_3$ )	6	4	3	3	3	2
18:BDS_S1 pH ( $X_{47}$ )	7	4	3	3	3	2
19:BDS_D1 pH ( $X_{50}$ )	7	4	3	3	3	2
20:BDS_S2 GW ( $X_{52}$ )	6	4	3	3	3	2
21:BDS_S2 pH ( $X_{53}$ )	7	4	3	3	3	2
22:BDS_D2 GW ( $X_{55}$ )	6	4	3	3	3	2
23:BDS_D2 pH ( $X_{56}$ )	7	4	3	3	3	2
24:BPS_S1 pH ( $X_{65}$ )	7	4	3	3	3	2
25:BPS_S2 GW ( $X_{70}$ )	8	4	3	3	3	2
26:BPS_S2 pH ( $X_{71}$ )	7	4	3	3	3	2
27:BPS_D2 GW ( $X_{73}$ )	8	4	3	3	3	2
28:BPS_D2 pH ( $X_{74}$ )	7	4	3	3	3	2
30:BLT pH ( $X_{92}$ )	9	4	3	3	3	2
31:BPS_D1 EC ( $X_{66}$ )	10	5	4	3	3	2
32:BWY_P EC ( $X_{39}$ )	10	5	4	3	3	2
33:BDS_D2 EC ( $X_{54}$ )	10	5	4	3	3	2
34:BPS_S1 GW ( $X_{64}$ )	11	6	5	4	3	2
35:BDD GW ( $X_{31}$ )	12	6	5	4	3	2
36:BDD_C EC ( $X_{33}$ )	13	6	5	4	3	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.7 ตารางการแสดงการจัดกลุ่มของตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์กับตัวแปร  $Y_2$  (ต่อ)

ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับ BDS_D EC ( $Y_2$ )	24 กลุ่ม	12 กลุ่ม	10 กลุ่ม	8 กลุ่ม	6 กลุ่ม	4 กลุ่ม
37:BDY_S GW ( $X_{37}$ )	11	6	5	4	3	2
38:BJM_W GW ( $X_{88}$ )	11	6	5	4	3	2
39:BDS_D1 EC ( $X_{48}$ )	13	6	5	4	3	2
40:BPS_S GW ( $X_{58}$ )	14	6	5	4	3	2
41:BLT GW ( $X_{91}$ )	14	6	5	4	3	2
42:BPS_Do GW ( $X_5$ )	14	6	5	4	3	2
43:BPS_Dn GW ( $X_{61}$ )	14	6	5	4	3	2
44:BPS_S EC ( $X_{57}$ )	15	7	5	4	3	2
45:BPS_Do pH ( $X_6$ )	16	8	6	5	4	2
46:BPS_S pH ( $X_{59}$ )	16	8	6	5	4	2
47:BPS_Dn pH ( $X_{62}$ )	16	8	6	5	4	2
48:BPM_K pH ( $X_{83}$ )	16	8	6	5	4	2
49:Na Kham dGate avg ( $X_8$ )	17	9	7	6	5	3
50:Na Khu dGate avg ( $X_{10}$ )	17	9	7	6	5	3
51:Tab Tao dGate avg ( $X_{12}$ )	17	9	7	6	5	3
52:Nam Kam uGate avg ( $X_{15}$ )	18	9	7	6	5	3
53:Wang Yang Rain avg ( $X_{19}$ )	17	9	7	6	5	3
54:BLK_Y pH ( $X_{26}$ )	19	9	7	6	5	3
55:BDD_P pH ( $X_{29}$ )	19	9	7	6	5	3
56:BDD pH ( $X_{32}$ )	19	9	7	6	5	3
57:BLS pH ( $X_{44}$ )	19	9	7	6	5	3
58:BPS_D1 pH ( $X_{68}$ )	19	9	7	6	5	3
59:BNK_D pH ( $X_{77}$ )	19	9	7	6	5	3
60:BJM_C pH ( $X_{86}$ )	20	9	7	6	5	3
61:Na Kham uGate avg ( $X_7$ )	21	9	7	6	5	3
62:Na Khu uGate avg ( $X_9$ )	21	9	7	6	5	3
63:Tab Tao uGate avg ( $X_{11}$ )	21	9	7	6	5	3
64:BDY_S pH ( $X_{38}$ )	20	9	7	6	5	3
65:BWY_P pH ( $X_{41}$ )	20	9	7	6	5	3
66:BDD_C pH ( $X_{35}$ )	22	10	8	6	5	3
67:Nakae Rain avg ( $X_{20}$ )	23	11	9	7	5	3
68:Pla Bak Rain avg ( $X_{21}$ )	23	11	9	7	5	3
69:Renu Rain avg ( $X_{22}$ )	23	11	9	7	5	3
70:Heuy Kan uGate avg ( $X_{17}$ )	24	12	10	8	6	4
71:Heuy Kan dGate avg ( $X_{18}$ )	24	12	10	8	6	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.8 ตารางการแสดงการจัดกลุ่มของตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์กับตัวแปร  $Y_3$

ตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับ BPS_Do EC ( $Y_3$ )	24 กลุ่ม	12 กลุ่ม	10 กลุ่ม	8 กลุ่ม	6 กลุ่ม	4 กลุ่ม
1:BPS_Do pH ( $X_6$ )	1	1	1	1	1	1
2:BPS_S pH ( $X_{59}$ )	2	1	1	1	1	1
3:BPS_Dn pH ( $X_{62}$ )	3	1	1	1	1	1
4:BPMT_D pH ( $X_{80}$ )	4	1	1	1	1	1
5:BJM_W pH ( $X_{89}$ )	2	1	1	1	1	1
6:BSL_J pH ( $X_{95}$ )	5	1	1	1	1	1
7:BDS_S pH ( $X_2$ )	6	1	1	1	1	1
8:BDS_D pH ( $X_4$ )	7	1	1	1	1	1
9:Na Bua uGate avg ( $X_{13}$ )	8	2	2	1	1	1
10:Nam Kam dGate avg ( $X_{16}$ )	9	2	2	1	1	1
11:BDD EC ( $X_{30}$ )	10	3	3	2	2	1
12:BLK_Y GW ( $X_{25}$ )	11	4	4	2	2	1
13:BDD_C GW ( $X_{34}$ )	11	4	4	2	2	1
14:BLT EC ( $X_{90}$ )	12	5	5	3	3	1
15:BDS_D GW ( $X_3$ )	13	6	6	4	3	1
16:BDD GW ( $X_{31}$ )	14	6	6	4	3	1
17:Na Bua dGate avg ( $X_{14}$ )	15	7	7	5	4	2
18:That Panom Rain avg ( $X_{23}$ )	16	8	7	5	4	2
19:BPM_K pH ( $X_{83}$ )	17	9	8	6	5	3
20:BLS GW ( $X_{43}$ )	18	10	9	7	6	4
21:BDD pH ( $X_{52}$ )	19	11	10	8	6	4
22:BDD_C pH ( $X_{35}$ )	20	11	10	8	6	4
23:BLS pH ( $X_{44}$ )	21	11	10	8	6	4
24:BWY_P pH ( $X_{41}$ )	22	11	10	8	6	4
25:Na Khu uGate avg ( $X_9$ )	23	12	10	8	6	4
26:Tab Tao uGate avg ( $X_{11}$ )	23	12	10	8	6	4
27:Nam Kam uGate avg ( $X_{15}$ )	24	12	10	8	6	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ข้อมูลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบประยุกต์

ตารางที่ ผ.ก.9 ตารางผลแบบจำลองการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุของ  $Y_1$

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1161.12	2420.662		0.48	0.636
	X <sub>76</sub>	2807.683	254.468	0.92	11.034	0
2	(Constant)	26489.345	9419.798		2.812	0.01
	X <sub>76</sub>	20522.496	6422.761	6.727	3.195	0.004
	X <sub>77</sub>	-21411.258	7758.275	-5.81	-2.76	0.012

a. Dependent Variable: Y<sub>1</sub>

ตารางที่ ผ.ก.10 ตารางผลแบบจำลองการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุของ  $Y_2$

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	32498.022	12031.902		2.701	0.013
	X <sub>60</sub>	1.429	0.161	0.884	8.889	0
2	(Constant)	88786.137	12184.513		7.287	0
	X <sub>60</sub>	0.871	0.138	0.539	6.291	0
	X <sub>3</sub>	-36632.942	6218.23	-0.505	-5.891	0

a. Dependent Variable: Y<sub>2</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.11 ตารางผลแบบจำลองการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุของ Y<sub>3</sub>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-24943.513	32585.884		-0.765	0.452
	X <sub>62</sub>	19472.249	5239.325	0.621	3.717	0.001
2	(Constant)	-172550.54	60043.606		-2.874	0.009
	X <sub>62</sub>	17118.281	4656.312	0.546	3.676	0.001
	X <sub>35</sub>	24530.453	8784.47	0.415	2.792	0.011
3	(Constant)	-199546.3	51796.605		-3.852	0.001
	X <sub>62</sub>	33901.825	6829.683	1.081	4.964	0
	X <sub>35</sub>	25275.749	7467.916	0.427	3.385	0.003
	X <sub>83</sub>	-15236.375	5053.884	-0.655	-3.015	0.007

a. Dependent Variable: Y<sub>3</sub>

## 5. ข้อมูลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุ

ตารางที่ ผ.ก.12 ตารางผลแบบจำลองการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุของ Y<sub>1</sub>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1161.12	2420.662		0.48	0.636
	X <sub>76</sub>	2807.683	254.468	0.92	11.034	0
2	(Constant)	-37211.515	8159.039		-4.561	0
	X <sub>76</sub>	2081.103	234.731	0.682	8.866	0
	X <sub>26</sub>	8008.443	1665.031	0.37	4.81	0
3	(Constant)	-35319.417	7503.136		-4.707	0
	X <sub>76</sub>	2091.626	214.573	0.686	9.748	0
	X <sub>26</sub>	7190.921	1563.802	0.332	4.598	0
	X <sub>90</sub>	2.331	1.028	0.127	2.268	0.035
4	(Constant)	-180393.355	53004.937		-3.403	0.003
	X <sub>76</sub>	2012.503	188.237	0.66	10.691	0
	X <sub>26</sub>	7171.067	1355.862	0.331	5.289	0
	X <sub>90</sub>	2.889	0.914	0.158	3.161	0.005
	X <sub>13</sub>	1027.105	372.431	0.134	2.758	0.013

a. Dependent Variable: Y<sub>1</sub>

ตารางที่ ผ.ก.13 ตารางผลแบบจำลองการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุของ  $Y_2$

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	32498.022	12031.902		2.701	0.013
	X <sub>60</sub>	1.429	0.161	0.884	8.889	0
2	(Constant)	88786.137	12184.513		7.287	0
	X <sub>60</sub>	0.871	0.138	0.539	6.291	0
	X <sub>3</sub>	-36632.942	6218.23	-0.505	-5.891	0
3	(Constant)	83433.688	8802.639		9.478	0
	X <sub>60</sub>	0.773	0.101	0.479	7.624	0
	X <sub>3</sub>	-45616.877	4865.806	-0.629	-9.375	0
	X <sub>57</sub>	1.656	0.362	0.225	4.578	0
4	(Constant)	131895.617	13874.407		9.506	0
	X <sub>60</sub>	0.608	0.087	0.376	6.969	0
	X <sub>3</sub>	-34315.842	4651.119	-0.473	-7.378	0
	X <sub>57</sub>	2.337	0.323	0.318	7.236	0
	X <sub>52</sub>	-12013.964	3016.384	-0.31	-3.983	0.001
5	(Constant)	129848.371	12112.908		10.72	0
	X <sub>60</sub>	0.578	0.077	0.358	7.523	0
	X <sub>3</sub>	-27936.149	4712.901	-0.385	-5.928	0
	X <sub>57</sub>	2.384	0.282	0.324	8.457	0
	X <sub>52</sub>	-15913.894	3011.705	-0.41	-5.284	0
	X <sub>3</sub>	0.174	0.065	0.094	2.651	0.016
6	(Constant)	78416.209	26724.059		2.934	0.009
	X <sub>60</sub>	0.639	0.076	0.395	8.411	0
	X <sub>3</sub>	-22627.309	4991.646	-0.312	-4.533	0
	X <sub>57</sub>	1.883	0.35	0.256	5.375	0
	X <sub>52</sub>	-14389.203	2849.977	-0.371	-5.049	0
	Y <sub>3</sub>	0.183	0.06	0.1	3.051	0.007
	X <sub>32</sub>	6762.661	3197.032	0.096	2.115	0.049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.13 ตารางผลแบบจำลองการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุของ  $Y_2$  (ต่อ)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
7	(Constant)	56109.078	22101.202		2.539	0.022
	X <sub>60</sub>	0.908	0.1	0.562	9.08	0
	X <sub>3</sub>	-23571.375	3947.934	-0.325	-5.971	0
	X <sub>57</sub>	1.407	0.31	0.191	4.532	0
	X <sub>52</sub>	-4266.28	3756.566	-0.11	-1.136	0.273
	Y <sub>3</sub>	0.264	0.053	0.143	4.966	0
	X <sub>32</sub>	10046.34	2704.489	0.143	3.715	0.002
X <sub>6</sub>	-9641.585	2866.329	-0.17	-3.364	0.004	

a. Dependent Variable: Y<sub>2</sub>

ตารางที่ ผ.ก.14 ตารางผลแบบจำลองการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุของ  $Y_3$

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-24943.513	32585.884		-0.765	0.452
	x62	19472.249	5239.325	0.621	3.717	0.001
2	(Constant)	-39595.996	26710.246		-1.482	0.153
	x62	23133.428	4366.873	0.738	5.297	0
	x1	-83917.699	23689.957	-0.493	-3.542	0.002

a. Dependent Variable: y3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. ข้อมูลการพยากรณ์

ตารางที่ ผ.ก.15 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_1$  โดยใช้เทคนิค moving average

moving average			
เดือน	BDS_S EC ( $Y_1$ ) obs	moving average $Y_1$	mape
ธ.ค.-54	32675	27213.42	16.7148585
ม.ค.-55	31175	27213.42	12.7075541
ก.พ.-55	30500	27213.42	10.7756721
มี.ค.-55	29975	27213.42	9.21294412
เม.ย.-55	30162.5	27213.42	9.77730626
พ.ค.-55	29000	27213.42	6.16062069
มิ.ย.-55	30337.5	27213.42	10.2977503
ก.ค.-55	30337.5	27213.42	10.2977503
ส.ค.-55	32050	27213.42	15.0907332
ก.ย.-55	34394.0073	27213.42	20.8774373
ต.ค.-55	35133.8416	27213.42	22.5435684
พ.ย.-55	35873.676	27213.42	24.1409773
			14.0497644

ตารางที่ ผ.ก.16 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_2$  โดยใช้เทคนิค moving average

moving average			
เดือน	BDS_D EC ( $Y_2$ ) obs	moving average $Y_2$	mape
ธ.ค.-54	148600	148740.1	0.09427995
ม.ค.-55	165050	148740.1	9.8817934
ก.พ.-55	176650	148740.1	15.7995471
มี.ค.-55	179325	148740.1	17.0555695
เม.ย.-55	165000	148740.1	9.85448485
พ.ค.-55	180575	148740.1	17.6297383
มิ.ย.-55	167975	148740.1	11.4510493
ก.ค.-55	157870	148740.1	5.78317603
ส.ค.-55	163075	148740.1	8.79037253
ก.ย.-55	144700	148740.1	2.79205252
ต.ค.-55	133025	148740.1	11.8136441
พ.ย.-55	186103.982	148740.1	20.0768847
			10.9185494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.17 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_3$  โดยใช้เทคนิค moving average

moving average			
เดือน	BPS_Do EC ( $Y_3$ ) obs	moving average $Y_3$	mape
ธ.ค.-54	129675	131367.19	1.30494698
ม.ค.-55	131900	131367.19	0.40394996
ก.พ.-55	112850	131367.19	16.4086752
มี.ค.-55	97650	131367.19	34.5286124
เม.ย.-55	84300	131367.19	55.8329656
พ.ค.-55	79750	131367.19	64.7237492
มิ.ย.-55	112000	131367.19	17.2921339
ก.ค.-55	70000	131367.19	87.6674143
ส.ค.-55	99275	131367.19	32.3265575
ก.ย.-55	52250	131367.19	151.420459
ต.ค.-55	75200	131367.19	74.6904122
พ.ย.-55	90567.1491	131367.19	45.0494923
			48.4707808

ตารางที่ ผ.ก.18 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_1$  โดยใช้เทคนิค holt's linear method

holt's linear method			
เดือน	BDS_S EC ( $Y_1$ ) obs	holt's linear method $Y_1$	mape
ธ.ค.-54	32675	29821.72	8.73230298
ม.ค.-55	31175	30919.12	0.82078589
ก.พ.-55	30500	32016.52	4.97219672
มี.ค.-55	29975	33113.92	10.4717932
เม.ย.-55	30162.5	34211.31	13.4233237
พ.ค.-55	29000	35308.71	21.7541724
มิ.ย.-55	30337.5	36406.11	20.0036588
ก.ค.-55	30337.5	37503.51	23.6209642
ส.ค.-55	32050	38600.9	20.4396256
ก.ย.-55	34394.0073	39698.3	15.4221422
ต.ค.-55	35133.8416	40795.7	16.1151133
พ.ย.-55	35873.676	41893.1	16.7795016
			14.3796317

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.18 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_2$  โดยใช้เทคนิค holt's linear method

holt's linear method			
เดือน	BDS_D EC ( $Y_2$ ) obs	holt's linear method $Y_2$	mape
ธ.ค.-54	148600	151426.4	1.90201884
ม.ค.-55	165050	158531.31	3.94952439
ก.พ.-55	176650	165636.22	6.23480328
มี.ค.-55	179325	172741.13	3.67147358
เม.ย.-55	165000	179846.04	8.9976
พ.ค.-55	180575	186950.95	3.53091513
มิ.ย.-55	167975	194055.86	15.5266319
ก.ค.-55	157870	201160.78	27.4217901
ส.ค.-55	163075	208265.69	27.711599
ก.ย.-55	144700	215370.6	48.8393919
ต.ค.-55	133025	222475.51	67.2433828
พ.ย.-55	186103.982	229580.42	23.3613691
			19.865875

ตารางที่ ผ.ก.19 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_3$  โดยใช้เทคนิค holt's linear method

holt's linear method			
เดือน	BPS_Do EC ( $Y_3$ ) obs	holt's linear method $Y_3$	mape
ธ.ค.-54	129675	133575.56	3.00795065
ม.ค.-55	131900	135803.19	2.95920394
ก.พ.-55	112850	138030.82	22.3135312
มี.ค.-55	97650	140258.45	43.6338454
เม.ย.-55	84300	142486.08	69.0226335
พ.ค.-55	79750	144713.71	81.4591975
มิ.ย.-55	112000	146941.34	31.197625
ก.ค.-55	70000	149168.97	113.098529
ส.ค.-55	99275	151396.6	52.5022413
ก.ย.-55	52250	153624.23	194.017665
ต.ค.-55	75200	155851.86	107.249814
พ.ย.-55	90567.1491	158079.49	74.5439616
			66.2505165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.20 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_1$  โดยใช้เทคนิค winter method

winter method			
เดือน	BDS_S EC ( $Y_1$ ) obs	winter method $Y_1$	mape
ธ.ค.-54	32675	18857.84	42.2866412
ม.ค.-55	31175	12080	61.2510024
ก.พ.-55	30500	19496.25	36.0778689
มี.ค.-55	29975	20800	30.6088407
เม.ย.-55	30162.5	22205	26.382097
พ.ค.-55	29000	22900	21.0344828
มิ.ย.-55	30337.5	26234.17	13.5256036
ก.ค.-55	30337.5	26234.17	13.5256036
ส.ค.-55	32050	26234.17	18.1461154
ก.ย.-55	34394.0073	26234.17	23.7245903
ต.ค.-55	35133.8416	26234.17	25.3307672
พ.ย.-55	35873.676	27650	22.9239846
			27.9014665

ตารางที่ ผ.ก.21 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_2$  โดยใช้เทคนิค winter method

winter method			
เดือน	BDS_D EC ( $Y_2$ ) obs	winter method $Y_2$	mape
ธ.ค.-54	148600	82700.8	44.3467026
ม.ค.-55	165050	55900	66.1314753
ก.พ.-55	176650	80993.75	54.1501557
มี.ค.-55	179325	78900	56.0016729
เม.ย.-55	165000	94175	42.9242424
พ.ค.-55	180575	95000	47.3902811
มิ.ย.-55	167975	122887.5	26.8417919
ก.ค.-55	157870	122887.5	22.1590549
ส.ค.-55	163075	122887.5	24.6435689
ก.ย.-55	144700	122887.5	15.0742916
ต.ค.-55	133025	122887.5	7.62074798
พ.ย.-55	186103.982	155600	16.3908271
			35.3062344

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.22 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_3$  โดยใช้เทคนิค winter method

winter method			
เดือน	BPS_Do EC ( $Y_3$ ) obs	winter method $Y_3$	mape
ธ.ค.-54	129675	100488.6	22.5073453
ม.ค.-55	131900	100057.3	24.1415466
ก.พ.-55	112850	99625.92	11.7182809
มี.ค.-55	97650	71250	27.0353303
เม.ย.-55	84300	72475	14.0272835
พ.ค.-55	79750	73500	7.8369906
มิ.ย.-55	112000	101695.83	9.20015179
ก.ค.-55	70000	101695.83	45.2797571
ส.ค.-55	99275	101695.83	2.43850919
ก.ย.-55	52250	101695.83	94.6331675
ต.ค.-55	75200	101695.83	35.2338165
พ.ย.-55	90567.1491	131375	45.0581157
			28.2591913

ตารางที่ ผ.ก.23 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_1$  โดยใช้เทคนิคสมการถดถอยแบบประยุกต์

cluster regression			
เดือน	BDS_S EC ( $Y_1$ ) obs	cluster regression $Y_1$	mape
ธ.ค.-54	32675	28224.9995	13.6189762
ม.ค.-55	31175	28850.3624	7.45673658
ก.พ.-55	30500	29475.7252	3.358278
มี.ค.-55	29975	30101.0881	0.42064404
เม.ย.-55	30162.5	30726.4509	1.86970871
พ.ค.-55	29000	31351.8137	8.10970252
มิ.ย.-55	30337.5	31977.1766	5.40478474
ก.ค.-55	30337.5	32709.5957	7.81902167
ส.ค.-55	32050	33227.9023	3.67520203
ก.ย.-55	34394.0073	33853.2651	1.57219892
ต.ค.-55	35133.8416	34478.6279	1.86490765
พ.ย.-55	35873.676	35103.9908	2.14554313
			4.77630868

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.24 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_2$  โดยใช้เทคนิคสมการถดถอยแบบประยุกต์

cluster regression			
เดือน	BDS_D EC ( $Y_2$ ) obs	cluster regression $Y_2$	mape
ธ.ค.-54	148600	153305.462	3.16652894
ม.ค.-55	165050	143477.296	13.0704055
ก.พ.-55	176650	162116.696	8.22717481
มี.ค.-55	179325	168264.887	6.16763586
เม.ย.-55	165000	167655.187	1.60920424
พ.ค.-55	180575	174427.212	3.40456209
มิ.ย.-55	167975	175603.062	4.54118887
ก.ค.-55	157870	173316.687	9.78443466
ส.ค.-55	163075	176343.412	8.13638633
ก.ย.-55	144700	134774.937	6.8590622
ต.ค.-55	133025	145466.462	9.35272468
พ.ย.-55	186103.982	175368.42	5.76858261
			6.6739909

ตารางที่ ผ.ก.25 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_3$  โดยใช้เทคนิคสมการถดถอยแบบประยุกต์

cluster regression			
เดือน	BPS_Do EC ( $Y_3$ ) obs	cluster regression $Y_3$	mape
ธ.ค.-54	129675	132776.013	2.39137293
ม.ค.-55	131900	106632.964	19.1562064
ก.พ.-55	112850	106075.381	6.00320669
มี.ค.-55	97650	96747.9457	0.92376277
เม.ย.-55	84300	109388.464	29.7609301
พ.ค.-55	79750	84613.5546	6.098501
มิ.ย.-55	112000	94229.0213	15.8669453
ก.ค.-55	70000	75807.519	8.29645566
ส.ค.-55	99275	91939.1137	7.38945989
ก.ย.-55	52250	55707.4628	6.61715362
ต.ค.-55	75200	91160.2971	21.2237993
พ.ย.-55	90567.1491	90744.3381	0.19564377
			10.3269531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.26 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_1$  โดยใช้เทคนิคสมการถดถอยเชิงเส้นพหุ

Regression			
เดือน	BDS_S EC ( $Y_1$ ) obs	Regression $Y_1$	mape
ธ.ค.-54	32675	30471.9201	7.22986887
ม.ค.-55	31175	28929.0711	7.76357072
ก.พ.-55	30500	31945.5936	4.52517375
มี.ค.-55	29975	30121.0092	0.48474202
เม.ย.-55	30162.5	30086.7705	0.25170359
พ.ค.-55	29000	30449.9782	4.76183649
มิ.ย.-55	30337.5	30457.2382	0.39313533
ก.ค.-55	30337.5	30531.622	0.63580628
ส.ค.-55	32050	32009.2235	0.12738973
ก.ย.-55	34394.0073	34261.2997	0.38733978
ต.ค.-55	35133.8416	34443.3498	2.00471751
พ.ย.-55	35873.676	35797.5348	0.2126996
			2.39816531

ตารางที่ ผ.ก.27 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_2$  โดยใช้เทคนิคสมการถดถอยเชิงเส้นพหุ

Regression			
เดือน	BDS_D EC ( $Y_2$ ) obs	Regression $Y_2$	mape
ธ.ค.-54	148600	153603.037	3.2571212
ม.ค.-55	165050	161657.921	2.09830665
ก.พ.-55	176650	183031.46	3.48653711
มี.ค.-55	179325	178493.405	0.46589653
เม.ย.-55	165000	162197.12	1.72807027
พ.ค.-55	180575	178822.074	0.9802626
มิ.ย.-55	167975	171292.306	1.93663443
ก.ค.-55	157870	157684.314	0.11775804
ส.ค.-55	163075	165580.08	1.51291126
ก.ย.-55	144700	144937.383	0.1637831
ต.ค.-55	133025	135672.555	1.95143009
พ.ย.-55	186103.982	180011.856	3.38429124
			1.75691688

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.28 ตารางข้อมูลการพยากรณ์ของ  $Y_3$  โดยใช้เทคนิคสมการถดถอยเชิงเส้นพหุ

Regression			
เดือน	BPS_Do EC ( $Y_3$ ) obs	Regression $Y_3$	mape
ธ.ค.-54	129675	121817.498	6.45022453
ม.ค.-55	131900	109325.447	20.6489467
ก.พ.-55	112850	105334.93	7.13445155
มี.ค.-55	97650	102385.418	4.62509059
เม.ย.-55	84300	76562.1349	10.1066475
พ.ค.-55	79750	106144.6	24.8666445
มิ.ย.-55	112000	90986.3028	23.0954512
ก.ค.-55	70000	90928.4692	23.01641
ส.ค.-55	99275	84572.6788	17.3842444
ก.ย.-55	52250	46633.8569	12.0430595
ต.ค.-55	75200	92373.8891	18.5917138
พ.ย.-55	90567.1491	88261.8929	2.61183641
			14.2145601

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.  
บทความที่ได้รับตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# iceast 2018

The 4<sup>th</sup> International Conference on Engineering,  
Applied Sciences and Technology



"Exploring Innovative Solutions  
for Smart Society"

Swissôtel Resort Phuket Patong Beach  
Phuket, Thailand

July 4-7, 2018

iceast2018@kmitl.ac.th

www.iceast.org



Seagate



ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Cluster and Regression analysis for Predicting Salinity in Groundwater

Phiraphat Aphiphan<sup>1,\*</sup>, Uma Seeboonruang<sup>2</sup>, and Somyot Kaitwanidvilai<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Master degree student, Environmental and energy engineering for sustainability, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand, 10520.

<sup>2,3</sup>Assoc.Prof.Dr, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand, 10520.

**Abstract.** Groundwater salinity is a major problem particularly in the northeastern region of Thailand. Saline groundwater can cause widespread saline soil problem resulting in reducing agricultural productivity as in the Lower Nam Kam River Basin. In order to better manage the salinity problem, it is important to be able to predict the groundwater salinity. The objective of this research was to create a cluster-regression model for predicting the groundwater salinity. The indicator of groundwater salinity in this study was electrical conductivity because it was simple to measure in field. Ninety-eight parameters were measured including precipitation, surface water levels, groundwater levels and electrical conductivity. In this study, the highest groundwater salinity at 3 wells was predicted using the combined cluster and multiple linear regression analysis. Cross correlation and cluster analysis were applied in order to reduce the number of parameters to effectively predict the quality. After the parameter selection, multiple linear regression was applied and the modeling results obtained were  $R^2$  of 0.888, 0.918, and 0.692, respectively. This linear regression model technique can be applied elsewhere in the similar situation.

## 1 Introduction

Groundwater is an important natural resource for ecosystem, organism and human living. The groundwater salinity problem was important to study at the risk areas. Groundwater quality monitoring information was required in the interested area. However, continuous water quality measurement spent a lot of time and investment.

The salinity of groundwater may be derived from natural salts and human actions. The important issue of this research is groundwater salinity due to rapid population, rapid industrialization growth and the use of enormous chemicals in agriculture because of poor management. The flow of water in groundwater will increase the saline and the evaporation process will bring the saline to surface cause salinity problems. In the long term, salinity problem will severely affect the environment such as salty soil, water salinity and a shortage of fresh water. Electrical conductivity was a useful indicator of saline in this research because it was easy to measure in fieldwork. A few numbers of literatures were used regression equation for groundwater quality prediction data in different areas. Modeling used time series techniques was an alternative tool that can be used to determine the relationship between water quality and index variables for unknown parameters [1,6,8,9]. So predicting the fluctuation of groundwater quality is important for proper water

management and land use [5,9]. Ground water samples from different area have been analyzed for correlation between electrical conductivity and parameters. An attempt has been made to develop linear regression for predicting the concentration of water quality constituents having significant correlation coefficients with electrical conductivity. Water quality indexes prediction was applied by multiple linear regression modeling [2,7]. Cluster analysis was used to assess the water quality and it useful to manage, control pollution and protect water quality [12].

This research is necessary to predict the salinity of groundwater for better planning or proper management about salinity area in the future because it is the one of the main causes of salinity problems. So the purpose of this study was to create a cluster-regression model for predicting the groundwater salinity and finds the relationships of variables.

## 2 Methodology

### 2.1 Data Preparation

First step in this research, the lower basin data was focused area for this study. It was sub-basin of the Mekong River basin located in Nakhon Phanom province in the northeastern of Thailand [11]. Fig. 1 shows well locations. In this area, groundwater faces salinity problem because this area may have salt pits or

ไม่วารณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\* Corresponding author: [jack\\_ozaka@hotmail.com](mailto:jack_ozaka@hotmail.com)

rock salt which dissolves into high conductivity value. The data was collected into monthly from December 2010 to October 2012. The data of the groundwater were from 27 wells, each of well has water level, pH and EC data. There were data of 12 water gates and rainfall data from 5 areas. Data obtained from previous research was incomplete. It was necessary to convert data with average data, remove the abnormal values and interpolation data (piecewise linear interpolation method) by the software, PAST (Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis). Fig. 2 shows incomplete data that we have presented by plotting graph and it shows the missing data and this is not suitable for next process. Fig. 3 shows the complete graph and this has no missing data because the missing data has fulfilled by interpolation and outlier to the data. This data is a sample of the conductivity data of BLK\_Y, BDD\_P, BDD, BDD\_C and BDY\_S wells. We had the descriptive statistics of incomplete and complete data, we have compared the incomplete data with the complete data to observe the variance and standard deviation of the data.



Fig. 1. Well locations

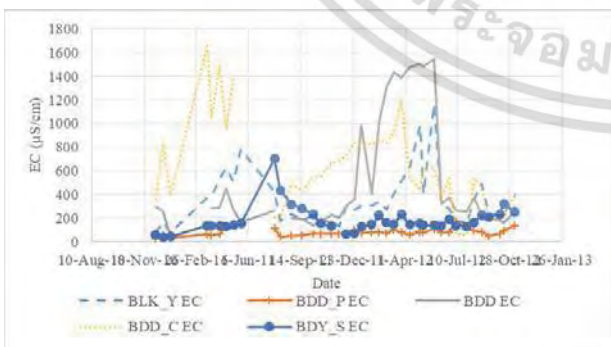


Fig. 2. Samples of incomplete data

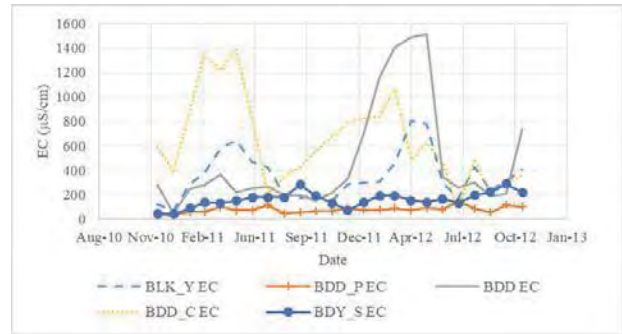


Fig. 3. Samples of complete data

## 2.2 Cross correlation analysis

After the data preparation step, the data has been set. The variables used in this research were 98 variables, which included conductivity, pH, groundwater level of well, precipitation and surface water level data. We would like to create 3 regression models. So we created three experiments. We used 3 highest electrical conductivity as the main variables in 3 experiments which in each experiment had 1 main variable be dependent variable and remaining 97 variables be independent variables. These dependent variables were  $Y_1$ ,  $Y_2$  and  $Y_3$  and they were the electrical conductivity of BDS\_S, BDS\_D and BPS\_Do wells, they had highest electrical conductivity were 27365.58  $\mu\text{S/cm}$ , 134402.334  $\mu\text{S/cm}$ , 95527.84  $\mu\text{S/cm}$ , which their conductivity value higher than conductivity of seawater. The remaining 95 variables were defined as independent variables  $X_1$  to  $X_{95}$ . In cross correlation step, we need to create 3 experiments by each experiment had 98 variables and we used 1 main variable (dependent variable) matching one by one with 98 independent variables. Cross correlation is the finding relationship between variable and variable of lag time. In general, Cross correlation is given by Eqn. (1)

$$\Gamma_k(X_t, Y_t) = \frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_t - \bar{Y})(X_t - \bar{X})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2 \sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}} \quad \text{and} \quad (1)$$

$$\Gamma_k(X_t, Y_t) = \frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_{t-k} - \bar{Y})(X_t - \bar{X})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2 \sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}}$$

When  $r$  is coefficient cross correlation,  $y$  is dependent variable,  $x$  is independent variable. Cross correlation is useful for finding the relationships of two variables and it can explain about lag time.

## 2.3 Cluster analysis

In this step, the data from cross correlation analysis will be classified. If any variable had no relationship from cross correlation, it will be cut off. Correlated variables were grouped by cluster analysis by the software, SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Representative data selection by Selected the most cross correlated value data of each group to represent the group. This step is important. This step was the process of grouping the variables and finding the representatives of the groups to simplify the regression analysis. The

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

variables in this research were quite numerous. It was necessary to find the representatives of them in order to make predictions and the grouping will be in the dendrogram. Example of dendrogram is shown in Fig. 4.

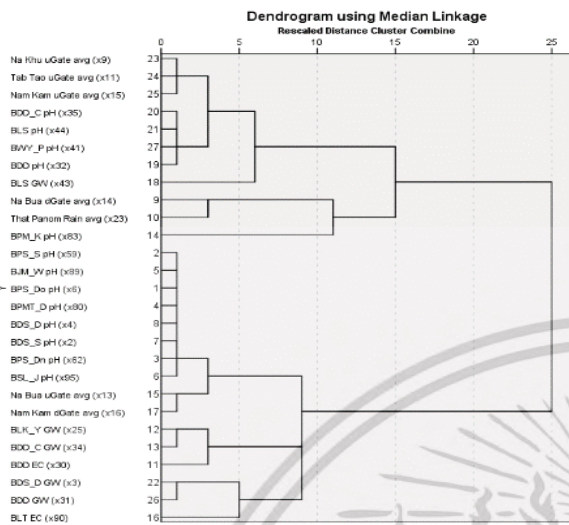


Fig. 4. Example Dendrogram of cluster Y3

## 2.4 Multiple linear regression

In final step, after grouping each group's representative data was used for create multiple linear regression models. A multiple linear regression model is applied to study any linear relationship between one dependent variable and several of independent variables. The multiple regression model is given by Eqn. (2)

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_m X_m \quad (2)$$

When Y is the dependent variable,  $b_0$  is the intercept,  $b_1$  is the regression coefficients or slope in linear regression. Regression model is the equation for find the relationship of variables and predicting interested variable. This model is very useful in statistics and time series. The regression model can be used to predict the accuracy of forecasting.

## 3 Result and Discussion

### 3.1 Measured and interpolated data comparison

According to research, In the process of preparing the complete data. It had made the missing data range more complete and result in lower standard deviation and variance. This made the data suitable for data entry for cross correlation analysis.

### 3.2 Parameter elimination by cross correlation

In the cross correlation process, we had 3 main variables which in each main variable had matching with other variables and it shows in Table 1.

Table 1. The number of cross correlation between dependent variable with independent variable

Dependent variable	Number of independent variables
Y <sub>1</sub>	69
Y <sub>2</sub>	71
Y <sub>3</sub>	27

### 3.3 Grouping variables by cluster analysis

In the clustering process, we had 3 cluster models by importing cross correlated data into grouping and in each cluster models were many groups in itself. So we used the variances and standard deviations to decide how many groups in each models and the number of appropriate groups for each models is shown in Table 2.

Table 2. Group of cluster model

Cluster Model	groups
Y <sub>1</sub>	8
Y <sub>2</sub>	4
Y <sub>3</sub>	10

### 3.4 Multiple linear regression

For the regression process, Table 3 shows the model of Y<sub>1</sub> Y<sub>2</sub> Y<sub>3</sub> had R<sup>2</sup> of 0.888, 0.918 and 0.692 respectively. The statistical significance of models is 95%, the regression models of Y<sub>1</sub> Y<sub>2</sub> Y<sub>3</sub> can be described by regression equations with R<sup>2</sup> of 88.8%, 91.8%, 69.2%, respectively, indicated the regression models appropriated for predicting the dependent variables, which were electrical conductivity at 3 wells. Regression model of Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub> and Y<sub>3</sub> were

$$Y_1 = 26489.345 + 20522.46X_{76} - 21411.258X_{77}$$

$$Y_2 = 88786.137 + 0.871X_{60} - 36632.942X_3$$

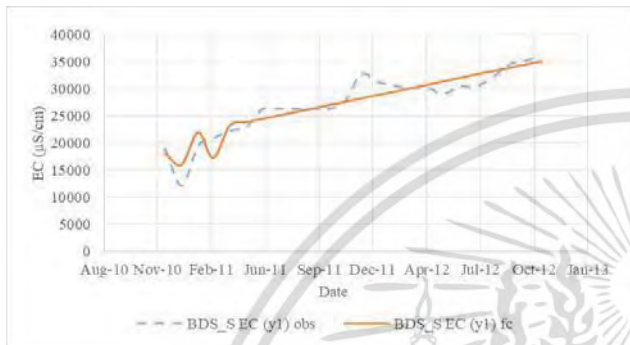
$$Y_3 = -199546.303 + 33901.825X_{62} + 25275.749X_{35} - 15236.37X_{83}$$

Fig. 5 shows an example of graph plotting between observed data (Y<sub>obs</sub>) and computed data (Y<sub>fc</sub>) for Y<sub>1</sub> model. This graph shows these lines were very similar and the mean absolute percent error of observed data (Y<sub>obs</sub>) and computed data (Y<sub>fc</sub>) for Y<sub>1</sub> is 6.01%. It can be explained that the computed data was close to the observed data. It possible to explain the computed data, it can use to be a substitute for observed data.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

**Table 3.** Models summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
Y <sub>1</sub>	.942	.888	.877	2010.42372
Y <sub>2</sub>	.958	.918	.910	11245.21347
Y <sub>3</sub>	.832	.692	.646	12133.25304



**Fig. 5.** Example of graph plotting between observed data (Yobs) and computed data (Yfc)

#### 4 Conclusion

Groundwater is very important natural resource. Groundwater salinity is a huge problem for agriculture and environment. Predicting groundwater salinity is vital for appropriate planning and management. In this research, electrical conductivity at 3 observation wells was predicted by using the new cluster – regression models. Cross correlation and cluster analysis techniques were applied in order to eliminate unnecessary variables for prediction. Then, multiple regression equations were formed for the 3 locations. The models can predict the measured groundwater salinity very well. This model can be applied elsewhere to predict other variables.

#### References

1. Seeboonruang U., A Multiple Regression Analysis for Predicting Salinity in Shallow Groundwater. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. *IMEC 2017*.
2. Joarder M.A.M., Raihan F., Alam J.B. and Hasanuzzaman S., Regression analysis of ground water quality data of Sunamganj District, Bangladesh, *Int. J. Environ. Res. Vol 2(3)*, pp. 291-296 (2008).
3. Aflatooni M. and Mardaneh M., Time series analysis of ground water table fluctuations due to temperature and rainfall change in Shiraz plain. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering Vol. 3(9)*, pp. 176-188 (2011).
4. Hajigholizadeh M. and Assefa M., Melesse. Assortment and spatiotemporal analysis of surface water quality using cluster and discriminant analyses. *Catena 151* p.247–258 (2017).
5. Anderson M.P. and Woessner W.W., Applied Groundwater Modeling. Academic Press, San Diego 1992.
6. Maiti S. and Tiwari R.K., A comparative study of artificial neural networks, Bayesian neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system in groundwater level prediction. *Environmental Earth Sciences Vol 71* pp.3147 (2014).
7. Agarwal M. and Agarwal A., Linear Regression And Correlation Analysis Of Water Quality Parameters: A Case Study Of River Kosi at District Rampur, India. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Vol. 2*, 2013.
8. Seeboonruang U., An application of time-lag regression technique for assessment of groundwater fluctuations in a regulated river basin: a case study in Northeastern Thailand. *Environmental Earth Sciences Vol 73* pp 6511–6523 (2015).
9. Jain C.K. and Sharma M.K., Relationship among Water Quality Parameters of Groundwater of Jammu District. *Pollution Research, 16* (4), 241-246 (1997).
10. Hayashi M., *Temperature-Electrical Conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data*. University of Calgary (2003).
11. Thailand Mineral Resource Department (TMRD). *The study of salt rock in the Lower Namkam Basin Irrigation Project-Nakhon Panom Province*. Final Report, Thailand (1998).

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายพิรพัฒน์ อภิพันธ์  
วัน เดือน ปีเกิด 17 พฤศจิกายน 2536  
ที่อยู่ 55/4 ซ.ปทุมวิภา 37 ถ.สุขุมวิท 101 บางจาก พระโขนง กรุงเทพฯ 10260

**ประวัติการศึกษา**

พ.ศ. 2552 - 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวชิรธรรมสาธิต  
พ.ศ. 2555 - 2559 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ. 2561 “Cluster and Regression Analysis for Predicting salinity in Groundwater” นำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการ The 4<sup>th</sup> International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2018) ระหว่างวันที่ 4-7 กรกฎาคม 2561 โรงแรม สวิสโซเทล รีสอร์ท ภูเก็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้