

การประยุกต์ใช้เครื่องวัดความชื้นในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอย  
ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

นางสาวอรุณิษา ศรีจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2553

**APPLICATION OF TURBIDIMETER FOR  
MEASUREMENT OF SUSPENDED SOLIDS IN  
ACTIVATED SLUDGE WASTEWATER  
TREATMENT PLANT**

**Onnicha Srichun**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering  
Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2010**

การประยุกต์ใช้เครื่องวัดความชื้นในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอย  
ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร. จิรียา ยี่มรัตน์บวร)

ประธานกรรมการ

(อ. ดร. ฉัตรเพชร ยศพล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร. จรงค์พันธ์ มุสิกวงค์)

กรรมการ

(อ. ดร. อภิชน วัชรินทร์วงศ์)

กรรมการ

(ศ. ดร. ชูกิจ ลิ้มปิ๊ง)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร. วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อรณิชา ศรีจันทร์ : การประยุกต์ใช้เครื่องวัดความขุ่นในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอย  
ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (APPLICATION OF TURBIDIMETER FOR  
MEASUREMENT OF SUSPENDED SOLIDS IN ACTIVATED SLUDGE  
WASTEWATER TREATMENT PLANT) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.ฉัตรเพชร  
ยศพล, 221 หน้า.

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งนิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียอินทรีย์เพราะมีประสิทธิภาพ  
ในการบำบัดสูงและเป็นระบบที่สามารถควบคุมปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศเพื่อ  
ปรับปรุงและรักษาสถานะการทำงานของระบบที่เหมาะสมได้ ในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงแนวทางใน  
การประยุกต์ใช้เครื่องวัดความขุ่นที่อาศัยวิธีเนฟโลเมตริก ซึ่งเป็นวิธีตรวจวัดที่สะดวก รวดเร็ว และ  
ประหยัด แทนการหาค่าปริมาณเอ็มแอลเอสเอสของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

การวิจัยนี้ได้ออกแบบชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดด้วยกัน ได้แก่ (1) การทดลองศึกษา  
เวลาที่เหมาะสมในการอ่านวัดค่าความขุ่น (2) การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณ  
สารแขวนลอยและค่าความขุ่น และ (3) การทดลองศึกษาอิทธิพลของสีที่มีผลต่อการวัดค่าความขุ่น  
ในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ใช้วิธีการทางสถิติแบบสหสัมพันธ์ในการสร้างความสัมพันธ์  
ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น โดยพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์  
ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (LR) วิธีโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (ANN) และวิธีฟuzzyลอจิก  
(FL) มาเปรียบเทียบการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในแต่ละแห่ง ผลการศึกษาพบว่า  
แบบจำลองทั้งสามสามารถทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยได้โดยไม่มีความแตกต่างกันที่  
ระดับนัยสำคัญ 0.05 แบบจำลองที่ดีที่สุดในการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยของสมการถดถอยเชิง  
เส้นอย่างง่ายมีค่า MAPE อยู่ในช่วง 6.075-136.153 ส่วนแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์อยู่  
ในช่วง 12.860-258.062 และแบบจำลองฟuzzyลอจิกมีค่าอยู่ในช่วง 9.988-75.236 ตามลำดับ  
กระบวนการพัฒนาแบบจำลองทั้งสามชนิดและการวิเคราะห์จากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้  
เครื่องวัดความขุ่นสำหรับตรวจวัดค่าปริมาณจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอย  
มีความรวดเร็ว ประหยัด และทันต่อสถานการณ์ในการควบคุมระบบ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการเดิน  
ระบบและการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนักศึกษา \_\_\_\_\_

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_

ONNICHIA SRICHUN : APPLICATION OF TURBIDIMETER FOR  
MEASUREMENT OF SUSPENDED SOLIDS IN ACTIVATED SLUDGE  
WASTEWATER TREATMENT PLANT. THESIS ADVISOR :  
CHATPET YOSSAPOL, Ph.D., 221 PP.

TURBIDITY SUSPENDED SOLIDS ACTIVATED SLUDGE  
LINEAR REGRESSION ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FUZZY LOGIC

Activated sludge biological wastewater treatment plant is widely used due to its high efficiency and capability in terms of biomass control in aeration tank for the operational improvement and maintenance of the plant. This research is an attempt to seek for an approach to apply nephelometric light scatter turbidimeter, which is convenient and inexpensive method, to determine the biomass amount (MLSS) in the activated sludge system (AS).

The experiments was divided into three parts which were (1) the study of proper turbidimeter reading time for measurement, (2) the study of SS and turbidity correlation, and (3) the study of affecting factors on turbidity measurement. Simple Linear Regression (LR), Artificial Neural Network (ANN), and Fuzzy Logic (FL), were used as the regression analysis tool to determine the correlation between SS and turbidity. Samples were taken from three different AS plants for both the mixed liquor in the aeration tank and the treated effluent. The results showed that the correlation predicted from all three regression analysis methods was comparable. Mean absolute percentage error (MAPE) of the correlation determined for the samples taken were in the range of 6.075-136.153 for LR, 12.860-258.062 for ANN, and 9.988-75.236 for FL.

This shows that turbidimeter can be applied as a quick and inexpensive approach to determine biomass amount in the AS and other systems providing that a correlation between SS and turbidity is prepared. The results from this study also showed that reading time and water color did not affect the turbidimeter reading significantly.

School of Environmental Engineering

Academic Year 2010

Student's Signature \_\_\_\_\_

Advisor's Signature \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ฉัตรเพชร ขสพล ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้โอกาส ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ และแนวทางแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัยมาโดยตลอด และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรียา ยัมรัตยบวร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงค์ และอาจารย์ ดร.อภิชน วัชรนทร่วงศ์ ที่ได้คำปรึกษาความรู้ทางด้านวิชาการ และความกรุณาแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย และขอขอบคุณ โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) บุคลากรทุกท่าน ที่ได้ให้ความร่วมมือและความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัยอย่างดียิ่ง

คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน และคุณนารี กลิ่นกลาง เลขานุการประจำสำนักวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่คอยให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด และขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่คอยให้กำลังใจและขอคิดในการเผชิญปัญหาในแต่ละรูปแบบได้อย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณยายสำรอง อินสร และครอบครัวศรีจันทร์ ที่ได้ให้กำลังใจด้วยความรัก ความห่วงใย ความเข้าใจ และสิ่งดี ๆ ทั้งหลายให้บังเกิดเป็นความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

อรณิชา ศรีจันทร์

# สารบัญ

## หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ถ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 สมมติฐานของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>2 ปರಿทรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 สารแชนลอย.....	4
2.1.1 ความสำคัญของสารแชนลอยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	4
2.1.2 ตรวจวัดปริมาณสารแชนลอย.....	8
2.2 ความชุ่ม.....	9
2.2.1 ความสำคัญของความชุ่มต่อระบบประปา.....	9
2.2.2 วิธีการตรวจวัดความชุ่ม.....	10
2.3 หลักการตรวจวัดความชุ่ม.....	13
2.4 เครื่องมือวัดความชุ่ม.....	15
2.4.1 มาตรฐานการออกแบบเครื่องวัดความชุ่ม.....	15
2.4.2 อุปกรณ์และส่วนประกอบที่สำคัญ.....	18



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3 องค์ประกอบของเครื่องวัดความชุ่ม	20
2.4.4 ชนิดของเครื่องวัดความชุ่ม	25
2.5 การใช้เครื่องมือวัดความชุ่มในการตรวจวัดสารแขวนลอยในน้ำ	29
2.6 โครงข่ายใยประสาทประดิษฐ์	37
2.6.1 แนวคิดพื้นฐานของโครงข่ายใยประสาทประดิษฐ์	38
2.6.2 โครงสร้างของรางข่ายใยประสาทประดิษฐ์	39
2.6.3 การเรียนรู้ของโครงข่ายใยประสาทประดิษฐ์	40
2.6.4 โครงข่ายประสาทแบบหลายชั้น	41
2.6.5 วิธีการแพร่กระจายกลับ	42
2.6.6 ข้อดีและข้อเสียของโครงข่ายประสาทประดิษฐ์	42
2.7 ฟัซซี่ลอจิก (FUZZY LOGIC)	42
2.7.1 ระบบฟัซซี่	43
2.7.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซี่ลอจิก	43
2.7.3 ฟัซซี่เซตและตัวควบคุมแบบฟัซซี่	44
2.7.4 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก	45
2.7.5 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก	46
2.7.6 ข้อดีและข้อเสียของฟัซซี่ลอจิก	49
2.8 สรุปการทบทวนวรรณกรรม	50
3 วิธีดำเนินการวิจัย	51
3.1 รูปแบบการวิจัย	51
3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย	54
3.2.1 ชุดการทดลองที่ 1	54
3.2.2 ชุดการทดลองที่ 2	54
3.2.3 ชุดการทดลองที่ 3	56
3.3 สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ	57

3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา ..... 58

### สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1 การวิเคราะห์ค่าความขุ่น ..... 58

3.4.2 การวิเคราะห์ค่าปริมาณสารแขวนลอย ..... 58

3.4.3 การวิเคราะห์สี ..... 59

3.5 สถานที่ทำการวิจัย ..... 60

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล ..... 60

3.7 การสร้างแบบจำลอง ..... 61

3.7.1 การสร้างแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้น ..... 61

3.7.2 การสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ ..... 63

3.7.3 การสร้างแบบจำลองฟuzzy logic ..... 65

3.8 เปรียบเทียบความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน ..... 67

**4 ผลการศึกษา** ..... 68

4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของสถานที่เก็บน้ำตัวอย่าง ..... 68

4.1.1 ข้อมูลจากโรงพยาบาลจังหวัดนครราชสีมา ..... 68

4.1.2 ข้อมูลจากโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา ..... 69

4.1.3 ข้อมูลจาก บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) ..... 72

4.1.4 สัญลักษณ์แทนตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ..... 74

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล ..... 74

4.2.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นเชื่อมกับเวลา  
ในการตรวจวัด ..... 74

4.2.2 การรวบรวมข้อมูล ..... 88

4.2.3 ข้อมูลค่าความขุ่นและสีจริงและสีปรากฏ ..... 116

4.3 ผลการศึกษาแบบจำลอง ..... 117

4.3.1 ผลการศึกษาแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้น ..... 117

4.3.2 ผลการศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ ..... 120

4.3.3 ผลการศึกษาแบบจำลองพีชชีลลิจิก .....	126
4.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	132

### สารบัญ (ต่อ)

#### หน้า

4.4.1 ผลการวิเคราะห์เวลาที่เหมาะสมในการวัดค่าความชุ่ม .....	132
4.4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความสัมพันธ์ ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความชุ่ม .....	133
4.4.3 วิเคราะห์ความแตกต่างของเครื่องวัดความชุ่มและค่าความชุ่ม .....	139
4.4.4 วิเคราะห์อิทธิพลของสีต่อการวัดค่าความชุ่ม .....	140
4.4.5 วิเคราะห์ความแตกต่างของแบบจำลองที่สร้างขึ้น .....	141
4.4.6 วิเคราะห์ความแตกต่างของเครื่องวัดความชุ่มและแบบจำลอง.....	154
<b>5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>156</b>
5.1 สรุปผลการศึกษา .....	156
5.2 ข้อยกเว้น .....	157
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	158
รายการอ้างอิง.....	159
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น .....	164
ภาคผนวก ข. ลักษณะการแจกแจงข้อมูล .....	182
ภาคผนวก ค. สถิติพรรณนาข้อมูลเวลาและการอ่านค่าความชุ่ม.....	195
ภาคผนวก ง. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา .....	210
ประวัติผู้เขียน.....	221

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่ง ชนิดธรรมดาไหลตามกัน ..... 6
2.2	ตารางเปรียบเทียบค่าปริมาณสารแขวนลอยในการ กำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง..... 6
2.3	ตารางแสดงสารรบกวนที่มีผลต่อการวัดค่าความขุ่นในน้ำ..... 13
2.4	ตารางเปรียบเทียบวิธีการวัดความขุ่นด้วยมาตรฐานที่ต่างกัน ..... 17
2.5	สรุปการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการออกแบบเครื่องวัดความขุ่น..... 25
2.6	สรุปการเปรียบเทียบการใช้งานของเครื่องวัดความขุ่นแต่ละชนิด..... 28
2.7	ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและความยาวคลื่น ..... 31
3.1	ตารางสรุปจุดเก็บและจำนวนตัวอย่างในการเก็บ ..... 57
3.2	ตารางแสดงจำนวนและค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ของแต่ละเดือน ..... 58
3.3	ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ในแต่ละจุดเก็บน้ำตัวอย่าง ..... 59
3.4	ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 59
4.1	คุณลักษณะน้ำทิ้งของโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา ..... 69
4.2	คุณลักษณะน้ำเสียเบื้องต้นของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา ..... 71
4.3	คุณลักษณะเบื้องต้นของน้ำเสียบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน)..... 73
4.4	สัญลักษณ์แทนจุดเก็บน้ำตัวอย่างในแต่ละสถานที่..... 74
4.5	ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความขุ่นที่เวลาต่าง ๆ ในบ่อเติมอากาศ (HACH รุ่น 2100N) ..... 78
4.6	ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความขุ่นที่เวลาต่าง ๆ ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว (HACH รุ่น 2100N)..... 84
4.7	ตารางสรุปการแจกแจงข้อมูลในน้ำตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความขุ่น ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ณ เวลาที่แตกต่างกัน ..... 87
4.8	การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าปริมาณสารแขวนลอย ..... 89

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความขุ่น จากเครื่อง HACH รุ่น 2100N .....	89
4.10 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความขุ่น จากเครื่อง HACH รุ่น RATIO/XR .....	90
4.11 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความขุ่น จากเครื่อง EUTECH รุ่น TN100 .....	91
4.12 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอย และค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N.....	92
4.13 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอย และค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR.....	98
4.14 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอย และค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 .....	104
4.15 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (HACH 2100N) .....	112
4.16 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (HACH RATIO/XR).....	113
4.17 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (EUTECH TN100).....	114
4.18 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% .....	115
4.19 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าสีจริง .....	116

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.20 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าสีปรากฏ .....	117
4.21 สมการถดถอยเชิงเส้นสำหรับค่าปริมาณสารแขวนลอย จากเครื่อง HACH รุ่น 2100N .....	118
4.22 สมการถดถอยเชิงเส้นที่เหมาะสมของเครื่องวัดความขุ่น จากเครื่อง HACH รุ่น 2100N .....	119
4.23 สมการถดถอยเชิงเส้นที่เหมาะสมของเครื่องวัดความขุ่น จากเครื่อง HACH รุ่น RATIO/XR .....	119
4.24 สมการถดถอยเชิงเส้นที่เหมาะสมของเครื่องวัดความขุ่น จากเครื่อง EUTECH รุ่น TN 100 .....	120
4.25 ค่าพารามิเตอร์ในโครงข่าย .....	123
4.26 แบบจำลอง ANN ที่เหมาะสมของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา ด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100 .....	125
4.27 แบบจำลอง ANN ที่เหมาะสมของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา ด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR .....	126
4.28 แบบจำลอง ANN ที่เหมาะสมของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา ด้วยเครื่องวัดความขุ่น EUTECH รุ่น TN100 .....	126
4.29 แบบจำลองฟuzzy logic ที่เหมาะสม .....	132
4.30 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองเครื่องวัดความขุ่น ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N .....	142
4.31 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองเครื่องวัดความขุ่น ยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR .....	146
4.32 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองเครื่องวัดความขุ่น ยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 .....	150

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง ..... 5
2.2	ขนาดของอนุภาค ..... 8
2.3	วิธีวัดความขุ่นด้วยวิธีเจ็ทสันแคนเดิลเทอบิไดมิเตอร์ ..... 11
2.4	การกระเจิงของแสงในทิศทาง 90 องศา..... 14
2.5	ขนาดอนุภาคต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกระเจิงของแสง..... 15
2.6	แสดงความสัมพันธ์ในการตอบสนองต่อการวัดความขุ่นกับ แหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความยาวคลื่นในช่วงที่แตกต่างกัน ..... 19
2.7	แสดงความสัมพันธ์ในการตอบสนองต่อการวัดความขุ่นกับ อุปกรณ์รับแสงที่ให้ความยาวคลื่นในช่วงที่แตกต่างกัน ..... 20
2.8	หลักการเนเฟโลเมตริก ..... 21
2.9	หลักการวัดความขุ่นแบบ Ratio Turbidimeter ..... 22
2.10	หลักการวัดความขุ่นแบบ Modulated Four-Beam Turbidimeter ..... 23
2.11	หลักการวัดความขุ่นแบบ Surface Scatter Turbidimeter ..... 24
2.12	เครื่องวัดความขุ่นชนิดใช้ในห้องปฏิบัติการ ..... 26
2.13	เครื่องวัดความขุ่นชนิดแบบพกพา ..... 27
2.14	เครื่องวัดความขุ่นชนิดออนไลน์ ..... 27
2.15	แสดงความสัมพันธ์ของความขุ่นและอุณหภูมิ..... 31
2.16	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารแขวนลอยและความขุ่น ..... 36
2.17	การกำหนดน้ำหนักของข้อมูลแต่ละชุด ..... 38
2.18	โครงสร้างโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ ..... 39
2.19	โครงสร้างโครงข่ายประสาทประดิษฐ์แบบหลายชั้น ..... 41
2.20	ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก)..... 44
2.21	การดำเนินการของฟัซซีเซต..... 45
2.22	โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี ..... 46

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23	ขั้นตอนการประเมินผลแบบพีชชีลोजิก..... 46
2.24	ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบพีชชีลोजิก ..... 47
2.25	ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบพีชชีลोजิก ..... 47
2.26	ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบพีชชีลोजิก ..... 48
2.27	ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบพีชชีลोजิก ..... 48
3.1	เครื่องวัดความขุ่นHACH รุ่น 2100N ..... 51
3.2	เครื่องวัดความขุ่นHACH รุ่น RATIO/XR ..... 52
3.3	เครื่องวัดความขุ่นEUTECH รุ่น TN100..... 52
3.4	ขั้นตอนการศึกษา..... 53
3.5	ขั้นตอนการศึกษาชุดการทดลองที่ 1 ..... 55
3.6	ขั้นตอนการศึกษาชุดการทดลองที่ 2 ..... 55
3.7	ขั้นตอนการศึกษาชุดการทดลองที่ 3 ..... 56
3.8	ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้น ..... 62
3.9	ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ ..... 64
3.10	ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองพีชชีลोजิก..... 66
4.1	แผนภาพรายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา..... 70
4.2	แผนภาพรายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา..... 70
4.3	แผนภาพรายละเอียดระบบบำบัดน้ำเสียบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน)..... 73
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความขุ่นด้วยเครื่องวัด ความขุ่น HACH รุ่น 2100 N ของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา..... 76
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความขุ่นด้วยเครื่องวัด ความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR ของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา ..... 77
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความขุ่นด้วยเครื่องวัด ความขุ่น HACH รุ่น 2100N ของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา..... 82



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชุ่มด้วยเครื่องวัดความชุ่ม HACH รุ่น RATIO/XR ของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา.....	83
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความชุ่ม ในบ่อเติมอากาศด้วยเครื่องวัดความชุ่ม HACH รุ่น 2100N ของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา.....	94
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความชุ่ม ในน้ำทิ้งด้วยเครื่องวัดความชุ่ม HACH รุ่น 2100N ของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา.....	95
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความชุ่ม ในบ่อเติมอากาศด้วยเครื่องวัดความชุ่ม HACH รุ่น 2100N ของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน).....	95
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความชุ่ม ในน้ำทิ้งด้วยเครื่องวัดความชุ่ม HACH รุ่น 2100N ของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน).....	96
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความชุ่ม ในบ่อเติมอากาศด้วยเครื่องวัดความชุ่ม HACH รุ่น 2100N ของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา.....	96
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความชุ่ม ในน้ำทิ้งด้วยเครื่องวัดความชุ่ม HACH รุ่น 2100N ของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา.....	97
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความชุ่ม ในบ่อเติมอากาศด้วยเครื่องวัดความชุ่ม HACH รุ่น RATIO/XR ของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา.....	100
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความชุ่ม ในน้ำทิ้งด้วยเครื่องวัดความชุ่ม HACH รุ่น RATIO/XR ของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา.....	101

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่น ในบ่อเติมอากาศด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR ของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน).....	101
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่น ในน้ำทิ้งด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR ของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน).....	102
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่น ในบ่อเติมอากาศด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR ของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จ.นครราชสีมา.....	102
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่น ในน้ำทิ้งด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR ของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา.....	103
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่น ในบ่อเติมอากาศด้วยเครื่องวัดความขุ่น EUTECH รุ่น TN100 ของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา .....	106
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่น ในน้ำทิ้งด้วยเครื่องวัดความขุ่น EUTECH รุ่น TN100 ของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา .....	107
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่น ในบ่อเติมอากาศด้วยเครื่องวัดความขุ่น EUTECH รุ่น TN100 ของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน).....	107
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่น ในน้ำทิ้งด้วยเครื่องวัดความขุ่น EUTECH รุ่น TN100 ของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน).....	108

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่น ในบ่อเติมอากาศด้วยเครื่องวัดความขุ่น EUTECH รุ่น TN100 ของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา .....	108
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่น ในน้ำทิ้งด้วยเครื่องวัดความขุ่น EUTECH รุ่น TN100 ของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา .....	109
4.26 แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยของ MA .....	124
4.27 แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยของ ME .....	125
4.28 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าความขุ่น .....	128
4.29 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าปริมาณสารแขวนลอย .....	128
4.30 ระบบของแบบจำลอง ME ของเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N .....	130
4.31 การวิเคราะห์ผลของระบบจากการทำดีฟัซซีฟิเคชัน .....	131
4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ด้วยเครื่องวัดความขุ่นในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว ของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา .....	134
4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอย และค่าความขุ่นของ PE1 .....	135
4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอย และค่าความขุ่นของ PE2 .....	135
4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอย และค่าความขุ่นของ PE3 .....	136
4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอย และค่าความขุ่นของ PE4 .....	136
4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอย และค่าความขุ่นของ PE5 .....	137



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.51	แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายแลค่าที่ได้จากการตรวจ วัดจริงด้วยเครื่องวัดความชื้นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ที่ตำแหน่ง MA..... 150
4.52	แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายแลค่าที่ได้จากการตรวจ วัดจริงด้วยเครื่องวัดความชื้นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ที่ตำแหน่ง ME..... 151
4.53	แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายแลค่าที่ได้จากการตรวจ วัดจริงด้วยเครื่องวัดความชื้นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ที่ตำแหน่ง PA..... 151
4.54	แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายแลค่าที่ได้จากการตรวจ วัดจริงด้วยเครื่องวัดความชื้นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ที่ตำแหน่ง PE..... 152
4.55	แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายแลค่าที่ได้จากการตรวจ วัดจริงด้วยเครื่องวัดความชื้นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ที่ตำแหน่ง CA..... 152
4.56	แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายแลค่าที่ได้จากการตรวจ วัดจริงด้วยเครื่องวัดความชื้นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ที่ตำแหน่ง CE..... 153

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

JTU	=	หน่วยวัดความขุ่นแจ๊คสัน (Jackson Turbidity Unit)
NTU	=	หน่วยวัดความขุ่นเนเฟโลเมตริก (Nephelometric Turbidity Unit)
SS	=	ค่าปริมาณสารแขวนลอย (น้ำทิ้ง)
MLSS	=	ค่าปริมาณสารแขวนลอย (บ่อเติมอากาศ)
LR	=	สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression)
FIS	=	ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Interfade System)
ANN	=	โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Network)
AS	=	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง
OD	=	คลอจนวนเวียน
ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร
MA	=	น้ำเสียบ่อเติมอากาศ รพ. มหาราช จ. นครราชสีมา
MA1	=	น้ำเสียบ่อเติมอากาศ รพ. มหาราชที่ไม่มีการเจือจาง
MA2	=	น้ำเสียบ่อเติมอากาศ รพ. มหาราชที่เจือจางโดยประมาณร้อยละ 20
MA3	=	น้ำเสียบ่อเติมอากาศ รพ. มหาราชที่เจือจางโดยประมาณร้อยละ 10
MA4	=	น้ำเสียบ่อเติมอากาศ รพ. มหาราชที่เจือจางโดยประมาณร้อยละ 5
MA5	=	น้ำเสียบ่อเติมอากาศ รพ. มหาราชที่เจือจางโดยประมาณร้อยละ 2
MA6	=	น้ำเสียบ่อเติมอากาศ รพ. มหาราชที่เจือจางโดยประมาณร้อยละ 0.1
ME	=	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว รพ. มหาราช จ.นครราชสีมา
ME1	=	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว รพ. มหาราชที่ไม่มีการเจือจาง
ME2	=	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว รพ. มหาราชที่เจือจางโดยประมาณร้อยละ 20
ME3	=	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว รพ. มหาราชที่เจือจางโดยประมาณร้อยละ 10
ME4	=	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว รพ. มหาราชที่เจือจางโดยประมาณร้อยละ 5
ME5	=	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว รพ. มหาราชที่เจือจางโดยประมาณร้อยละ 2
ME6	=	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว รพ. มหาราชที่เจือจางโดยประมาณร้อยละ 0.1
PA	=	น้ำเสียบ่อเติมอากาศรพ.ศูนย์อนามัยที่ 5 จ.นครราชสีมา



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

มก./ล.	=	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)
SE	=	ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
R	=	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
N	=	จำนวนตัวอย่าง
Tur_MA	=	ค่าความขุ่นของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศรพ. มหาราช
Tur_ME	=	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว รพ. มหาราช
Tur_PA	=	ค่าความขุ่นของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศรพ. ศูนย์อนามัยที่ 5
Tur_PE	=	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วรพ. ศูนย์อนามัยที่ 5
Tur_CA	=	ค่าความขุ่นของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศไทยน้ำทิพย์
Tur_CE	=	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วไทยน้ำทิพย์
SS_MA	=	ค่าปริมาณสารแขวนลอยของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศรพ. มหาราช
SS_ME	=	ค่าปริมาณสารแขวนลอยของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว รพ. มหาราช
SS_PA	=	ค่าปริมาณสารแขวนลอยของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศรพ. ศูนย์อนามัยที่ 5
SS_PE	=	ค่าปริมาณสารแขวนลอยของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วรพ. ศูนย์อนามัยที่ 5
SS_CA	=	ค่าปริมาณสารแขวนลอยของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศไทยน้ำทิพย์
SS_CE	=	ค่าปริมาณสารแขวนลอยของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วไทยน้ำทิพย์
T_Colour_MA	=	ค่าสีจริงของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศรพ. มหาราช
T_Colour_ME	=	ค่าสีจริงของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว รพ. มหาราช
T_Colour_PA	=	ค่าสีจริงของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศรพ. ศูนย์อนามัยที่ 5
T_Colour_PE	=	ค่าสีจริงของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วรพ. ศูนย์อนามัยที่ 5
T_Colour_CA	=	ค่าสีจริงของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศไทยน้ำทิพย์
T_Colour_CE	=	ค่าสีจริงของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วไทยน้ำทิพย์
A_Colour_MA	=	ค่าสีปรากฏของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศ รพ. มหาราช
A_Colour_ME	=	ค่าสีปรากฏของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว รพ. มหาราช
A_Colour_PA	=	ค่าสีปรากฏของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศรพ. ศูนย์อนามัยที่ 5
A_Colour_PE	=	ค่าสีปรากฏของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วรพ. ศูนย์อนามัยที่ 5
A_Colour_CA	=	ค่าสีปรากฏของน้ำเสียบ่อเดิมอากาศไทยน้ำทิพย์
A_Colour_CE	=	ค่าสีปรากฏของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วไทยน้ำทิพย์



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Pt-Co	=	หน่วยของสีแพลตตินัม โคบอลต์
X	=	ตัวแปรอิสระ
Y	=	ตัวแปรตาม
RMSE	=	ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน
$\beta$	=	สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน
%	=	ร้อยละ
Sig	=	อย่างมีนัยสำคัญ
R2	=	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
$\eta$	=	อัตราการเรียนรู้
$\alpha$	=	โมเมนตัม
w	=	ค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น
$f$	=	ฟังก์ชันซิกมอยด์
$\sum$	=	ฟังก์ชันผลรวม
MAPE	=	ดัชนีตรวจสอบความถูกต้อง
MF	=	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก
COG	=	ค่าจุดศูนย์ถ่วง

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ความขุ่นเป็นลักษณะสำคัญประการหนึ่งที่บ่งบอกให้ทราบถึงคุณภาพของน้ำไม่ว่าจะเป็นน้ำดื่ม น้ำใช้ น้ำอุปโภคบริโภค ไปจนถึงแหล่งน้ำธรรมชาติ ความขุ่นนั้นเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปจะหมายถึงความสามารถในการส่องผ่านของแสงในน้ำ ถ้าน้ำมีความขุ่นมาก แสงก็จะผ่านได้น้อย และสังเกตได้ด้วยตาเปล่า (United States Environmental Protection Authority, 2004) ความขุ่นเกิดจากสารแขวนลอยจำพวกคอลลอยด์หรือมลทินในน้ำที่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 1-1,000 นาโนเมตร (Brown, Lemay, and Burston, 2005) สารแขวนลอยนี้อาจได้แก่ อนุภาคดินเหนียว สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แพลงก์ตอน หรือ จุลินทรีย์ ถ้าในน้ำมีปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในปริมาณมากเมื่อแสงส่องมากระทบสารแขวนลอยนี้จะทำให้เกิดการหักเหของแสงกระจัดกระจายไปทำให้มองเห็นน้ำมีลักษณะขุ่น ทำให้น้ำนั้นไม่นำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค ทำให้เกิดความน่ารังเกียจและมีผลกระทบต่อระบบการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ เช่น มีผลกระทบต่อระบบการกรองทำให้เครื่องอุดตันและเสียเร็ว และยังส่งผลทำให้คลอรีนไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้

การใช้เครื่องวัดความขุ่นได้มีการพัฒนาในปี ค.ศ.1960 และเริ่มแรกเป็นวิธีการสังเกตด้วยตาเปล่าจนถึงกลางปี ค.ศ. 1980 ได้มีความก้าวหน้าในการออกแบบเครื่องมือที่ใหม่และทันสมัย (Sadar, 2002) เพื่อมาใช้ในตรวจวัดความขุ่น เพื่อควบคุมคุณภาพของน้ำ ในปัจจุบันได้มีเครื่องวัดความขุ่นหลายชนิดที่นำมาใช้ในการหาค่าความขุ่น การออกแบบเครื่องวัดความขุ่นที่แตกต่างกัน การนำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาใส่ในเครื่องวัดความขุ่นจึงมีความแตกต่างกันด้วย แต่การออกแบบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ ถือได้ว่าลดการรบกวนจำพวกสี ฟองอากาศ การหักเหของแสง การดูดซับ และระยะเดินทางของแสง ไม่ว่าจะเป็นการใช้แหล่งกำเนิดแสงและการใช้อุปกรณ์วัดแสง หากพบสิ่งเหล่านี้จะลำบากในการวิเคราะห์ค่าความขุ่นสำหรับการเปรียบเทียบในการตรวจวัดความขุ่น

ความขุ่นของน้ำ มีวิธีตรวจวัดได้หลายแบบเช่นการใช้เทียนแจ็กสัน มีหน่วยวัดเป็น JTU (Jackson Turbidity Unit) วิธีเปรียบเทียบสีกับฟอร์มมาซีนมีหน่วยวัดเป็น FTU (Formazine Turbidity Unit) หรือวิธีเนฟเฟิลโลเมตริก (Nephelometric Method) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการรับรองโดย USEPA (American Public Health Association, 1990) และเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยมีหน่วยการวัดเป็น NTU (Nephelometric Turbidity Unit)

ความขุ่น (Turbidity) และสารแขวนลอย (Suspended Solid : SS) เกิดจากอนุภาคต่าง ๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ สามารถวัดได้ในรูปของค่าความขุ่นและค่าสารแขวนลอย ในการวิเคราะห์น้ำธรรมชาตินิยมวัดค่าความขุ่นมากกว่าวัดปริมาณสารแขวนลอยเนื่องจากสามารถวัดได้ง่ายกว่ามาก (มันสิน ตัณฑุเลศวร, 2543) ตัวอย่างน้ำที่มีค่าความขุ่นมากย่อมมีค่าปริมาณสารแขวนลอยสูงด้วย ในทางตรงกันข้าม น้ำเสียมักมีสารแขวนลอยสูงกว่าน้ำธรรมชาติ

ทั้งนี้ วิธีการวัดพารามิเตอร์ทั้งสองไม่ได้มีหลักการเดียวกัน ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นจึงเป็นแบบนามธรรมและไม่มีอัตราส่วนคงที่ แต่เครื่องวัดความขุ่นสามารถใช้สร้างความสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นในน้ำผิวดินและน้ำธรรมชาติได้ (Packman, Jame, Karen, and Boot, 2000; Pavelich, 2002) และใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับการประเมินคุณภาพน้ำด้วยการใช้วิธีการวัดความขุ่น ซึ่งทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็วและต้นทุนค่าใช้จ่ายมากกว่าการวิเคราะห์หาค่าของแข็งแขวนลอยทั่วไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อประยุกต์วิธีการใช้เครื่องวัดความขุ่นในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษาการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยด้วยเครื่องวัดความขุ่นมีขอบเขตของการศึกษาเป็นการวิจัยเชิงทดลองและวิเคราะห์ผล โดยมีขอบเขตของการศึกษาออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่

1.3.1 ขอบเขตการศึกษาด้านวิธีการ การวิเคราะห์ค่าปริมาณสารแขวนลอยจากวิธีการกรองด้วยกระดาษกรองตามวิธีมาตรฐาน 2540 D. และการวิเคราะห์ค่าความขุ่นจากวิธีการใช้เครื่องวัดความขุ่นด้วยวิธีเนเฟโลเมตริก (Nephelometric Method) ตามวิธีมาตรฐาน 2130 B.

1.3.2 ขอบเขตการศึกษาด้านตัวอย่าง โดยเก็บน้ำตัวอย่างที่เป็นน้ำเสียจาก 3 แห่งด้วยกัน ได้แก่ โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) โดยแบ่งจุดเก็บน้ำตัวอย่างออกเป็นจุดต่าง ๆ คือ บ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

1.3.3 ขอบเขตการศึกษาด้านอุปกรณ์ โดยศึกษาการใช้เครื่องวัดความขุ่น 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N และเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR จากห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และอีกเครื่องเป็นเครื่องวัดความขุ่นขนาดพกพายี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100

1.3.4 ขอบเขตด้านการศึกษาแบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย แบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์และแบบจำลองฟuzzyลอจิก

จากขอบเขตการศึกษานั้น สามารถออกแบบชุดการทดลองในการศึกษาวิจัยกรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรม 1 แห่ง ได้แก่ บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) และกรณีศึกษาของโรงพยาบาลในจังหวัดนครราชสีมา 2 แห่ง แทนน้ำเสียชุมชน ได้แก่ โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา และโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา ในการเก็บน้ำตัวอย่างจากบ่อเดิมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งโดยแบ่งออกชุดการทดลองเป็น 3 ชุด ดังนี้

- 1) ชุดการทดลองที่ 1 การทดลองศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอ่านวัดค่าความขุ่น
- 2) ชุดการทดลองที่ 2 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น
- 3) ชุดการทดลองที่ 3 การทดลองศึกษาอิทธิพลของสีที่มีผลต่อการวัดค่าความขุ่น

## 1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

เครื่องวัดความขุ่นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งได้

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 วิธีการในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งด้วยแบบจำลอง

1.5.2 วิธีการวัดสารแขวนลอยด้วยเครื่องวัดความขุ่นในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

1.5.3 ทราบถึงแบบจำลองที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องวัดความขุ่น

## บทที่ 2

### ปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สารแขวนลอย

สารแขวนลอย หรือของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS) คือสารหรือของแข็ง ส่วนที่ไม่ละลายน้ำ แต่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ทำให้เกิดความขุ่น (Turbidity) ขนาดของอนุภาคสารแขวนลอย จะใหญ่กว่า 0.45 ไมโครเมตรได้แก่เศษอาหารซากสิ่งมีชีวิตและแพลงตอนบางชนิดเป็นต้นของแข็ง ดังกล่าวนี้อาจสามารถตรวจวัดได้โดยการนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระบวนการกรองใยแก้ว (Glass-Fiber Filter) แล้วอบตะกอนที่กรองได้ให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส (APHA, 1998) จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักของกระดาษกรองใยแก้วอีกครั้ง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือปริมาณสารแขวนลอยต่อปริมาตรตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์ หน่วยเป็นน้ำหนัก ต่อปริมาตร เช่น มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น หรือน้ำหนักต่อน้ำหนัก เช่น ส่วนในล้านส่วน เป็นต้น

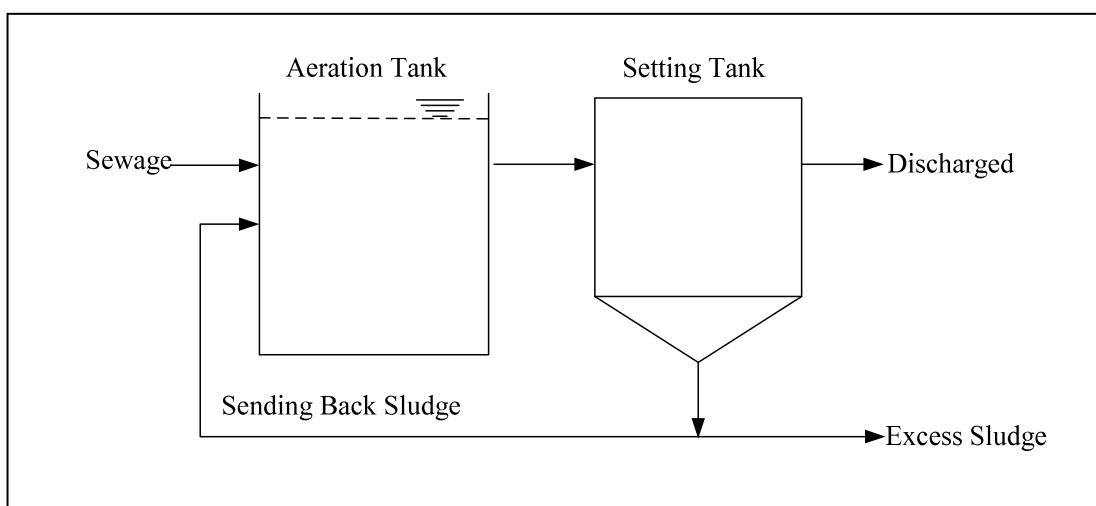
ค่าเอ็มแอลเอสเอส (Mixed Liquor Suspended Solid : MLSS) มีความหมายเดียวกัน กับสารแขวนลอย ค่า MLSS ใช้เป็นพารามิเตอร์ของน้ำตัวอย่างในถังเติมอากาศของระบบตะกอน เร่งหรือระบบแอคติเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge : AS) ทั้งนี้ยังแสดงถึงน้ำหนักของจุลินทรีย์ ในถังเติมอากาศ ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งแบคทีเรียนี้จะ ตกตะกอนจากน้ำเสียในถังตกตะกอนชั้นที่สองเรียกว่าสลัดจ์ แอคติเวทเต็ดสลัดจ์ บางส่วนจะถูกเวียน กลับไปใส่ในถังเติมอากาศ ส่วนที่เหลือจะนำไปกำจัดต่อไป

ดังนั้น สารแขวนลอย(SS)และเอ็มแอลเอสเอส(MLSS) คือปริมาณสารแขวนลอยนั่นเอง แต่ MLSSนั้นจะใช้ในการวิเคราะห์ค่าปริมาณสารแขวนลอยในถังเติมอากาศ ส่วน SSนั้นนิยม นำไปใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสียทั่วไปที่ไม่ใช่ถังเติมอากาศ

##### 2.1.1 ความสำคัญของสารแขวนลอยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน คือระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง หรือระบบเอสดีแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นระบบที่ควบคุมให้ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย ในถังเติมอากาศกล่าวได้ว่าประมาณ 80% หรือมากกว่าระบบแบบชีวภาพเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ตะกอนเร่ง (มันสิน ตันฑุลเสศม์, 2542) ที่มีความนิยมมากในการบำบัดน้ำเสียเพราะมีประสิทธิภาพ ในการบำบัดค่อนข้างสูง น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดจะมีคุณภาพดี น้ำใส แต่การควบคุมระบบบำบัด น้ำเสียจะต้องเอาใจใส่เป็นพิเศษ เพราะต้องควบคุมปริมาณ MLSS และ F/M (อัตราส่วนสารอินทรีย์

ต่อจุลชีพ) ให้ได้ค่อนข้างคงที่และสม่ำเสมอ ถ้ามีการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ดีระบบ อาจจะมีผลรวมทั้งคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วอาจจะไม่คงที่ ส่งผลให้มีค่าปริมาณ สารแขวนลอยในน้ำทิ้งมีค่าสูงเกินมาตรฐาน โดยมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและ นิคมอุตสาหกรรม กำหนดให้มีค่าปริมาณสารแขวนลอยไม่เกิน 50 มก./ล.หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมหรือประเภทของระบบ บำบัดน้ำเสียที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล. (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) ถึงแม้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียนั้นจะได้รับการออกแบบมาแล้วก็ตาม ดังนั้นค่าปริมาณสารแขวนลอย ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมีผลต่อการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบค่าปริมาณสารแขวนลอยในการกำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำ เสียแบบตะกอนเร่ง



รูปที่ 2.1 การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมคุณภาพแหล่งน้ำ ธรรมชาติ เนื่องจากสารแขวนลอยจะกั้นแสงแดดที่ส่องลงมาในน้ำ ส่งผลให้การสังเคราะห์แสงของพืช ในน้ำลดลง เป็นการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำลงอีกทางหนึ่ง ปริมาณสารแขวนลอยเป็นพารามิเตอร์ หนึ่งที่บ่งบอกถึงความสกปรกของน้ำเสีย ตลอดจนบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของหน่วยบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ งานควบคุมความสกปรกของลำธารถือว่าปริมาณสารแขวนลอยเป็นของแข็งตกตะกอนทั้งหมดเพราะ ใช้เวลาในการตกตะกอนไม่จำกัด เนื่องจากการสะสมทับถมกันของของแข็งเกิดขึ้นจากการตกตะกอน ทางชีวะและเคมี ดังนั้นการหาค่าของแข็งแขวนลอยจึงสำคัญเท่า ๆ กันกับค่าบีโอดี (BOD)

ตารางที่ 2.1 ค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งชนิดธรรมดาไหลตามกัน

ค่าในการออกแบบ	ค่าที่แนะนำ
	ช่วง
อัตราส่วนของอาหารต่อตะกอนจุลินทรีย์(F/M),กก.บีโอดี/กก.MLVSS-วัน	0.2-0.4
อายุตะกอนจุลินทรีย์ ( $\theta_c$ ),(วัน)	5-15
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์(OLR),(กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	0.3-0.6
ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน (MLSS),(มก./ล.)	1,500-3,000
เวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT),(ชม.)	4-8
อัตราการสูบกลับตะกอน ( $Q_r/Q$ ),(%ของน้ำเสียที่เข้าระบบ)	0.25-1.0
ความต้องการออกซิเจน (กก.ออกซิเจน/บีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.8-1.1
ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี (%)	85-95

หมายเหตุ : สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบค่าปริมาณสารแขวนลอยในการกำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ชนิดระบบบำบัดน้ำเสีย	ช่วงค่าแนะนำ
แบบธรรมดาไหลตามกัน (Conventional Plug-Flow)	1,500 – 3,000
แบบผสมสมบูรณ์ (Complete-Mix)	2,500 – 4,000
แบบป้อนน้ำเสียแบบเป็นขั้น (Step-Feed)	2,000 – 3,500
แบบเติมอากาศแบบคัดแปร (Modified Aeration)	200 - 1,000
แบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization)	
- ในถังสัมผัส	1,000 - 3,000
- ในถังปรับเสถียร	4,000 - 10,000
แบบเติมอากาศยืดเวลา (Extended Aeration)	3,000 - 6,000
แบบเติมอากาศด้วยอัตราเร็ว (High-Rate Aeration)	4,000 - 10,000
แบบกระบวนการแบบเคราส์ (Kraus Process)	2,000 - 3,000
แบบออกซิเจนบริสุทธิ์ (High-Purity Oxygen)	2,000 - 8,000
แบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch)	3,000 - 6,000
แบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor,SBR)	1,500 - 5,000

หมายเหตุ:สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่่งนั้น เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้แบคทีเรียกลุ่มใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน โดยถังเติมอากาศจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย ในตะกอนเร่่งจะประกอบด้วยจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียในปริมาณสูง ตะกอนจุลินทรีย์จะอยู่ในลักษณะแขวนลอย มีสีน้ำตาลเข้มเรียกว่าฟล็อก ในระบบตะกอนเร่่งจะประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิดที่สำคัญคือ

1) แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่มีปริมาณมากที่สุดและมีบทบาทสำคัญที่สุดในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยสามารถจำแนกแบคทีเรียออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- แบคทีเรียกลุ่มที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำเสีย (Floc-forming Bacteria) ซึ่งจะประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นแท่ง กลม หรือเป็นเกลียว

- แบคทีเรียที่มีเส้นสาย (Filamentous Bacteria) จะเป็นแบคทีเรียที่ช่วยทำให้เกิดฟล็อกแต่ถ้ามีการเจริญมากเกินไปจะก่อให้เกิดสลัดจ์อัดหรือสภาพที่สลัดจ์มีความหนาแน่นต่ำและไม่จมตัว หากกระบวนการที่ทำให้จุลินทรีย์ในถังตกตะกอนไม่เกิดการตกตะกอน จะก่อให้เกิดปัญหาน้ำทิ้งที่มีความขุ่น

นอกจากนั้นยังมีแบคทีเรียบางกลุ่มที่นำไปใช้เป็นตัวบ่งชี้สมบัติของถังเติมอากาศ คือแบคทีเรียกลุ่มสไปโรคิดซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน

2) โพรโทซัว (Protozoa) เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่งของระบบตะกอนเร่่งเพราะเป็นจุลินทรีย์ที่เก็บกินแบคทีเรียทำให้สามารถควบคุมปริมาณของแบคทีเรียให้มีปริมาณที่เหมาะสมในถังเติมอากาศ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการเก็บกินอนุภาคต่าง ๆ โดยส่วนใหญ่โพรโทซัวที่พบได้ในถังเติมอากาศของระบบตะกอนเร่่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

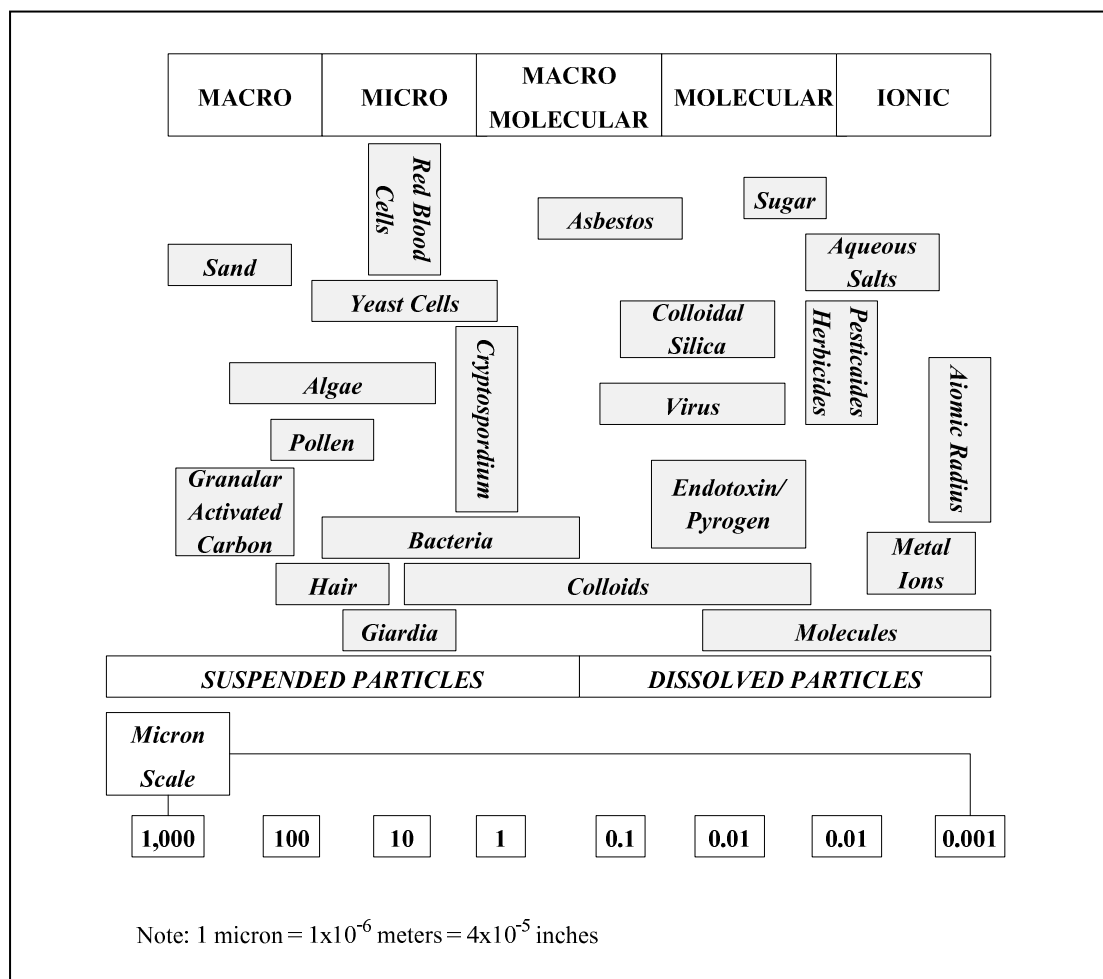
- โพรโทซัวกลุ่มซาร์โคดีนา (Sarcodina)
- โพรโทซัวกลุ่มแฟลเจลลตาตา (Flagellata)
- โพรโทซัวกลุ่มซิลิเอตา (Ciliata) คือโพรโทซัวที่มีซีเลีย

3) ไวรัส (Virus) เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กที่สุดที่พบได้ในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่่งและมีปริมาณไม่มากเท่ากับแบคทีเรียและโพรโทซัว อย่างไรก็ตาม ปริมาณของไวรัสขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำเสียด้วย น้ำเสียชุมชนมักจะมีปริมาณของไวรัสสูงกว่าแหล่งน้ำเสียอื่น ๆ

4) โรติเฟอร์ (Rotifers) เป็นสัตว์หลายเซลล์ที่มีซีเลียสำหรับเคลื่อนที่และจับอาหาร เป็นสัตว์ที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดนั้นมีประสิทธิภาพที่ดี



ในถังเติมอากาศของตะกอนเร่งปริมาณสารอาหารในน้ำเสียเข้าจะมีสารปนเปื้อนพบได้หลายรูปแบบในน้ำเสีย เช่น รูปที่ละลายน้ำ คอลลอยด์ และอยู่ในรูปของอนุภาค โดยขนาดของอนุภาคได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขนาดของอนุภาค (USEPA, 2004)

### 2.1.2 การตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอย

ปริมาณสารแขวนลอยมักใช้เป็นพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ระบบบำบัดน้ำเสียในด้านระบบประปาจะไม่นิยมนำมาใช้เนื่องจากให้ค่าปริมาณสารแขวนลอยที่มีค่าน้อยมาก ตามมาตรฐานการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอย ด้วยวิธี Standard Method 2540D (APHA, 1998) ค่าปริมาณสารแขวนลอยสามารถวิเคราะห์ได้โดยการนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Glass-Fiber Filter) แล้วอบตะกอนที่กรองได้ให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศา

เซลล์พืช จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักของกระดาษกรองใยแก้วอีกครั้ง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือปริมาณสารแขวนลอยต่อปริมาตรตัวอย่างที่ตรวจมระเหย หน่วยเป็นน้ำหนักต่อปริมาตร

## 2.2 ความขุ่น

ความขุ่น (Turbidity) หมายถึงของแข็งแขวนลอยที่กั้นทางเดินของแสงผ่านมายังน้ำ เป็นผลทำให้การมองเห็นในน้ำมีระยะจำกัด โดยส่วนมากความขุ่นในน้ำจะมีขนาดตั้งแต่ 0.002 – 0.005 มิลลิเมตร ซึ่งเกิดจากสารแขวนลอยนานาชนิดที่มีขนาดแตกต่างกัน (APHA, 1998) เช่น ดินละเอียด อินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร แพลงตอน และสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ (Microscopic Organism) ความขุ่นมักเกิดจากคอลลอยด์ (Colloid) กระจายอยู่ในน้ำ อาจจะมีขนาดตั้งแต่คอลลอยด์คอลลี ซึ่งละเอียดมากจนกระทั่งถึงหยาบ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความขุ่น จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.001 ถึง 1 ไมครอน สารเหล่านี้จะทำให้เกิดการกระจัดกระจาย (Scattered) และดูดกลืน (Absorbed) ของแสง แทนที่จะปล่อยให้แสงผ่านไปเป็นเส้นตรง

### 2.2.1 ความสำคัญของความขุ่นต่อระบบประปา

ความขุ่นของน้ำจะเกิดจากสารแขวนลอยต่าง ๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำดูไม่ใสสะอาด ไม่น่าใช้ พวกสารแขวนลอยสามารถเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพวกจุลินทรีย์ ความขุ่นของน้ำถือว่ามีค่าสำคัญหลายอย่าง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) มีสภาพไม่น่าใช้
- 2) ทำให้ประสิทธิภาพของคลอรีนมีลดลง เพราะจุลชีพอาจแทรกอยู่ภายในสารแขวนลอย ทำให้คลอรีนอาจเข้าไปไม่ถึงตัวจุลชีพ
- 3) สารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ ซึ่งโดยมากเป็นสารอินทรีย์ที่จะทำปฏิกิริยากับคลอรีนทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes) ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มมากที่จะก่อให้เกิดมะเร็งในร่างกายมนุษย์
- 4) อาจเป็นตัวที่พาหรือเก็บสะสมสารพิษอันตรายได้ เช่น โลหะหนักต่าง ๆ

ขนาดของสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของน้ำ ยกตัวอย่างเช่น กรณีของอ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ หรือแหล่งน้ำที่อยู่ในสภาวะสงบนิ่ง ซึ่งสารแขวนลอยขนาดใหญ่จะตกตะกอนในแหล่งน้ำประเภทนี้ ทำให้เหลือแต่สารแขวนลอยขนาดเล็กเสมอ แต่ในกรณีของแม่น้ำในฤดูน้ำหลาก น้ำท่วม หรือกระแสน้ำที่รุนแรงและปั่นป่วน ความขุ่นก็อาจเกิดจากสารแขวนลอยขนาดใหญ่ ความขุ่นสามารถสังเกตได้ง่าย น้ำขุ่นทำให้น่าใช้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นในการตัดสินใจว่า ผู้บริโภคต้องการใช้น้ำหรือไม่และยังเป็นอุปสรรคต่อการฆ่าเชื้อโรคในการผลิตน้ำประปา เพราะเชื้อโรคอาจแฝงตัวหลบซ่อนอยู่กับความขุ่นได้ นอกจากนี้ยังทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการกรองน้ำ และ

ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำและการกักกรองของดิน และองค์การอนามัยโลกกำหนดว่าน้ำบริโภคนั้นควรมีความขุ่นที่ยอมรับได้ไม่เกิน 5 NTU และเสนอว่าถ้าต้องการให้การทำลายเชื้อโรคมีประสิทธิภาพสูงสุด น้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตควรจะมีค่าความขุ่นไม่เกิน 0.1 NTU (World Health Organization, 2006) ในประเทศไทยนั้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมน้ำบริโภคต้องมีความขุ่นไม่เกิน 5 NTU และมีค่าความขุ่นที่ยอมรับได้สูงสุดไม่เกิน 25 NTU เช่นเดียวกัน (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ความขุ่นในน้ำนั้นเป็นคุณสมบัติหรือพารามิเตอร์ที่สำคัญเป็นอันดับแรกในกระบวนการหรือระบบผลิตน้ำประปา การควบคุมคุณภาพของน้ำประปาที่ผลิตนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องควบคุมค่าของความขุ่นให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนดและความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและค่าปริมาตรแขวนลอยไม่มีอัตราส่วนคงที่ เช่น ไม่สามารถกล่าวได้ว่า ความขุ่น 1 NTU จะเท่ากับของแข็งแขวนลอย 1 มก./ล. ซึ่งค่าความขุ่นสามารถวัดได้ง่ายแต่ไม่สามารถนำไปคำนวณเป็นปริมาตรหรือมวลของของแข็งแขวนลอยได้ (มันสิน ตันทุลเวศม์ และมันรักษ์ ตันทุลเวศม์, 2547)

## 2.2.2 วิธีการตรวจวัดความขุ่น

การวัดความขุ่นของน้ำแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือวิธีแรกเป็นวิธีการตรวจวัดความขุ่นด้วยวิธีการเปรียบเทียบกับสายตา (Visual Method) และวิธีที่สองเป็นวิธีการตรวจวัดความขุ่นด้วยวิธีเนเฟโลเมตริก (Nephelometric Method) โดยมีรายละเอียดของวิธีการตรวจวัดความขุ่น ดังนี้

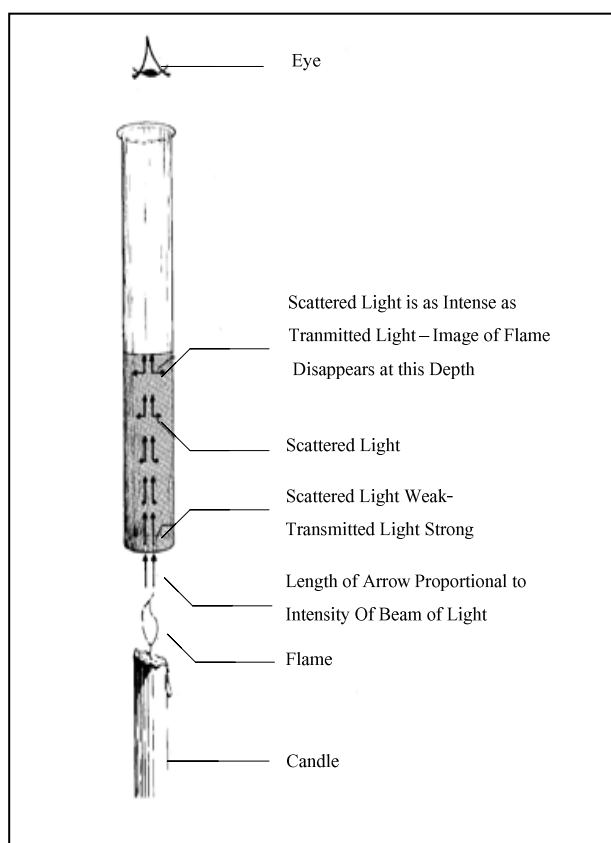
### 2.2.2.1 วิธีเปรียบเทียบกับตา (Visual Method)

เป็นวิธีที่วัดความขุ่นของน้ำ โดยการให้แสงสีขาวส่องผ่านตัวอย่างน้ำแล้วเปรียบเทียบกับแสงซึ่งส่องผ่านสารละลายความขุ่นมาตรฐาน (Standard Suspension) วิธีนี้เป็นการวัดผลของแสงที่ผ่านออกมา (Transmission of Light) เครื่องมือวัดความขุ่นด้วยวิธีนี้ได้แก่ แจ็คสันแคนเดิลเทอบิดิเตอร์ (Jackson Candle Turbidimeter) และขวดมาตรฐาน (Standard Bottle) โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 1) แจ็คสันแคนเดิลเทอบิดิเตอร์ (Jackson Candle Turbidimeter)

เป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับหาค่าความขุ่น ประกอบด้วย หลอด แจ็คสัน ขาดั่ง และเทียบมาตรฐาน หลอดแจ็คสันเป็นหลอดแก้วทรงกระบอกก้นแบน ข้างหลอดมีขีดบอกความสูงเป็นเซนติเมตร ระยะจากก้นหลอดถึงขีดสูงสุดของตัวอย่างน้ำในหลอดแก้วที่ทำให้แสงของเปลวเทียนมาตรฐานหายไปพอดีเรียกว่าความยาวแสง (Light Path) ดังแสดงวิธีการวัดความขุ่นในรูปที่ 2.3 จากค่าที่ได้ก็นำไปเปรียบเทียบกับอ่านค่าความขุ่นของน้ำได้จากตารางมาตรฐาน หลอดแจ็คสันมี 2 ชนิดคือสั้นและยาว ชนิดสั้น (Short Tube) ให้หาค่าความขุ่นตั้งแต่ 100-1000 แจ็คสันเทอบิดิทียูนิทหรือเจทียู (Jackson Turbidity Unit, JTU) ส่วน ชนิดยาว (Long Tube) ให้หาค่าความขุ่นตั้งแต่ 25-1000 เจทียู ค่าความขุ่นที่วัดได้จากเครื่องมือชนิดนี้สามารถวัดได้ต่ำสุดที่ค่าความ

ขุ่น 25 JTU เพราะค่าความขุ่นของน้ำที่บำบัดโดยผ่านการแยกชั้นตกลงในช่วง 1 ถึง 1 หน่วย (EPA, 1999) ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีความขุ่นมากกว่า 1000 เจทียู ต้องทำการเจือจางก่อนนำมาวัด สำหรับเทียบมาตรฐานจะทำมาจากซีฟิ่งกับไขปลาวาฬ มีอัตราการเผาไหม้ 114-120 เกรน/ชั่วโมง ตั้งประกอบด้วยที่สำหรับใส่หลอดแจ็กสันข้างบนและที่สำหรับวางเทียบมาตรฐานข้างล่าง ซึ่งจะมีสปริงอยู่ข้างใต้ทำหน้าที่ดันให้ปลายเทียนห่างจากกันตลอดแก้ว 7.6 เซนติเมตรเสมอ



รูปที่ 2.3 วิธีวัดความขุ่นด้วยวิธีแจ็กสันแคนเดิลเทอบิคิมิเตอร์ (Sadar, 1998)

## 2) ขวดมาตรฐาน (Standard Bottle)

ใช้วัดค่าความขุ่นตั้งแต่ 5-100 เจทียู โดยเปรียบเทียบกับสารละลายที่เตรียมไว้ ในการเปรียบเทียบต้องใช้ขวดชนิดเดียวกัน (1 ลิตร) ทั้งของสารละลายมาตรฐานและตัวอย่าง โดยจะเตรียมไว้ใส่ในขวดพร้อมจุกแก้ว สารละลายค่าความขุ่นมาตรฐานที่ใช้ในวิธีนี้ ต้องใช้วัดด้วยแจ็กสันแคนเดิลเทอบิคิมิเตอร์ก่อน ปกติใช้สารละลายสต็อกความขุ่นมาตรฐานที่มีค่าความขุ่นเท่ากับ 100 เจทียู แล้วทำการเจือจางจนได้เป็นอนุกรมค่าความขุ่นต่างๆ กัน ข้อเสีย

ของวิธีนี้คือ ต้องเปลี่ยนสารละลายความขุ่นมาตรฐานบ่อย ๆ เพราะการเปลี่ยนแปลงของขนาดและจำนวนอนุภาค ต้องควบคุมการเจริญเติบโตทางชีวะด้วยเมอคิวริกคลอไรด์ ( $HgCl_2$ ) ในการวิเคราะห์หาความขุ่น ควรทำการวิเคราะห์ทันทีเมื่อเก็บตัวอย่างมา ถ้าเก็บไว้เกิน 24 ชั่วโมง ต้องใส่เมอคิวริกคลอไรด์ ( $HgCl_2$ ) กรัมต่อตัวอย่าง 1 ลิตร เก็บไว้ในตู้เย็น และต้องเขย่าตัวอย่างให้เข้ากันก่อนทำการวิเคราะห์ อาจใช้สเปกโทรโฟโตมิเตอร์หรือโฟโตมิเตอร์แทนเทอร์บิดิมิเตอร์ (Turbidimeter) ความยาวคลื่นที่ใช้ในการวัดความขุ่นนั้นให้ใช้ที่ 420 nm

### 2.2.1.2 วิธีเนเฟโลเมตริก (Nephelometric Method)

เป็นวิธีวัดความขุ่นของน้ำ โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของแสงที่กระเจิงไปยังน้ำตัวอย่างกับของสารละลายมาตรฐานภายใต้สภาวะที่เหมือนกัน ความเข้มข้นของแสงที่กระจัดกระจายเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างก็จะมีค่าความขุ่นเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น โดยวิธีนี้แสงจะถูกปล่อยให้กระทบตัวอย่างน้ำ เป็นมุมฉากกับตาผู้สังเกตหรือโฟโตอิเล็กทริกเซลล์ (Photoelectric Cell) กับเครื่องมือ แสงซึ่งสะท้อนสารแขวนลอยในน้ำตัวอย่างจะถูกรวบรวมโดยรีเฟลคเตอร์ (Reflector) และบันทึกไว้ หลักการนี้ใช้ได้กับการวัดความขุ่นต่ำ ๆ และเพียงความขุ่นน้อยก็ทำให้เกิดการกระจัดกระจายของแสงได้ วิธีเนเฟโลเมตริกนี้อาจนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการวัดอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ด้วย

สำหรับสารละลายความขุ่นมาตรฐานนั้น เลือกใช้ฟอร์มามซิน โพลิเมอร์ (Formazine Polymer) เพราะเตรียมง่ายและให้ค่าความขุ่นที่เชื่อถือได้ ฟอร์มามซิน โพลิเมอร์นี้ประกอบด้วยสารละลาย 2 ชนิดคือ ไฮดราซีนซัลเฟต และเฮกซามีนธาลอสเตตรามีน สารละลายที่เตรียมได้จะมีความขุ่นสูง เพราะจะใช้เป็นสารละลายสต็อก เช่น 4000 เนเฟโลเมตริกเทอบิดิตียูนิท หรือ เอนทียู (Nephelometric Turbidity Unit, NTU) เมื่อนำสารละลายสต็อกนี้มาเจือจางจนได้อนุกรมค่าความขุ่นเท่าที่ต้องการ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความขุ่นที่วัดได้จากวิธีเนเฟโลเมตริกและวิธีแจ็กสันแคนเดิลเทอบิดิตี จะพบว่าความขุ่นที่วัดเป็น NTU นี้จะใกล้เคียงมากกับค่าที่วัดได้ด้วยวิธีแจ็กสันแคนเดิลเทอบิดิตีจึงถือว่าค่าที่วัดได้โดยวิธีนี้ประมาณได้ว่าเท่ากับ JTU แต่ไม่ใช่ตัวเลขเดียวกัน เนื่องจากความแตกต่างกันของหลักการที่ใช้ในการวัดทำให้ค่าที่อ่านได้จากทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาแตกต่างกัน ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคที่ทำให้เกิดความขุ่น ดังนั้น ให้ใช้หน่วย NTU สำหรับค่าที่อ่านได้จากเครื่องเนเฟโลมิเตอร์ และใช้หน่วย JTU สำหรับค่าที่อ่านได้จากวิธีเปรียบเทียบด้วยตา

ในปัจจุบันนี้นิยมใช้วิธีเนเฟโลเมตริกเป็นเครื่องมือวัดโดยมีหน่วย NTU เพราะเป็นเครื่องมือวัดที่ง่ายและได้ผลรวดเร็ว (APHA, 1998) ความขุ่นที่มีวัดค่าได้ต่ำ 5 NTU จะพบสารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดการหักเหของแสง มีฟองอากาศ ที่ขัดขวางทางเดินของแสงและเกิดการปนเปื้อน

การทดสอบความขุ่นที่วัดได้สูง เกินกว่า 5 NTU จะพบสารแขวนลอยจำพวกสี การดูดซับอนุภาค และความหนาแน่นของอนุภาคที่ทำให้สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Sadar, 2002) ดังสรุปได้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงสารรบกวนที่มีผลต่อการวัดค่าความขุ่นในน้ำ

สารรบกวน	ผลกระทบต่อการตรวจวัด
การดูดซับสีของอนุภาค	ความโน้มเอียงไปในเชิงลบต่ำกว่าค่าความขุ่นจริง
สี	ความโน้มเอียงไปในเชิงลบ ถ้าความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบเกิดซ้อนทับกัน ทำให้เกิดการดูดกลืนคลื่นแสงในตัวอย่าง
ขนาดของอนุภาค	ความโน้มเอียงไปในทั้งเชิงบวกและเชิงลบ (โดยขึ้นกับความยาวคลื่น) <ul style="list-style-type: none"> <li>• ขนาดของอนุภาคใหญ่ ความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบจะยาวกว่าขนาดอนุภาคเล็ก</li> <li>• ขนาดของอนุภาคเล็ก ความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบจะสั้น</li> </ul>
ทางเดินของแสง	ความโน้มเอียงไปในเชิงบวก ให้ค่าความขุ่นสูงกว่าค่าความขุ่นจริง
ความหนาแน่นของอนุภาค	ความโน้มเอียงไปในเชิงลบ ให้ค่าความขุ่นต่ำกว่าค่าความขุ่นจริง
การปนเปื้อน	ความโน้มเอียงไปในเชิงบวก ให้ค่าความขุ่นสูงกว่าค่าความขุ่นจริง

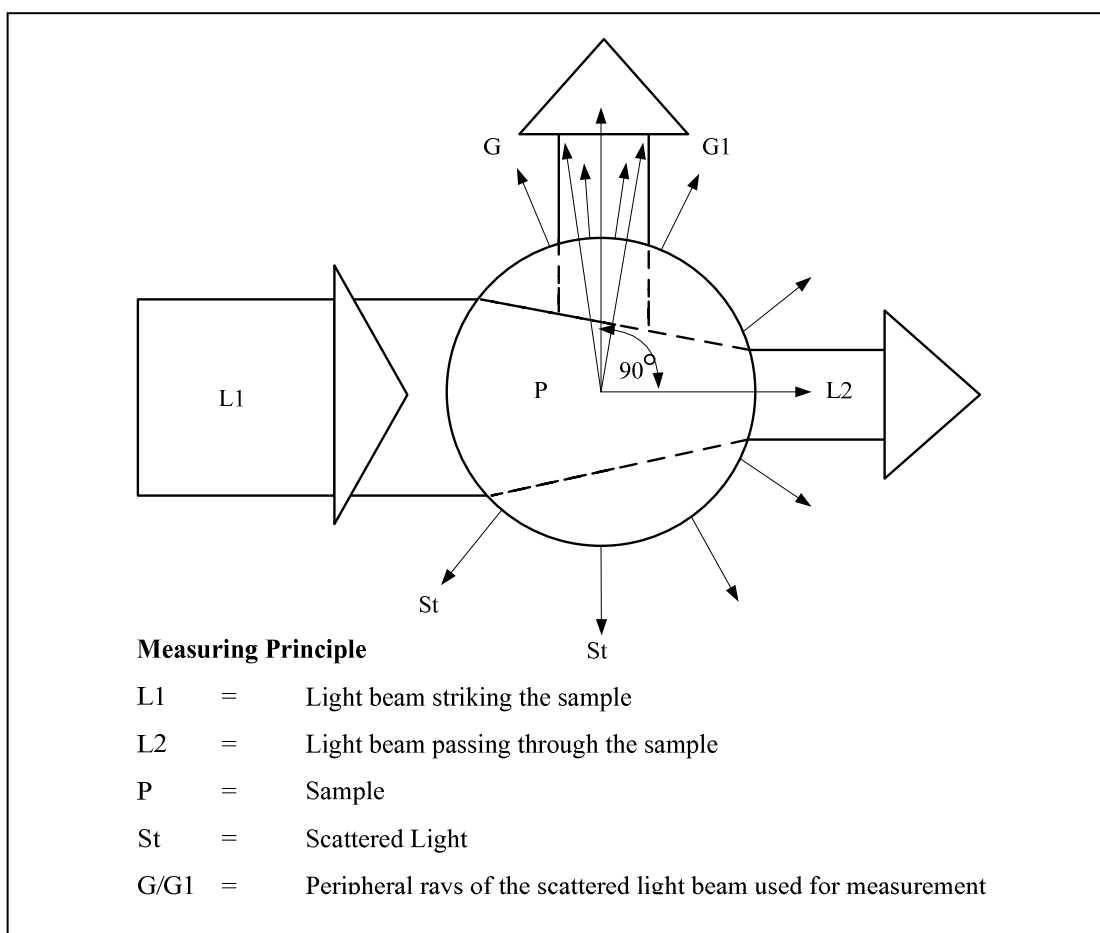
หมายเหตุ : Sadar (2002)

## 2.3 หลักการตรวจวัดความขุ่น

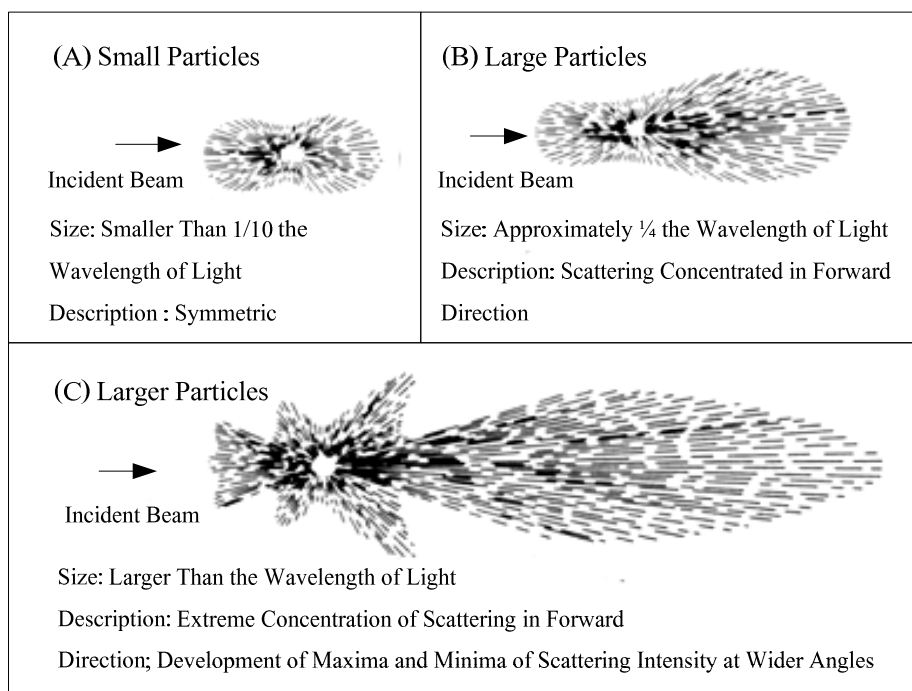
ตาม EPA Method 180.1 (EPA, 1993) และ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998) ได้นิยามความขุ่นไว้ว่าเป็น “คุณสมบัติของน้ำในการกระจายหรือดูดกลืนแสง เมื่อเทียบกับการให้แสงส่องผ่าน” น้ำที่มีการส่องผ่านของแสงได้ ซึ่งทำให้เกิดการเดินทางของลำแสงเป็นระเบียบ แต่หากมีโมเลกุลในของเหลวการเดินทางของแสงก็จะผิดแปลกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เมื่อแสงผ่านเข้ามาในของเหลวที่มีสารแขวนลอย เมื่อลำแสงได้กระทบกับอนุภาค และทำให้อนุภาคเกิดการดูดซับพลังงานแสงไว้ และปล่อยแสงออกมาทุกทิศทาง ซึ่งขนาดของอนุภาค องค์ประกอบต่าง ๆ สี และดัชนีการหักเหมีผลต่อค่าการกระเจิงของแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าคลื่นแสงที่ตกกระทบ (หน่วยเป็นนาโนเมตร) อย่างไรก็ตาม อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบ การกระเจิงของแสงจะไป ในทิศทางด้านหน้ามากกว่าด้านอื่น ๆ รูปแบบการกระเจิงและความเข้มของลำแสงที่ผ่านเข้าไปยัง ตัวอย่าง ทำให้อนุภาคดูดกลืนความยาวคลื่นแสงไว้ที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน อนุภาคที่มีขนาดเล็กสามารถเกิดการกระเจิงแสงได้ดีกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ และแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น

จะเกิดการกระเจิงแสงได้ดีกว่าความยาวคลื่นแสงที่ยาว (Pérez Vega, Fernández, García, Baro and Cárcel, 2008)

การกระเจิงของแสงไปยังอนุภาคที่ขนาดแตกต่างกัน จะมีทิศทางของลำแสงไปข้างหน้าที่แตกต่างกันด้วย และผลของการวัดค่าการส่องผ่านของแสงที่ผ่านไปยังน้ำตัวอย่างนั้นก็แตกต่างกัน อธิบายได้ว่า ที่ความขุ่นจำนวนน้อยจะมีความเข้มของแสงน้อยและสังเกตเห็นได้ยาก และที่ความขุ่นสูงการส่องผ่านของแสงไปยังอนุภาคจะมีกระเจิงของแสงในหลายทิศทาง



รูปที่ 2.4 การกระเจิงของแสงในทิศทาง 90 องศา (Sadar, 1996)



รูปที่ 2.5 ขนาดอนุภาคต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกระเจิงของแสง (Sadar, 1996)

## 2.4 เครื่องมือวัดความขุ่น

เครื่องมือวัดความขุ่น ได้มีการพัฒนาในปี ค.ศ.1960 และเริ่มแรกมีการสังเกตด้วยตาจนถึงกลางปี ค.ศ. 1980 (Sadar,2002) ได้มีความก้าวหน้าในการออกแบบเครื่องมือที่ใหม่และทันสมัย เพื่อใช้ค่าความขุ่นเป็นพารามิเตอร์ในการประเมินคุณภาพน้ำ และในการพัฒนาการออกแบบเครื่องมือวัดความขุ่นในการนำมาใช้งาน ได้มีหลายแบบ แต่ด้วยเทคโนโลยีที่แตกต่างกันความแตกต่างของการใช้แหล่งกำเนิดแสง และการออกแบบอุปกรณ์รับแสงจึงต่างกัน แต่การออกแบบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ นี้ ถือได้ว่าช่วยลดการรบกวนจากพวกสี ฟองอากาศ การหักเหของแสง การดูดซับ และ ระยะเดินทางของแสง ซึ่งเมื่อพบเจอสิ่งเหล่านี้ในการวิเคราะห์ความขุ่นจะส่งผลให้ค่าความขุ่นที่ได้ไม่แม่นยำ และไม่สามารถนำไปใช้การเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความขุ่นได้จริงในการตรวจวัด

### 2.4.1 มาตรฐานการออกแบบเครื่องมือวัดความขุ่น

มาตรฐานการออกแบบเครื่องมือวัดความขุ่นได้แบ่งออกเป็น 3 มาตรฐาน ดังนี้

- 1) USEPA method 180.1 (U.S. Environmental Protection Agency, 1979)
- 2) ISO 7027 (International Organization for Standardization, 1999) และ
- 3) GLI method 2 (Great Lakes Instruments, Inc., 1992)



สำหรับการออกแบบการใช้แหล่งกำเนิดแสง ความยาวคลื่น และความเหมาะสมต่อการนำมาตรฐานไปใช้วัดในน้ำแต่ละชนิดจะมีมาตรฐานการออกแบบเพื่อตรวจวัดความขุ่นแตกต่างกัน (Ziegler, 2002) ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 2.4 ซึ่งช่วงค่าความขุ่นในแต่ละมาตรฐานนั้นจะมีช่วงระยะของความขุ่นที่ไม่กว้างเมื่อเทียบกับการวัดความขุ่นทั่วไปที่ใช้ในภาคสนาม

เครื่องวัดความขุ่นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป จะใช้หลักการออกแบบตามมาตรฐานของ EPA Method 180.1 (Appendix C) ได้กล่าวถึงมาตรฐานการออกแบบเครื่องวัดความขุ่น ดังนี้

- แหล่งกำเนิดแสง หลอดทังสเตนที่ให้อุณหภูมิตั้งแสดงระหว่าง 2,200 – 3,000 องศาเซลเซียส
- ช่วงระยะของแสงที่ตกกระทบและแสงที่กระจายออกจากน้ำต้องไม่เกิน 10 เซนติเมตร
- อุปกรณ์วัดแสง บริเวณกึ่งกลางทำมุม 90 องศา กับแนวแสงส่องเข้าหาหน้า และทั้งหมดเอียงไม่เกิน  $\pm 30$  องศา อุปกรณ์รับแสงและตัวกรองต้องทำงานได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400 – 600 นาโนเมตร

ในขณะที่ GLI Method 2 (Great Lakes Instruments) ได้มีความคล้ายคลึงกันกับ EPA Standard 180.1 ซึ่งให้ช่วงของค่าความขุ่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0-40 NTU ถ้าช่วงความขุ่นสูงต้องใช้วิธีการเจือจางน้ำตัวอย่างให้สามารถวัดค่าได้ ซึ่ง GLI Method 2 ได้ใช้วิธีตามเนฟโลเมตริกตามมาตรฐานได้กำหนดให้มีแหล่งกำเนิดแสง 2 ชุด และมีอุปกรณ์วัดแสง 2 ชุด ทำมุมกัน 90 องศา ติดตั้งอยู่ทั้งสองข้างของหลอดบรรจุตัวอย่าง ซึ่งเรียกว่าการออกแบบด้วยสี่ลำแสง (Modulate Four Beam Design) เพื่อช่วยลดความผิดพลาดของสัญญาณให้น้อยลง ซึ่งข้อกำหนดของ GLI Method 2 มีดังนี้

- 1) แหล่งกำเนิดแสงมีความยาวคลื่น 860 นาโนเมตร
- 2) รัศมีของสเปคตรัมต้องน้อยหรือไม่เกิน 60 นาโนเมตร
- 3) รั้งสีตกกระทบต้องขนานและเอียงทำมุมเข้าหากันไม่เกิน 1.5 องศา
- 4) ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง 2 ชุด และตัวรับแสง 2 ชุด
- 5) มุมที่ได้จากการวัดของรั้งสีตกกระทบและรั้งสีสะท้อนในตัวอย่างที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงทำมุม  $90 \pm 2.5$  องศา

มาตรฐาน ISO 7027 ยังไม่เป็นที่ยอมรับของ EPA ซึ่งมาตรฐานนี้ได้ให้ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบเครื่องมือวัดความขุ่น ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ผู้ผลิตเครื่องมือต้องทำตามอย่างเคร่งครัดเพื่อความแม่นยำดังนี้

- 1) แหล่งกำเนิดแสงมีความยาวคลื่น 860 นาโนเมตร

- 2) รัศมีของสเปคตรัมต้องน้อยหรือไม่เกิน 60 นาโนเมตร
- 3) รั้งสีตกกระทบต้องขนานและเอียงทำมุมเข้าหากันไม่เกิน 2.5 องศา
- 4) มุมที่จะวัดต้องได้ไม่เกิน  $90 \pm 2.5$  องศา
- 5) มุมรับแสงในตัวอย่งนั้นต้องอยู่ในช่วงระหว่าง 20 และ 30 องศา

ตารางที่ 2.4 ตารางเปรียบเทียบวิธีการวัดความขุ่นด้วยมาตรฐานที่ต่างกัน

Characteristic	Usepa Method 180.1 (Nonratio Mode)	ISO Method 7027 (Diffuse Radiation)	ISO Method 7027 (Attenuated Radiation)	GLI Method 2
Use Of Data	Drinking Water	Drinking Water	Wastewater	Drinking Water
Range Of Method	0-40 NTU (Dilution Permitted)	0-40 FTU (Diluted Permitted)	40-4000 FAU	Photodiode
Wavelength	400-600 Nm.	860 Nm.	860 Nm.	860 Nm.
Spectral Bandwidth	Not Specified	60 Nm	60 Nm	60 Nm
Detector Orientation	90 +/- 30 Degrees	90 +/- 2.5 Degrees	90 +/- 2.5 Degrees	Two Source. Two Detector At 90 +/- 2.5 Degrees
Aperture Angle	Not Specified	20-30 Degrees	20-30 Degrees	Unknown
Path Length	Less Than 10 Cm	Less Than 10 Cm	Less Than 10 Cm	Less Than 10 Cm
Primary Standard	Formazin Polymer	Formazin Polymer	Formazin Polymer	Formazin Polymer
Secondary Standards	Polymer Micropheres	Polymer Micropheres	Polymer Microspheres. Cubes. Or Filaments	Polymer Micropheres

หมายเหตุ : Ziegler (2002)

## 2.4.2 อุปกรณ์และส่วนประกอบที่สำคัญ

### 2.4.2.1 แหล่งกำเนิดแสง(Light Source)

แหล่งกำเนิดแสงโดยทั่วไปส่วนใหญ่ใช้ หลอดไฟทังสเตน ซึ่งแทนสเปกตรัมหรือช่วงความยาวคลื่นด้วยค่าอุณหภูมิสี (Colour Temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่วัสดุสีดำจะเปล่งแสงให้สีที่เป็นสีเฉพาะ หลอดไฟทังสเตนนี้เป็นหลอดที่ให้แสงสว่างที่มีความยาวคลื่นหลายสี หรือที่เรียกว่า “Polychromatic” เนื่องจากให้ช่วงความยาวคลื่นที่กว้างและให้ความยาวคลื่นหลายช่วงหรือหลายสี

หลอดไฟทังสเตนนี้ยังขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์จะให้กระแสไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นแสงคงที่ หลอดไฟที่ให้แสงสว่างนั้นถ้าเกิดแสงที่ออกมานั้นมีความเข้มแสงค่อยๆลดน้อยลง จำเป็นต้องมีการปรับเทียบ (Calibration) ความสามารถในการตรวจวัดความขุ่นเป็นระยะ

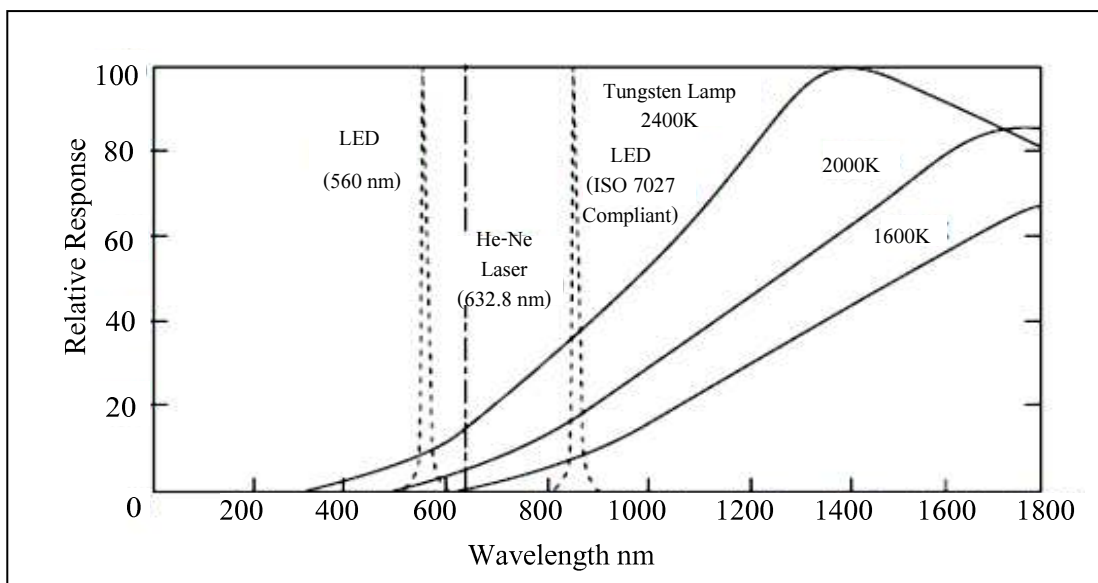
ปัจจุบันเครื่องวัดความขุ่นได้ใช้แหล่งกำเนิดแสงหลายชนิดด้วยกัน เช่น หลอดไฟ LED แสงเลเซอร์(LED Light Emitted Diode) หลอดปรอท และเครื่องวัดความขุ่นยังประกอบด้วยฟิลเตอร์ (Filter) ทำหน้าที่ในการกรองแสงให้แสงนั้นเป็นสีโมโนโครม (Monochromic) ซึ่งจะให้แสงที่มีสีเดียว และเกิดความยาวคลื่นแสงที่มีวงแคบ (มีเพียงไม่กี่สี) ความยาวคลื่นแสงที่เลือกต้องเลือกที่ไม่มีการดูดซับวัตถุอินทรีย์ไว้ และสีตัวอย่างจะทำให้เกิดเป็นการรบกวนต่อความไวของแสง อย่างไรก็ตาม แหล่งกำเนิดแสงเหล่านี้มีการตอบสนองที่แตกต่างกันกับขนาดของอนุภาค และหลอดทังสเตนจะไม่มีควมไวแสงกับอนุภาคขนาดเล็กน้อย

แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันจะมีความสัมพันธ์กับการวัดค่าความขุ่น โดยความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่มีแหล่งกำเนิดแสงแตกต่างกันดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.6

ลักษณะของความยาวคลื่นสำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นหลอดไฟทังสเตน โดยมี 3 อุณหภูมิสี ของแหล่งกำเนิดแสง ได้แก่ ความยาวคลื่นที่ 560 นาโนเมตรของหลอดแบบ LED (Light Emitting Diode) แบบ He/Ne laser และ 860 นาโนเมตร ตามมาตรฐาน ISO 7027 ที่ใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสง

### 2.4.2.2 หลอดใส่ตัวอย่างน้ำ (Sample Volume)

หลอดตัวอย่างน้ำนั้นทำจากแก้ว ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “Cuvettes” มักมีปริมาตรประมาณ 30 cm<sup>3</sup> ส่วนเครื่องวัดความขุ่นแบบ on-line นั้นใช้แก้วเป็นหลอดใส่ตัวอย่างน้ำแบบไหลผ่านกับแหล่งกำเนิดแสง มีปริมาตรอยู่ในช่วงตั้งแต่ 30 cm<sup>3</sup>ขึ้นไปจนถึง 2 ลิตร



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ในการตอบสนองต่อการวัดความชุ่นกับแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความยาวคลื่นในช่วงที่แตกต่างกัน (Sadar, 1998)

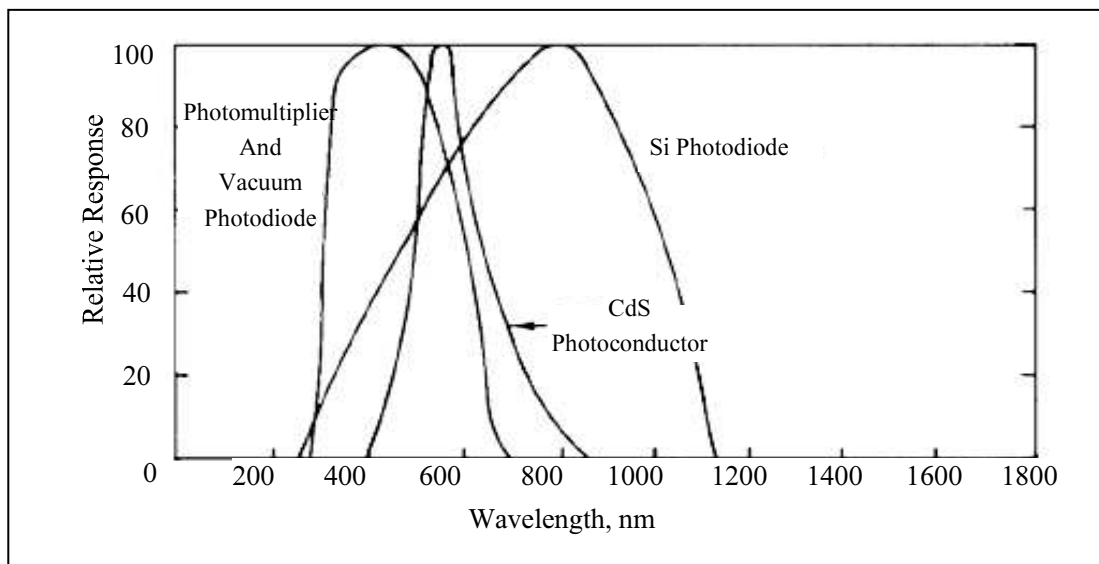
### 2.4.2.3 อุปกรณ์วัดแสง (Photodetector)

ในเครื่องวัดความชุ่น อุปกรณ์วัดแสงทำหน้าที่รับแสงที่มีปฏิสัมพันธ์กับอนุภาคสารแขวนลอยในตัวอย่างน้ำ เกิดเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะแปลงไปเป็นค่าความชุ่นอีกทอดหนึ่ง อุปกรณ์วัดแสงนี้สามารถจัดวางได้หลายตำแหน่ง ขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องมือ อุปกรณ์วัดแสงที่นิยมใช้งานนั้นมี 4 ประเภทด้วยกันคือ

- 1) Photomultiplier tubes
- 2) Vacuum Photodiodes
- 3) Silicon Photodiodes
- 4) Cadmium Sulfide Photoconductor

อุปกรณ์ทั้ง 4 ชนิดนี้จะตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ความยาวคลื่นจะขึ้นกับชนิดและการออกแบบของอุปกรณ์วัดแสงที่เลือกมาใช้ ส่วนอุปกรณ์วัดแสงที่ใช้ชนิด Photomultiplier Tubes และ Vacuum Photodiodes จะมีความไวของคลื่นแสงที่สั้นและไวกับอนุภาคที่มีขนาดเล็ก โดยทางกลับกันอุปกรณ์รับแสงชนิด Silicon Photodiodes จะไวต่อความยาวคลื่นแสงที่ยาวกับขนาดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ส่วน Cadmium Sulfide Photoconductor อยู่ในช่วงระหว่างความยาวคลื่นแสงของอุปกรณ์รับแสงชนิด Photomultiplier tubes และ Silicon Photodiodes อุปกรณ์

รับแสงที่แตกต่างกันจะมีความสัมพันธ์กับการวัดค่าความขุ่น ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ โดยมีอุปกรณ์รับแสงที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ในการตอบสนองต่อการวัดความขุ่นกับอุปกรณ์รับแสงที่ให้ ความยาวคลื่นในช่วงที่แตกต่างกัน (Sadar, 1998)

อุปกรณ์วัดแสงมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น เพราะอุปกรณ์รับแสงที่แตกต่างกัน ได้แก่ Photomultiplier Vacuum Photodiode Silicon Photodiode และ Cadmium Photodiode จะตอบสนองต่อการวัดความขุ่น โดยจะให้ช่วงความยาวคลื่นที่กว้างและแคบแตกต่างกัน

#### 2.4.3 องค์ประกอบของเครื่องวัดความขุ่น

มาตรฐานของเครื่องวัดความขุ่นในปัจจุบันนี้ได้มีการออกแบบถึงองค์ประกอบของเครื่องวัดความขุ่นที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน โดยมีองค์ประกอบของเครื่องวัดความขุ่น 5 แบบ ได้แก่

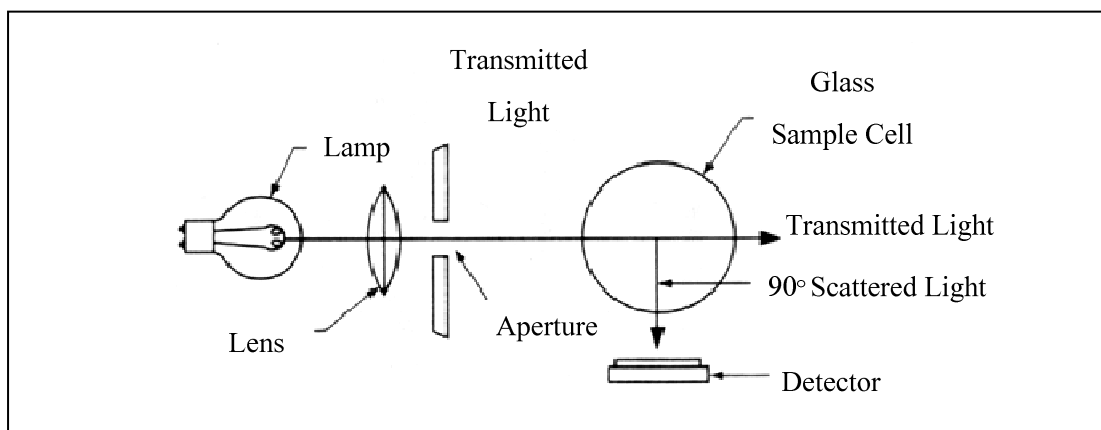
1. การออกแบบด้วยลำแสงเดี่ยว (Single Beam Design)
2. การออกแบบด้วยอัตราส่วนของแสง (Ratio Design)
3. การออกแบบด้วยสี่ลำแสง (Modulated Four Beam Design)
4. การออกแบบให้แสงกระเจิงบนพื้นผิว (Surface Scatter Design)
5. การออกแบบให้แสงส่องผ่าน (Transmittance Design)

ในแต่ละองค์ประกอบของการออกแบบเครื่องวัดความขุ่นแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

### 1) การออกแบบด้วยลำแสงเดี่ยว (Single Beam Design)

ลำแสงเดี่ยวหรือเรียกอีกอย่างว่า Single Beam Design ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบเครื่องวัดความขุ่นโดยทั่วไปจะใช้เพียงแหล่งกำเนิดแสง 1 ชุด และอุปกรณ์รับแสง 1 ชุด วางทำมุม 90 องศาจากแสงที่ตกกระทบ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ลำแสงเดี่ยวถือว่าเป็นการวัดความขุ่นแบบเนฟโลเมตริกมานาน ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้หลอดไฟทั้งสแตน ซึ่งสามารถวัดค่าความขุ่นได้ต่ำกว่า 40 NTU โดยตัวอย่างนั้นเป็นน้ำตัวอย่างที่มีสีธรรมชาติเล็กน้อย ในปัจจุบันนี้ เครื่องมือวัดความขุ่นแบบออนไลน์(On-Line) ยังคงมีการใช้การออกแบบลำแสงเดี่ยวอยู่ อย่างไรก็ตาม ค่าความขุ่นที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าการกระเจิงแสงที่สูงขึ้น ทำให้การกระเจิงของแสงชนกับอนุภาคในตัวอย่างน้ำสูงขึ้น และทำให้ความเข้มของแสงที่กระเจิงจะทำมุม 90 องศา มีค่าลดน้อยลง สำหรับเหตุผลนี้ การออกแบบด้วยลำแสงเดี่ยวต้องตรงตามมาตรฐานการออกแบบของ EPA 180.1

การออกแบบด้วยลำแสงเดี่ยวมีข้อจำกัดอยู่ว่าต้องมีการปรับเทียบเครื่องมือเป็นระยะเพื่อไม่ให้ความเข้มของแสงของหลอดไฟมีประสิทธิภาพการทำงานลดลง

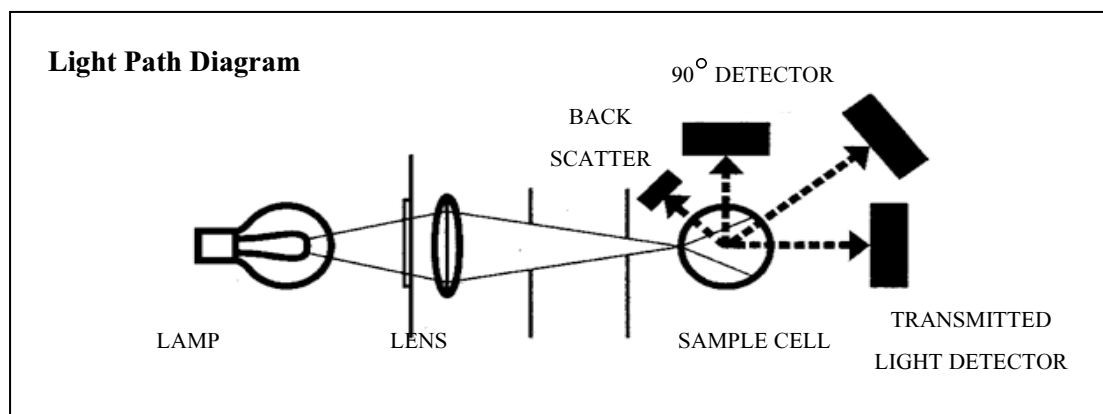


รูปที่ 2.8 หลักการเนฟโลเมตริก (Sadar, 1996)

### 2) การออกแบบด้วยอัตราส่วนของแสง (Ratio Design)

เครื่องวัดความขุ่นแบบอัตราส่วนของแสง หรือที่นิยมเรียกโดยทั่วไปคือ “Ratio Design” นี้ จะใช้อุปกรณ์รับแสงวางทำมุมน้อยกว่า 90 องศาจากแสงที่ตกกระทบ ค่าความขุ่นที่มีค่าสูงจะมีการสะท้อนกลับของแสงในทิศทางเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งสามารถคำนวณความขุ่นได้จากแต่

ละอูปรณ์รับแสงซึ่งประกอบไปด้วย Forward Scatter Detector, Transmitted Light Detector, Back Scatter Detector (Sadar, 1998)



รูปที่ 2.9หลักการวัดความขุ่นแบบ Ratio Turbidimeter(Sadar, 1996)

$$T = I_{90} / (d_0 * I_t + d_1 * I_{fs} + d_2 * I_{bs} + d_3 * I_{90}) \quad (2.1)$$

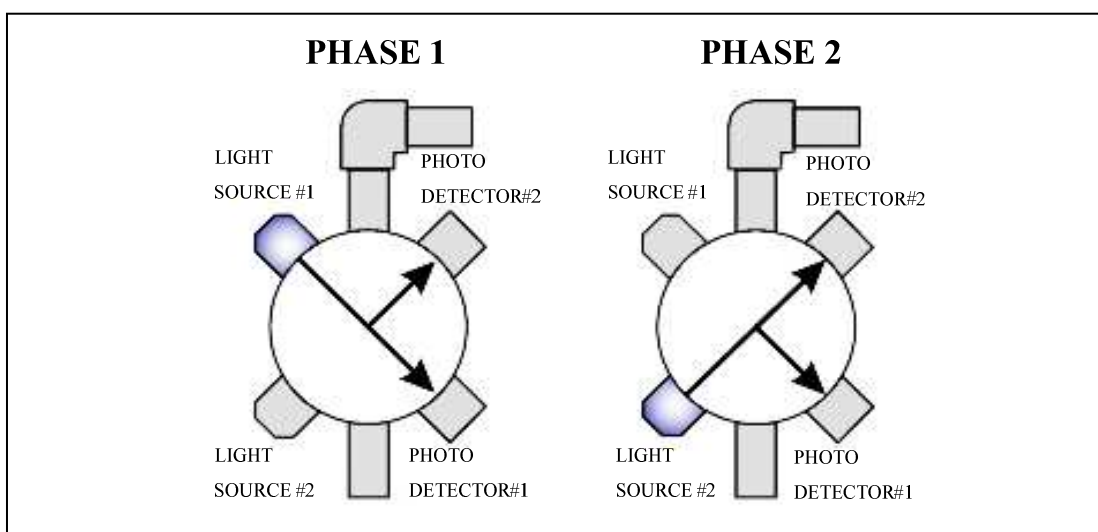
เมื่อ	T	=	Turbidity in NTU
	$d_0, d_1, d_2, d_3$	=	Calibration Coefficients
	$I_{90}$	=	90 Degree Detector Current
	$I_t$	=	Transmitted Detector Current
	$I_{fs}$	=	Forward Scatter Detector Current
	$I_{bs}$	=	Back Scatter Detector Current

เมื่อใช้อุปกรณ์รับแสงหลายตัวสามารถช่วยลดการรบกวนของสีในน้ำตัวอย่าง ทำให้ค่าที่อ่านได้จากการส่องผ่านของแสงและการกระเจิงของแสงที่ 90 องศา เป็นค่าที่ได้จากการวัดความขุ่นจริง เพราะวาระยะทางการเดินทางของแสงจะใกล้เคียงกับหลอดตัวอย่างน้ำ ซึ่งสีของตัวอย่างจะไม่มีผลต่อการวัด เนื่องจากมีอุปกรณ์รับแสงที่วางทำมุมกัน 90 องศาจะให้ค่าในการอ่านค่าได้ 3ค่า ที่มาจาก Forward Scatter Detector Transmitted Light Detector Back Scatter Detector ซึ่งมีผลต่อการคำนวณ

### 3) การออกแบบด้วยสี่ลำแสง (Modulated Four Beam Design)

ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง 2 ชุด และอุปกรณ์รับแสง 2 ชุด แสดงดังรูป 2.10 แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงทำมุมกัน 90 องศากับหลอดตัวอย่าง การออกแบบนี้ใช้ 2 อุปกรณ์วัดทุก ๆ 0.5 วินาที จากภาพในเฟสที่ 1 แสงจาก Source#1 จะส่งไปยัง Photodetector#2 เป็นระยะ ในทำนองเดียวกันที่ Photodetector#1 จะวัดแสงกระเจิงที่มุม 90 องศา และในเฟสที่ 2 แสงจาก Source#2 จะส่งไปยัง Photodetector#1 เป็นระยะ ในทำนองเดียวกันที่ Photodetector#2 จะวัดแสงกระเจิงที่มุม 90 องศา ทั้ง 2 เฟสนี้ อุปกรณ์รับแสงจะรับแสงเข้ามาไปเป็นสัญญาณ ในขณะที่สัญญาณจากอุปกรณ์รับแสงนั้น วัดการกระเจิงของแสงเป็นสัญญาณอ้างอิง การใช้สองเฟสในการวัดนี้จะวัดได้สี่ค่าแหล่งกำเนิด 2 ชุดคือ 2 สัญญาณอ้างอิง และ 2 สัญญาณจริง

ค่าความขุ่นของตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณจะใช้หลักการของ Ratio Design เข้ามาเกี่ยวข้องกับซึ่งค่าที่ได้จะมีอยู่สี่ค่าจากแหล่งกำเนิดแสง 2 ชุด โดยวัดค่าความขุ่นได้อยู่ในช่วงประมาณ 0-100 NTU และค่าความผิดพลาดของเครื่องมือต้องมีความแม่นยำอยู่ในช่วง 0 - 1 NTU



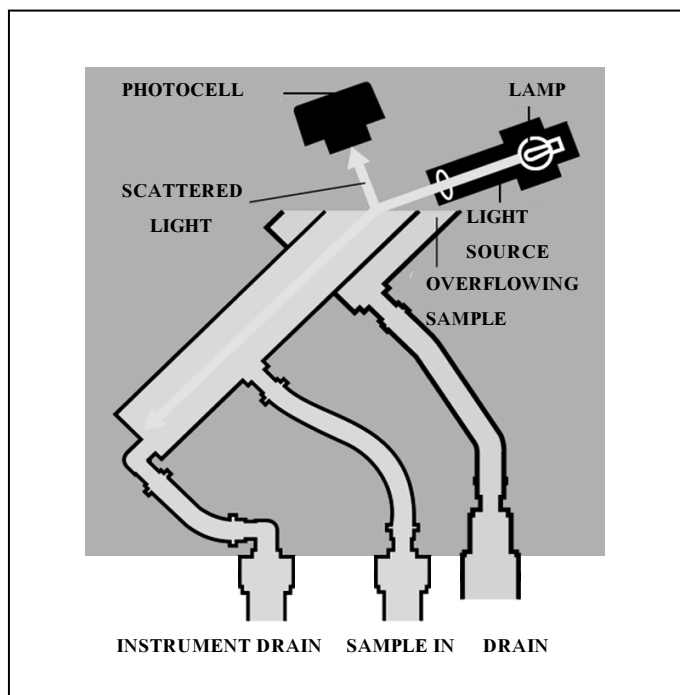
รูปที่ 2.10 หลักการวัดความขุ่นแบบ Modulated Four-Beam Turbidimeter (GLI, 1992)

### 4) การออกแบบให้แสงกระเจิงบนพื้นผิว (Surface Scatter Design)

เป็นการกระเจิงบนพื้นผิวของของตัวอย่างนั้น โดยแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสง จะพุ่งชนพุ่งชนเข้ากับอนุภาคในน้ำตัวอย่างและเกิดการกระเจิงไปในทิศทางข้างหน้า ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.11 อุปกรณ์รับแสงจะอยู่เหนือบนพื้นผิว ซึ่งความขุ่นที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้ลำแสงเกิดการทะลุผ่าน ไปยังน้ำตัวอย่างสามารถวัดค่าความขุ่นได้น้อยช่วงที่เครื่องมือวัดการกระเจิงของบนพื้นผิว



มีความขุ่นอยู่ในช่วง 0 – 9999 NTU ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้ในน้ำดิบและลำธารที่มีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้



รูปที่ 2.11 หลักการวัดความขุ่นแบบ Surface Scatter Turbidimeter (HACH Corporation, 1995)

### 5) การออกแบบให้แสงส่องผ่าน (Transmittance Design)

เครื่องมือวัดความขุ่นนี้เป็นการออกแบบชนิดการส่องผ่านของแสง โดยการออกแบบชนิดนี้จะไม่ให้ค่าความขุ่นของน้ำจริงนั้นเป็นหน่วย NTU แต่จะวัดอยู่ในส่วนของการดูดกลืนของแสงที่ส่องผ่านเข้าไปยังน้ำตัวอย่าง การส่องผ่านของน้ำมีอยู่ในช่วง 0-100% ของแสงที่เกิดการกระเจิงผ่านตัวอย่าง

กล่าวโดยรวมแล้วองค์ประกอบของเครื่องวัดความขุ่นจะมีการออกแบบที่แตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานซึ่งมีข้อดีและข้อเสียของการออกแบบ ดังแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5สรุปการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการออกแบบเครื่องวัดความขุ่น

การออกแบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
การออกแบบด้วยลำแสงเดี่ยว หรือ Single Beam Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้แหล่งกำเนิดแสง 1 ชุด และตัวรับแสง 1 ชุด</li> <li>- ให้ช่วงความยาวขุ่นในช่วง 0 – 40 NTU</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การกระเจิงสูงเมื่อแสงชนกับอนุภาค ทำให้ความเข้มแสงมีค่าลดน้อยลง</li> <li>- ต้องมีการปรับเทียบเครื่องมือเป็นระยะ</li> </ul>
การออกแบบด้วยอัตราส่วนของแสง หรือ Ratio Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>- วัดความขุ่นได้ในช่วงความยาวคลื่นที่กว้าง</li> <li>- ตัดปัญหาเรื่องน้ำตัวอย่างที่มีสี และฟองอากาศ การดูดซับ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้อุปกรณ์รับแสงมาก</li> </ul>
การออกแบบด้วยสี่ลำแสง หรือ Modulate Four beam Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้แหล่งกำเนิดแสง 2 ชุด และตัวรับแสง 2 ชุด</li> <li>- ค่าที่วัดได้จาก 2 เฟสมี 4 ค่า</li> <li>- ลดความผิดพลาดของสัญญาณน้อยลง</li> <li>- ให้ช่วงความยาวขุ่นที่ 0- 100 NTU</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้อุปกรณ์ในการวัด 2 phase</li> <li>- ต้องใช้การออกแบบชนิด “Ratio Design” เข้ามาเกี่ยวข้อง</li> </ul>
การออกแบบให้แสงกระเจิงบนพื้นผิว หรือ Surface Scatter Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ให้ช่วงความยาวขุ่นในช่วง 0 -9999 NTU</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้ได้กับน้ำดิบและน้ำในลำธาร</li> </ul>
การออกแบบให้แสงส่องผ่าน หรือ Transmittance Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>- วัดในรูปการดูดกลืนแสง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่สามารถวัดค่าความขุ่นของน้ำได้ในหน่วย NTU</li> </ul>

#### 2.4.4 ชนิดของเครื่องวัดความขุ่น

โดยทั่วไปในปัจจุบันนี้มีเครื่องวัดความขุ่นหลายชนิดด้วยกัน(Sadar,2002) เช่น เครื่องวัดความขุ่นในห้องปฏิบัติการ (Bench Top Turbidimeter) เครื่องวัดความขุ่นแบบพกพา (Portable Turbidimeter) และเครื่องวัดความขุ่นแบบออนไลน์(On-Line Turbidimeter) ซึ่งเครื่องวัดความขุ่นในห้องปฏิบัติการและเครื่องวัดความขุ่นแบบพกพา นี้ ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในการเก็บแบบจ้วง

#### 2.4.4.1 เครื่องวัดความขุ่นในห้องปฏิบัติการ (Bench Top Turbidimeters)

เครื่องวัดความขุ่นแบบใช้ในห้องปฏิบัติการใช้หลักการในการออกแบบ โดยให้มีการทำงานบนแผงวงจรไฟฟ้า สามารถวัดค่าความขุ่นและลดปัญหาเรื่องสีในการรบกวนการวิเคราะห์ได้ดี ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้สามารถวัดค่าความขุ่นได้สูง โดยใช้หลักการออกแบบ “Ratio Design” อุปกรณ์รับแสงจะใช้แบบกระจิงย้อนกลับเข้ามาเกี่ยวข้องเพิ่มขึ้น และแหล่งกำเนิดแสงแบบที่ได้ให้ความยาวคลื่นแสงสีเดียว หรือแสงสีโมโนโครมแสดงดังรูปที่ 2.12 ที่ผ่านมาได้ใช้การออกแบบด้วยลำแสงเดี่ยว และให้การแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข และใช้วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในการเก็บแบบจ้วงซึ่งหล่อคิใส่น้ำตัวอย่าง (Cuvettes) ทำมาจากแก้ว

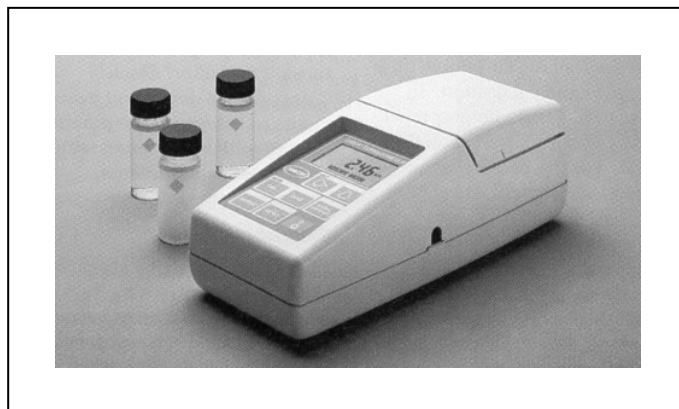


รูปที่ 2.12 เครื่องวัดความขุ่นชนิดใช้ในห้องปฏิบัติการ (HACH Corporation, 1995)

#### 2.4.4.2 เครื่องวัดความขุ่นแบบพกพา (Portable Turbidimeters)

เครื่องวัดความขุ่นแบบพกพาจะมีการออกแบบที่คล้ายคลึงกับเครื่องวัดความขุ่นที่ใช้ในห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 2.13 ส่วนที่แตกต่างของเครื่องมือวัดความขุ่นชนิดนี้นอกจากจะมีขนาดเล็กและกระทัดรัดกว่าแล้วยังใช้แบตเตอรี่ในการทำงาน เครื่องวัดความขุ่นนี้มีการออกแบบที่หลากหลายให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ซึ่งจะใช้วิธีการออกแบบด้วยชนิดลำแสงเดี่ยว (Single Beam) และอัตราส่วนของแสง (Ratio Design) ความแม่นยำของเครื่องวัดความขุ่นนี้จะเปรียบเทียบกับเครื่องจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งเปรียบเทียบกับค่าการวัดความขุ่นได้ต่ำที่ 0.01 NTU จาก 0.001 NTU ด้วยเครื่องวัดความขุ่นจากห้องปฏิบัติการ

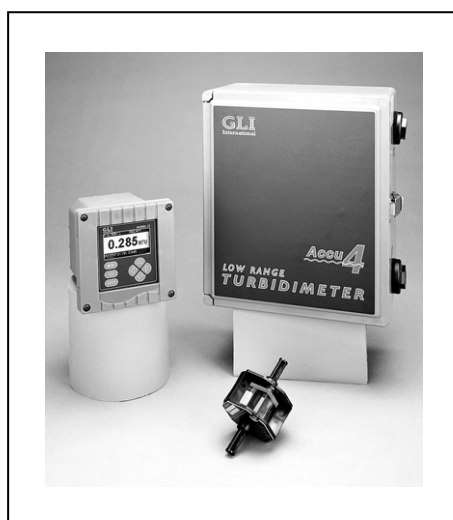
เครื่องวัดความขุ่นประเภทนี้ใช้ในงานภาคสนามและใช้วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในการเก็บแบบจ้วงสามารถใช้เครื่องวัดความขุ่นประเภทนี้ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างได้อย่างรวดเร็วกว่าการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 2.13 เครื่องวัดความขุ่นชนิดแบบพกพา(HACH Corporation, 1995)

#### 2.4.4.3 เครื่องวัดความขุ่นแบบออนไลน์ (On-line Turbidimeters)

เครื่องวัดความขุ่นแบบออนไลน์เหมาะกับการวัดความขุ่นกับชนิดน้ำที่บำบัดในภาคอุตสาหกรรม ใช้ชนิดการออกแบบ Single Beam หรือ การใช้ Modulated Four Beam ใช้ระบบ SCADA ในการควบคุม เชื่อมต่อกับเครื่องวัดความขุ่นเพื่อที่จะเลือกข้อมูลวิเคราะห์และควบคุมระบบจากการวัดนี้ ดังแสดงรูปที่ 2.14 ตัวอย่างน้ำจะผ่านเข้าเครื่องวัดความขุ่นแบบออนไลน์แบบไหลผ่านด้วยอัตรา 0.1-1.0 ลิตรต่อนาที แหล่งกำเนิดแสงจะอยู่เหนือหลอดตัวอย่างน้ำ และอุปกรณ์รับแสงจะแซ่กับหลอดตัวอย่างน้ำ ซึ่งหลอดตัวอย่างน้ำที่ใช้จะมีขนาด 30 มิลลิลิตร



รูปที่ 2.14 เครื่องวัดความขุ่นชนิดออนไลน์(GLI, 1992)

เครื่องวัดความขุ่นชนิดออนไลน์นี้ยังได้มีการนำไปศึกษาเพื่อใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยค่าความขุ่นที่ได้จะสามารถนำไปทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยที่ตกตะกอนในแหล่งน้ำธรรมชาติได้ด้วย (Ankcom, 2003)

เครื่องวัดความขุ่นสำหรับการวัดค่าความขุ่นต้องเลือกให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยได้สรุปการเปรียบเทียบการใช้งานของเครื่องวัดความขุ่นแต่ละชนิดได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6สรุปการเปรียบเทียบการใช้งานของเครื่องวัดความขุ่นแต่ละชนิด

ประเภทเครื่องวัดความขุ่น	ลักษณะการใช้งาน
เครื่องวัดความขุ่นแบบใช้ใน ห้องปฏิบัติการ (Bench Top Turbidimeter)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เหมาะสำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการ</li> <li>- วัดสีและความขุ่นของน้ำได้สูง</li> <li>- นิยมใช้การออกแบบเป็นแบบ Ratio Design</li> <li>- วิเคราะห์น้ำตัวอย่างที่เก็บแบบจ้วง</li> <li>- ใช้กระแสไฟฟ้า</li> </ul>
เครื่องวัดความขุ่นแบบพกพา (Portable Turbidimeter)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างความขุ่นในภาคสนาม แบบพกพา และในห้องปฏิบัติการได้</li> <li>- ใช้แบตเตอรี่ในการทำงาน</li> <li>- ใช้การออกแบบแบบ Single Beam และ Ratio Design</li> <li>- วิเคราะห์น้ำตัวอย่างที่เก็บแบบจ้วง</li> <li>- ทำงานและประมวลผลได้รวดเร็ว</li> </ul>
เครื่องวัดความขุ่นแบบออนไลน์ (On-line Turbidimeter)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้กับน้ำตัวอย่างที่บำบัดในภาคอุตสาหกรรม</li> <li>- การออกแบบใช้แบบ Single Beam และ Modulate Four Beam</li> <li>- ใช้ระบบ SCADA เข้ามาในการควบคุมการเก็บผลตัวอย่างและการประมวลผล</li> <li>- ใช้วิธีการแบบให้น้ำไหลผ่านด้วยอัตรา 0.1-1.0 ลิตร/นาที</li> <li>- แหล่งกำเนิดแสงอยู่เหนือหลอดตัวอย่างน้ำและ ตัวรับแสงแช่อยู่ในหลอดตัวอย่างน้ำ</li> </ul>

## 2.5 การใช้เครื่องมือวัดความขุ่นในการตรวจวัดสารแขวนลอยในน้ำ

เครื่องวัดความขุ่นนั้นนอกจากจะใช้วัดความขุ่นในน้ำแล้วยังสามารถใช้เพื่อบอกความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่างได้ด้วยโดยทั่วไปความขุ่นจะทำให้น้ำไม่ใสสะอาดซึ่งทำให้การกระจายของแสงและการดูดซับค่อนข้างน้อยกว่าการส่องผ่านแสง ความขุ่นในน้ำเป็นสาเหตุจากอนุภาคสารแขวนลอยในของเหลว ระดับความขุ่นของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้เกิดเป็นมลพิษทางน้ำ การตรวจวัดความขุ่นใช้หลักการตกตะกอนของของแข็งในการตรวจติดตามและควบคุมในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม

ในการวัดความขุ่นจะสามารถอธิบายถึงปริมาณแสงที่ได้ถูกกระเจิง (Scattered) มาจากอนุภาคตัวอย่าง แสงที่ถูกกระเจิงออกมาจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณอนุภาคและการวางตำแหน่งของอุปกรณ์รับแสง (Detector) โดยทั่วไป เครื่องวัดความขุ่นจะใช้อุปกรณ์รับแสงเพียงตัวเดียว (Single Detector) ให้มุมตกกระทบของแสงอยู่ในตำแหน่ง 90 องศา ตัวรับแสงเพียงตัวเดียวนี้จะวัดต่อการวัดสารละลายที่มีความเข้มข้นของสีได้น้อยกว่า เนื่องจากแสงที่ส่องผ่านไปยังอนุภาคจะถูกดูดซับแสงไว้อย่างเช่น ตัวอย่าง ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) หรือตัวอย่างน้ำที่มีความขุ่นมาก จะทำให้เกิดการกระเจิงของแสงที่กระทบกับอนุภาคเปลี่ยนแปลงไป ในแต่ละสถานะของน้ำตัวอย่างที่มีความขุ่นเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้การกระเจิงของแสงที่วัดได้จากอุปกรณ์รับแสงลดลง และในทางตรงกันข้าม เมื่อมีสารรบกวน ค่าที่วัดความขุ่นได้จะมีค่าที่ต่ำ หรือเรียกสภาวะนี้ว่า “Going Blind” (Sadar, 2002) การตรวจวัดพารามิเตอร์ความขุ่นมักนำไปใช้เพื่อตรวจคุณภาพน้ำที่เกิดปัญหาทางด้านแหล่งน้ำไม่สะอาดและความไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการอุปโภคบริโภค จึงได้มีการศึกษาวิจัยของ Wijenayake and Alahakoon (2005) ในการพัฒนาเครื่องวัดความขุ่นที่มีราคาประหยัด ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำ และตรวจติดตามการกัดเซาะของดิน โดยใช้เครื่องซีเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสง และตัวต้านทานไวแสง (Light Independent Resistor) ใช้หามุมตกกระทบของแสงที่เข้ามา เครื่องมือนี้ประมวลผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่รับส่งข้อมูลด้วยตัวเลขในการบอกระดับความขุ่นที่เพิ่มขึ้น เส้นกราฟจากการเปรียบเทียบมาจากค่าความขุ่นด้วยวิธีเนเฟโลมิตริก

เครื่องวัดความขุ่นที่มีอุปกรณ์รับแสงหลายตัวจะเหมาะสมในการวัดความแม่นยำในการตรวจวัดค่าความขุ่น เนื่องจากการใช้อุปกรณ์รับแสงหลายตัวจะช่วยลดปัญหาทางด้านเรื่องสีและการดูดซับแสง การใช้อุปกรณ์รับแสงหลายตัวนั้นเรียกว่า “Ratioing” เหมาะกับการวัดตัวอย่างน้ำจากอุตสาหกรรม ตำแหน่งของอุปกรณ์วัดแสง ต้องอยู่บริเวณกึ่งกลางทำมุม 90 องศากับแนวแสงส่องเข้าหาน้ำ และทั้งหมดเอียงไม่เกิน 30 องศา (APHA, 1998) เครื่องมือวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100AN จะประกอบด้วยอุปกรณ์รับแสงมากกว่าสองตัวด้วยกัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ การตรวจวัดค่าความขุ่นกับเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100A ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์รับแสงเพียง

หนึ่งตัว โดยผลการเปรียบเทียบของเครื่องมือทั้งสองนี้ด้วยสารละลายมาตรฐานฟอร์มาซินพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างสีและค่าความขุ่น เครื่องที่ประกอบด้วยอุปกรณ์รับแสงที่มากกว่าสองตัวนั้นจะ ช่วยลดการรบกวนเรื่องสีในการวิเคราะห์ซึ่งค่าความขุ่นของการใช้อุปกรณ์รับแสงเพียงตัวเดียวจะ ให้ค่าที่ตรงและแม่นยำมากกว่าอุปกรณ์รับแสงหลายตัว และการวิจัยนี้ความยาวคลื่นยังส่งผลต่อ การวัดค่าความขุ่นด้วยเช่นกันเมื่อผู้วิจัยได้นำแหล่งกำเนิดแสงชนิด LED ที่ออกแบบไว้ตาม มาตรฐาน ISO 7027 มาใช้แทนที่แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นหลอดไฟทั้งสแตนด์ซึ่งออกแบบโดยใช้ มาตรฐาน 2130 B โดยนำหลอด LED ไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์รับแสงหลายตัว ผลวิจัยบอกได้ว่า ความยาวคลื่นมีผลต่อการดูดซับสี และการอ่านวัดค่าความขุ่นที่ดีขึ้น (Pavelich, 2002) ความขุ่นที่มี สีในน้ำตัวอย่างนั้นเป็นสาเหตุทำให้การอ่านค่าความขุ่นนั้นผิดพลาดไป เพราะสีจะเกิดการดูดกลืน แสงทำให้แสงที่กระเจิงไปยังอนุภาคนั้นผิดไปจากการวัด สีในน้ำเกิดจากพวกแป้ง สารอินทรีย์ สารอนิ นทรีย์ ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียปริมาณสารแขวนลอยจะมีความสัมพันธ์กันด้วย สีที่ตรวจวัดได้จะมีค่า ต่ำลงเพราะอนุภาคสารแขวนลอยจะดูดซับสีไว้ (Zhang, 2002) สีที่ได้มีการศึกษาเพื่อทดสอบหาค่าความ ขุ่นในงานวิจัย เช่น Kaolin และใช้หน่วยวัดสีจริงTCL (True Colour Unit)(Ebie, Yamaguchi, Hoshikawa, and Shirozu, 2005) และสีจะมีความสัมพันธ์กับช่วงค่าความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ ช่วงแสงสีแดงถึงแสงสีม่วง ความยาวคลื่นนั้นจะลดลงไปจากแสงสีแดง ไปถึงสีม่วง ความขุ่นและสี มักเกิดควบคู่กัน YSI Environmental (2001) ได้มีการพัฒนาเครื่องวัดความขุ่นชนิดเนฟโลเมตริก ซึ่งใช้มาตรฐาน ISO 7027 ในการออกแบบ โดยใช้เครื่องทำสะอาดที่สามารถทำความสะอาด เครื่องมือวัดความขุ่นนี้ได้ เรียกว่า Sweeps Fooling Agents จาก Sensor Optical Surface เทคนิคจาก การนำมาตรฐานนี้มาใช้นอกจากจะช่วยให้การรบกวนจำพวกสีแล้ว ยังช่วยให้ใช้พลังงานที่ต่ำ ด้วย

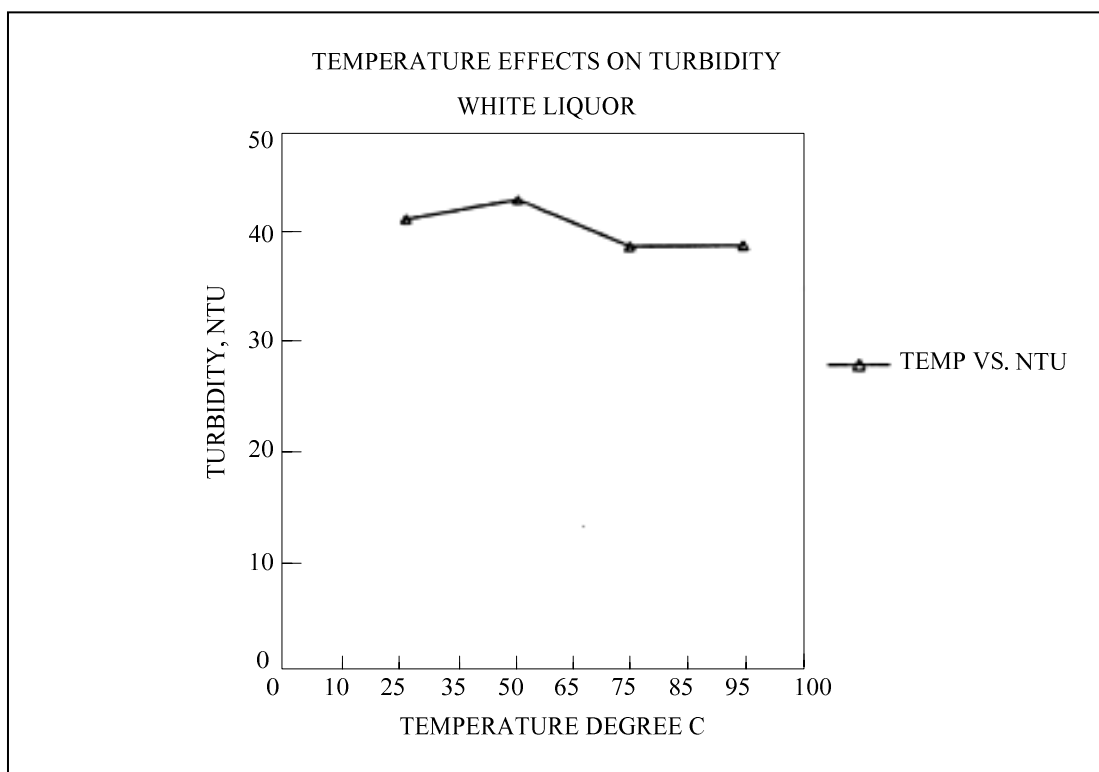
นอกจากเครื่องวัดความขุ่นจะประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสง(Light Source) ช่องใส่ ตัวอย่าง (Sample Cell) อุปกรณ์รับแสง (Detector) ที่เป็นส่วนสำคัญแล้ว การเชื่อมต่อวงจรด้วย การเลือกเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อรับแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเป็นสัญญาณในการแปรผลค่าความขุ่น และอีกทั้งยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายของการออกแบบ ข้อดีของการเลือกเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้ในการ ออกแบบเครื่องวัดความขุ่นจะสามารถช่วยกันน้ำได้จากภายนอก และให้การแปรผลที่แม่นยำ (García, Pères, Grillo, and Tejerina, 2005)มาตรฐานการออกแบบเครื่องวัดความขุ่นได้ใช้Method 180.1ของ EPA โดยสรุปไว้ดังตารางที่2.7อุปกรณ์รับแสงและตัวกรองต้องทำงานได้ดีที่สุดในช่วง ความยาวคลื่นระหว่าง 400 – 600 นาโนเมตร และเหมาะสมในอ่านค่าความขุ่นที่ต่ำมากกว่าที่ความ ยาวคลื่น 860 นาโนเมตร ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของเครื่องวัดความขุ่นแต่ละแบบที่ใช้แหล่งกำเนิด แสงแตกต่างกันด้วย (Barter and Deas, 2003)

ตารางที่ 2.7 ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและความยาวคลื่น

ช่วงความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ลักษณะความขุ่น
400 – 600 (EPA 180.1)	ต่ำ
860 (ISO 7027)	สูง

หมายเหตุ : มาตรฐาน 2130 B และ EPA Method 180.1

ความแตกต่างของสี อุณหภูมิ พีเอช และลักษณะของอนุภาคทางเคมีและฟิสิกส์ก็ยังมีผลต่อการตรวจวัดความขุ่นด้วยเช่นกัน ซึ่งอุณหภูมิของแต่ละตัวอย่างที่มาจากแหล่งเก็บต่างกันจะหาความสัมพันธ์กับปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นได้ยาก และอุณหภูมินั้นแทบไม่มีผลต่อความสัมพันธ์ของการวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น (Sadar, 2002) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของความขุ่นและอุณหภูมิ (Sadar, 2002)



การใช้ LED (Light Emitting Diode) เป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งใช้ในการออกแบบเครื่องวัดความขุ่นที่มีขนาดที่สะดวกต่อการพกพา การใช้งาน และมีราคาถูก น้ำหนักเบา โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงไว้ใน Optical Probe ใช้เส้นใยแก้วนำแสง และนำหัววัดตรวจวัดความขุ่น (Padapoulou, 1998) ขนาดของหัววัดความขุ่นนั้นเป็นทรงกระบอก ยาว 3 ซม. และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ทำจากพลาสติก และเชื่อมต่อกับเส้นใยแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ 3 มิลลิเมตร ใช้ซิลิกอนรับเบอร์เป็นฉนวนของระบบไฟฟ้าซึ่งสามารถกันน้ำได้ ในงานวิจัยนี้จากการศึกษาทดลองโดยใช้ตัวอย่างสีกับความขุ่น 240 700 และ 820 NTU ในการคลาสิเบทเครื่องมือวัดความขุ่นนี้ ได้เลือกใช้เมทิลีนบลู (Methylene Blue) เพราะสามารถดูดกลืนสีในช่วงความยาวคลื่นสูงได้มาก ผลการทดลองนี้การศึกษาทำเครื่องวัดความขุ่นนี้ไม่เพียงแต่ใช้ในการตรวจติดตามความขุ่นในธรรมชาติแล้วยังใช้ได้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมและน้ำเสียชุมชนที่บำบัดแล้วได้อีกด้วย โดยเครื่องมือวัดนี้สามารถวัดความขุ่นอยู่ในช่วง 200-800 NTU และใช้ได้กับน้ำตัวอย่างที่มีสีปานกลาง และถ้าน้ำที่มีความไม่สกปรกมากไม่จำเป็นต้องใช้ self-cleaning หรือตัวกำจัดความสกปรกด้วยตัวเอง และจากงานวิจัยของKatznelson (Katznelson, 2004) กล่าวไว้ว่า เครื่องวัดความขุ่นสามารถใช้ได้ในทั้งภาคสนาม และในห้องปฏิบัติการ หัววัดความขุ่นใช้ติดตั้งในลำธารหรือตรวจวัดน้ำที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ โดยสามารถใช้เป็นเอกสารสำหรับการจัดการข้อมูลให้มีคุณภาพ

ทั้งนี้ ได้มีการจัดระบบการจัดการข้อมูลให้มีคุณภาพนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจและควบคุมคุณภาพของน้ำ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “The Data Quality Management (DQM) System” โดยได้ทำการรวบรวมการใช้วิธีวัดความขุ่นในวิธีต่างๆ และรายละเอียดในการใช้เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำ ซึ่งเอกสารที่ทำขึ้นมา นี้ จะมีการควบคุม ตรวจสอบ บันทึก และรายงานผล ซึ่งใช้วิธีการทั่วไปสำหรับการประเมินปริมาณสารแขวนลอยในน้ำโดยมีการเปรียบเทียบการใช้อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นการใช้เวลาในการวิเคราะห์ การใช้อุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายในการควบคุมคุณภาพน้ำ ทั้งนี้วิธีการตรวจวัดถือเป็นส่วนสำคัญในการตรวจดูความใสของน้ำ ตรวจดูความขุ่น และตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำตัวอย่าง

ส่วนที่สำคัญสำหรับการนำไปใช้ในการตรวจวัดความขุ่นและสารแขวนลอยกับน้ำที่มีลักษณะแตกต่างกัน ได้อธิบายไว้ ดังนี้

- 1) วิธีการตรวจวัดความขุ่นในคอลัมน์น้ำนั้นสามารถทำได้ด้วยการส่องผ่านแสงและให้เกิดการกระเจิงของแสงในทิศทางทำมุม 90 องศา
- 2) การประมาณค่าของสารแขวนลอยในคอลัมน์โดยการตรวจวัดความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำ

3) ประเมินจากแนวโน้มการตะกอนของสารแขวนลอยโดยประเมินจากของแข็งจมน้ำได้จากการศึกษาวิจัยของ Sadar (2002) ได้ศึกษาขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณสารแขวนลอยอยู่ 4 ขั้นตอน ได้แก่

1) ต้องระบุและกำหนดอัตราการเจือจางในการหาความขุ่นและปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของตัวอย่าง และคำนวณความแม่นยำโดยแสดงความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

2) ถ้าตัวอย่างมีการเจือจางแล้ว ต้องมีการผสมที่ดี อาจใช้แม่เหล็กในการกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน แต่ไม่ให้มีฟองอากาศเพราะจะทำให้การอ่านค่าความขุ่นมีความผิดพลาด

3) ตัวอย่างที่เจือจางแล้วอยู่ในหลอดตัวอย่าง ต้องมีการผสมรวมกันให้เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเมื่อใส่ลงในช่องตัวอย่างให้บันทึกในช่วงระยะเวลาสั้นๆ โดยจับเวลาทุก 5 วินาที ในช่วงระยะเวลา 15-45 วินาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ค่าเฉลี่ยนั้นเป็นค่าความขุ่นของตัวอย่าง

4) ค่าที่บันทึกไว้จากการอ่านค่าต้องมีค่าที่ถูกตัดจากรีจิดความขุ่นที่ใช้ ซึ่งถ้าตัวอย่างมีสีที่สูง เครื่องวัดความขุ่นจะมีการดูดซับแสงที่สูงขึ้น และจะทำให้ค่าการอ่านนั้นเปลี่ยนแปลงไป

สำหรับช่วงอัตราการเจือจางที่ใช้ในการศึกษาวิจัยกับเครื่องวัดความขุ่นนั้นจะใช้อัตราเจือจางอย่างน้อย 4 อัตราเจือจาง ซึ่งใช้ที่ 20 40 60 และ 80% อุณหภูมิของตัวอย่างต้องเตรียมที่อุณหภูมิเหมือนกัน โดยตลอด และใช้อุณหภูมินี้วัดที่อัตราการเจือจางเหมือนกัน ปริมาตรที่ใช้อย่างน้อยควรใช้อย่างน้อย 50 มิลลิลิตร ในแต่ละอัตราการเจือจางให้แกน Y แสดงค่าเป็นความขุ่นและแกน X แสดงค่าเป็นปริมาณสารแขวนลอย (Sadar,2002)

การตรวจติดตามคุณภาพน้ำภาคสนามเหมาะสำหรับการนำเครื่องวัดความขุ่นขนาดพกพาไปใช้ การประดิษฐ์เครื่องวัดความขุ่นแบบพกพา (Sun, 2006) ยังวัดความขุ่นได้อย่างรวดเร็วจากการหักเหของแสงและสามารถกำจัดชนิดของแสงที่ไม่คงที่ออกไปโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่เรียกว่า Cygnal Microcomputer ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยี Monochip Computer Technology และได้มีการออกแบบเครื่องมือวัดความขุ่น HOBS เรียกว่า “Harry’s Optical Backscatter Sensor” นำมาใช้ในการจัดการบริหารลำน้ำโดยบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง (Orwin and Smart, 2004) และทำให้ส่งผลต่อความแม่นยำของการเปลี่ยนตะกอนในลำน้ำเล็กกลาสเซียสในประเทศแคนาดา เครื่องมือ HOBS นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้น สำหรับหาการกระจายตัวของตะกอน เพื่อให้มีการใช้พลังงานน้อย และสามารถตอบสนองต่อขนาดอนุภาคในลำน้ำได้อย่างรวดเร็ว ผลการทดลองยังสามารถบอกได้ว่า HOBS จะให้ผลการทดลองเป็นแบบเส้นตรง โดยทั่วไปความเข้มข้นของตะกอนในช่วง 0-3599 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำไปใช้งานจริงในส่วนที่เป็นแบบเส้นตรงนั้นจะมีการตอบสนองความเข้มข้นตะกอนที่ 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร และแบบไม่ได้เป็นเส้นตรงนั้นที่

10,000 mg/L ช่วงการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ 75% และ 83% ความอ่อนไหวของ HOBS ขึ้นอยู่กับความกว้างของความเข้มข้นของตะกอน ซึ่งในการศึกษาจะเน้นในด้านการออกแบบและราคาที่ต่ำ และศักยภาพของเครื่องที่นำไปใช้งานในสถานที่ต่างๆ ที่สนใจ

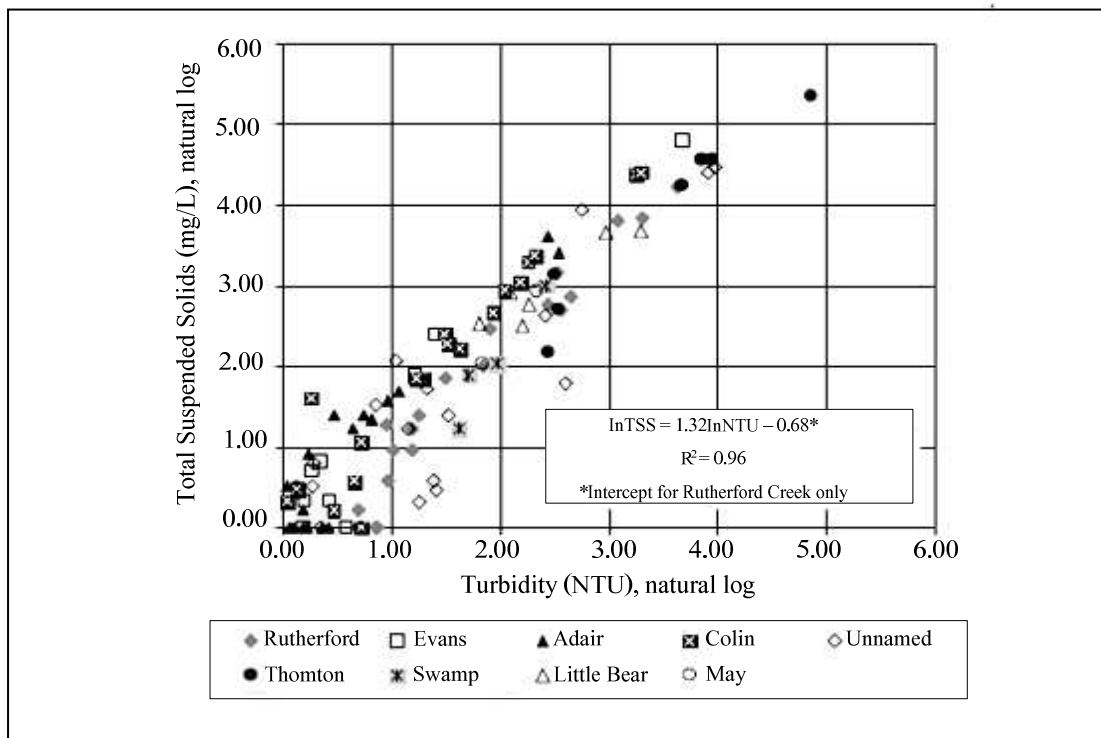
ความขุ่นนั้นเกิดจากปริมาณสารแขวนลอยขนาดที่แตกต่างกัน จากการศึกษาและทดลอง โดยเตรียมอนุภาคความขุ่นจากพอลิเมอร์ (Fleet and Siebert, 2005) โดยมีขนาดของอนุภาค 0.15 0.31 และ 0.7 ไมครอน นำไปใส่ในน้ำที่เตรียมไว้ คือ น้ำที่ไม่มีสี สีแทน และสีน้ำตาล ซึ่งทำให้มีความใกล้เคียงกับความขุ่นจริง โดยใช้เครื่องมือวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100AN จากการทดลองพบว่า ความขุ่นอยู่ในช่วง 0.206 ถึง 2.19 NTU ซึ่งถ้ามีพอลิเมอร์ในปริมาณที่มากจะส่งผลต่อการวัดสีเพิ่มขึ้นด้วย

การใช้เครื่องวัดความขุ่นแบบเนฟโลมิตริกด้วยแสงอินฟราเรด (Model OBS-3) โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณสารแขวนลอยจากการตรวจวัดในน้ำคลอง Tidal Creek-Saltmarsh (Suka Guoa and Psutyb, 1997) จากการทดลองในการตรวจวัดความเข้มข้นของปริมาณสารแขวนลอย ให้ผลว่าปริมาณสารแขวนลอยมีความเกี่ยวข้องกันกับค่าความขุ่น และในการเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำและความขุ่น โดยใช้เครื่องมือวัดความขุ่น ที่เรียกว่า OBS “Optical Back-Scatter”(Downing,2008) และการตรวจติดตามความขุ่นเพื่อใช้ในการศึกษาในการประหยัดเวลาในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์การตกตะกอน โดยศึกษาปริมาณสารแขวนลอยโดยประมาณค่าจากการตรวจติดตามความขุ่น โดยใช้จุดเก็บตัวอย่างที่สามสถานีในลำธารสายย่อยที่ตั้งอยู่ตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ สถานีลำธารสายเหนือ สถานีลำธารสายใต้ และสถานีจากกองสำรวจทางธรณี (USGS) เครื่องมือวัดความขุ่นที่ใช้ในการตรวจติดตามคือ Optical Turbidity Sensors ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาความขุ่นกับสารแขวนลอยในแม่น้ำโลเวอร์ฟอก (Lower Fox River) ซึ่งใช้ความแตกต่างของสถานที่และอัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นมีความสัมพันธ์กัน โดยที่อัตราการไหลและตำแหน่งทางอุทกวิทยา ไม่มีผลต่อสมการถดถอย (Randerson,2005)และความขุ่นที่นำมาตรวจวัดคุณภาพน้ำ ยังใช้เพื่อการพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและการตกตะกอนของสารแขวนลอยในลุ่มน้ำ โดยประเมินได้ข้อมูลการตรวจวัดความขุ่นเป็นประจำ ข้อมูลที่นี้จะนำมาประมาณความเข้มข้นของการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำ สามารถนำไปศึกษาการกัดเซาะและพังทลายของหน้าดิน (Marquis, 2005) โดยจากการศึกษาวิจัยบอกได้ว่าค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นในลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์กัน

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและความเข้มข้นของดินที่ตกตะกอน (Rasmussen and Miller, 2003) โดยใช้ดินชนิด Cecil A soil ซึ่งเป็นดินที่อยู่ในแถบ Southeastern Piedmont ให้อัตราส่วนของปริมาณสารแขวนลอย(mg/L) และความขุ่น (NTU) เป็น 1:1 ประกอบด้วย ดินร่วน , ดินร่วน-ดินเหนียวและดินเหนียวจากการใช้เครื่องวัดความขุ่น (HACH Turbidimeter ) ให้ความสัมพันธ์ของดินสามชนิดดังแสดงในสมการที่ (2.2)

$$NTU = a TSS^b \quad (2.2)$$

โดยค่า a เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย และ b เป็นขนาดของอนุภาคดินแต่ละชนิดซึ่งค่าความขุ่นของขนาดอนุภาคจากดินร่วนและดินร่วนปนดินเหนียวจะรวมตัวกันใน 12 ชั่วโมงแรกแต่ของดินเหนียวนั้น จะใช้เวลาเกิน 24 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาในการตกตะกอนในเวลาที่นานกว่า และขนาดอนุภาคของดินทรายใช้เวลาในการตกตะกอนค่อนข้างเร็วและจากการตรวจวัดดินร่วนจะมีความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณสารแขวนลอยสูงกว่าดินเหนียว และจากการศึกษางานวิจัยในการเก็บตัวอย่างน้ำ 9 ลำธาร (Packman, Jame, Karen, and Boot, 2000) โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ (1) Forested and Rural Streams (2) Urban Streams (3) Stormwater Retention/ Detention Pond ในวอชิงตัน ประเทศสหรัฐอเมริกาในช่วงระหว่างเดือนกันยายน ค.ศ. 1998 ถึง เดือนมีนาคม 1999 มีการศึกษาความสัมพันธ์ของความขุ่นและปริมาณสารแขวนลอย โดยใช้เครื่องมือยี่ห้อ HACH รุ่น 2100P ในการวิเคราะห์ค่าความขุ่น ผลปรากฏว่าในลำธารจะมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน คือ R/D Pond นั้น SS Stream จะมีค่าต่ำกว่า Urban Stream และแสดงให้เห็นว่าลำธารมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณสารแขวนลอย ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.16 โดยได้ความสัมพันธ์ในรูปของการแปลงค่าตัวแปรไปอยู่ในรูปลอการิทึมธรรมชาติ คือ  $\ln TSS = 1.32 \ln NTU - 0.68$  และในลักษณะเดียวกันยังได้มีการศึกษางานวิจัยที่คล้ายคลึงกัน โดยงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณสารแขวนลอยใน 5 แม่น้ำ (Lewis, 2003) ในแคลิฟอร์เนีย ประเทศอเมริกา



รูปที่ 2.16 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารแขวนลอยและความขุ่น (Packman et al., 2000)

ทั้งนี้ ค่าความขุ่นและปริมาณสารแขวนลอยยังมีผลต่อการศึกษาลักษณะของน้ำเสีย ที่มีผลต่อการอุดตันของไมโครฟิวเตรชันเมมเบรนในถังเดิมอากาศของกระบวนการเอ็คติเวสเททสตัดจ์ ซึ่งใช้น้ำเสียจริงจากโรงบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต กล่าวไว้ว่าค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นที่เข้าสู่ระบบมีความสัมพันธ์กันและวิธีการวัดความขุ่นยังทำให้เกิดความสับสน และประหยัดเวลาในการตรวจวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสีย เพราะการตรวจวัดค่าความขุ่นนี้จะใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่าการตรวจวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยโดยตรง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นนั้นมีความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง คือ  $Tur = 2.43SS + 30.09$  ซึ่งนำไปใช้ได้ในการหาค่าปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียของโรงบำบัดและหาปริมาณของจุลินทรีย์ที่เกาะติดบนผิวของไมโครฟิวเตรชันเมมเบรน แต่เมื่อของเหลวที่มีอนุภาคแขวนลอยสะสมบนเมมเบรนจะทำให้เกิดการอุดตัน ส่งผลให้อายุการใช้งานของเมมเบรนลดลง (ชนาวุฒิ ส่งแสง, 2546)

นอกจากการใช้ความขุ่นเป็นตัวบอกความสัมพันธ์ของปริมาณสารแขวนลอยในน้ำแล้วนั้น ประเทศไทยยังได้มีการใช้ความขุ่นในการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Pasteurella multocida* ในวัคซีนอหิวาต์เป็ดไก่ (นิตยา รักศรี และคณะ, 2548) จำนวน 30

ตัวอย่าง โดยใช้ Petroff Hausser Bacteria Counter นับจำนวนเชื้อแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์ และวัดความขุ่น (Optical Density: OD) วัดขึ้นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) โดยการเปรียบเทียบค่าความขุ่นของวัดขึ้นที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า OD กับปริมาณเชื้อที่นับได้ พบว่า ปริมาณเชื้อในตัวอย่างวัดขึ้นมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความขุ่นที่วัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) เมื่อความขุ่นมากขึ้นปริมาณเชื้อมากขึ้นตามปริมาณเชื้อที่นับได้มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ  $7.08 \times 10^9$  cells/mL ความขุ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.47 และความขุ่นยังบอกเป็นค่า OD เพื่อใช้ในการหาปริมาณเชื้อได้ด้วย จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อกับค่าความขุ่นในแบคทีเรียบรอกคิแบคทีเรีย (รังสรรค์ รักษากุลวิทยา และ วิวัฒน์ ชัยชนะศิริวิทยา, 2549) ค่าความขุ่นจะถูกวัดได้จากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อกับค่าความขุ่นเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และสามารถนำกราฟไปใช้เพื่อปรับปริมาณเชื้อสำหรับการผลิตวัคซีนแบคทีเรียต่อได้ด้วย

## 2.6 โครงข่ายประสาทประดิษฐ์

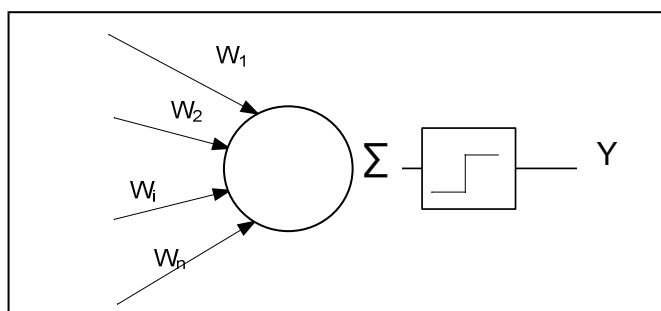
โครงข่ายประสาทประดิษฐ์เป็นแบบจำลองการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางที่มีโครงสร้างเป็นลักษณะของโครงข่ายเชื่อมโยงกันระหว่างหน่วย ซึ่งสามารถที่จะรับรู้ข้อมูลและปรับตัวเข้ากับสถานการณ์หรือสิ่งแวดล้อมที่กำลังเผชิญอยู่ แบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ใช้ในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์อัจฉริยะอย่างได้ผล (Intelligent Computer System) นอกจากนี้ ANN ยังเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้งานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณและการจดจำ เช่น การจำแนกข้อมูล (Data Classification) การทำนายเหตุการณ์ (Forecasting) การบีบอัดข้อมูล (Data Compression) การกรองสัญญาณเสียง (Noise Filtering) เป็นต้น ในทางคณิตศาสตร์ ANN อาจมองในแง่ของการเป็น Universal Approximator เนื่องจากความสามารถในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของข้อมูลป้อนเข้าและผลลัพธ์ ซึ่งทำให้สามารถแก้ปัญหาที่ยากและสลับซับซ้อนได้

เป็นเทคโนโลยีที่มีที่มาจากงานวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าฟังก์ชันจากกลุ่มข้อมูลวิธีการของเครือข่ายประสาทเป็นวิธีการที่ให้เครื่องเรียนรู้จากตัวอย่างต้นแบบแล้วฝึก (Train) ให้ระบบได้รู้จักที่จะคิดแก้ปัญหาที่กว้างขึ้นได้ใน โครงสร้างของเครือข่ายประสาทจะประกอบด้วยโหนด (Node) สำหรับ Input-Output และการประมวลผลกระจายอยู่ในโครงสร้างเป็นชั้น ๆ ได้แก่ Input Layer Output Layer และ Hidden Layers การประมวลผลของเครือข่ายประสาทจะอาศัยการส่งการทำงานผ่านโหนดต่างๆ ในชั้นเลเยอร์

## 2.6.1 แนวคิดพื้นฐานของโครงข่ายประสาทประดิษฐ์

โครงข่ายประสาทหรือนิวรอนเน็ตเวิร์ก เป็นสาขาหนึ่งในการเรียนรู้ของเครื่องที่มีความน่าสนใจ และถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย การทำงานของนิวรอนเน็ตเวิร์กจะอาศัยการเลียนแบบโครงข่ายสมองมนุษย์ มีส่วนของปลายประสาทรับรู้สัญญาณไฟฟ้า (Dendrite) ตัวรวบรวมข้อมูลที่ได้จากปลายประสาทรับรู้สัญญาณไฟฟ้า (Soma หรือ Cell Body) และท่อส่งข้อมูลเพื่อไปยังปลายประสาทรับรู้สัญญาณไฟฟ้าตัวอื่น ๆ (Axon) กล่าวคือ ส่วนของปลายประสาทรับรู้สัญญาณไฟฟ้า เปรียบเสมือนอินพุต (Input) ที่เป็นตัวรับข้อมูลเข้ามา ส่วนของตัวรวมข้อมูลที่ได้จากปลายประสาทรับรู้สัญญาณไฟฟ้าหลายๆ ตัวเข้ามา และส่วนของท่อส่งข้อมูลเพื่อไปยังปลายประสาทรับรู้สัญญาณไฟฟ้าตัวอื่น ๆ ในโครงข่ายต่อไป ลักษณะของโครงข่ายสมองมนุษย์

การทำงานของเซลล์สมองนั้นแท้จริงแล้วก็คือการทำการรับและส่งสัญญาณ ซึ่งอาจจะมีการแปลงสัญญาณระหว่างทางที่ Soma แล้วจึงสัญญาณไปยังเซลล์สมองอื่น ๆ ต่อไป จากความรู้นี้ก็เพียงพอที่จะนำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้เริ่มด้วยมีสัญญาณนำเข้า (Input) คือ  $X$  จำนวนหนึ่ง (เช่น  $n$  สัญญาณ) เข้ามารวมกันอยู่ในที่ ๆ หนึ่ง (ซึ่งแสดงด้วยเครื่องหมาย Sum) แล้วก่อนที่จะยิงสัญญาณนั้นออกไปก็อาจจะมีการแปลงสัญญาณ ซึ่งการแปลงสัญญาณนี้อาจจะกระทำผ่านฟังก์ชันบางอย่าง (ในตัวอย่างแสดงด้วยฟังก์ชันทำนบ) แล้วจึงจะออกมาเป็นสัญญาณส่งออก (Output) คือ  $Y$  ที่จะส่งไปยังเป็น Input ของเซลล์สมองตัวต่อไป ต่อมาเมื่อได้แบบจำลองเซลล์สมองแล้ว ก็อาจจะพิจารณาได้ว่าในบรรดาข้อมูลนำเข้าทั้งหลายนั้น ( $X$ ) ข้อมูลแต่ละเรื่องอาจจะมีค่าความสำคัญมากน้อยต่างกัน จึงมีการกำหนดค่าน้ำหนัก ( $W$ ) ให้กับแต่ละข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ดังนี้



รูปที่ 2.17 การกำหนดน้ำหนักของข้อมูลแต่ละชุด

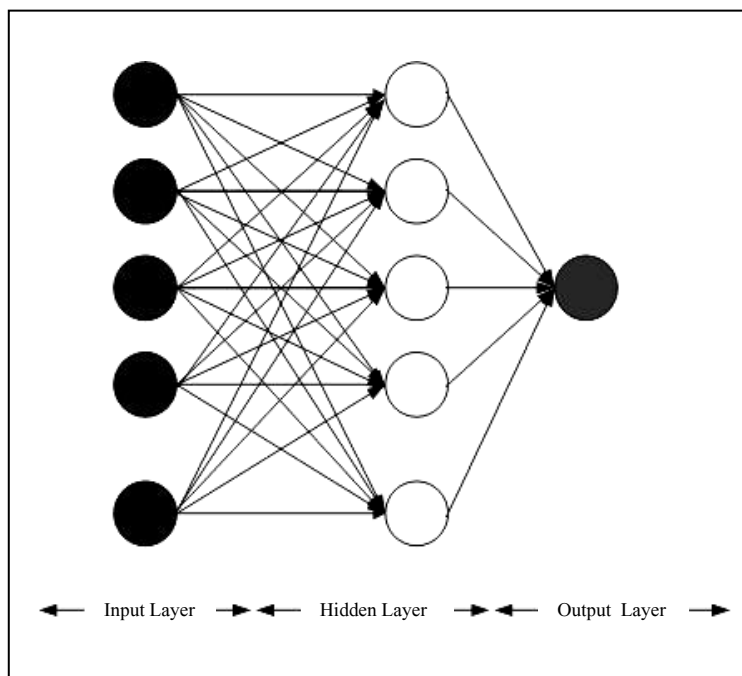
ดังนั้นหลังจากการรวมสัญญาณนำเข้าซึ่งทำกรให้น้ำหนักของความสำเร็จของข้อมูลแล้วเมื่อนำมารวมกันเข้าทุกข้อมูลก็จะได้เป็นผลลัพธ์ออกมา ดังสมการที่ (2.3)

$$W_1 X_1 + W_2 X_2 + \dots + W_n X_n = \sum_{i=1}^n W_i X_i = F(x) \quad (2.3)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จะต้องนำมาแปลงสัญญาณก่อนที่จะส่งต่อออกไป การแปลงสัญญาณนี้มีเหตุผลอย่างน้อยสองประการ คือ หนึ่ง เพื่อที่จะสะท้อนการตัดสินใจบางอย่าง เช่น การสั่งการให้ทำ หรือไม่ทำ และสอง เพื่อที่จะจัดระเบียบของสัญญาณนำเข้า ที่เซลล์อื่นจะได้รับต่อไป การเลือกรับและส่งสัญญาณเป็นเลข 0 กับ 1

## 2.6.2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทประดิษฐ์

รูปแบบโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 จะประกอบด้วย Node ในแต่ละชั้นเลเยอร์และการเชื่อมต่อกันภายในระหว่างชั้นเลเยอร์ดังนี้



รูปที่ 2.18 โครงสร้างโครงข่ายประสาทประดิษฐ์



1) ชั้นข้อมูลป้อนเข้า (Input Layer) จะมีเพียงชั้นเดียว จำนวน Node จะมีเท่ากับจำนวนของข้อมูลป้อนเข้า (Input Data) การคำนวณในชั้น Input Node จะเป็นเพียงการแปลงค่าข้อมูลให้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เนื่องจากข้อมูลดิบจะเป็นตัวเลขที่มีค่า และหน่วยของข้อมูลมีรูปแบบที่ไม่เหมือนกันจึงต้องแปลงให้อยู่ในรูปแบบช่วงของข้อมูลเดียวกัน

2) ชั้นซ่อนหรือชั้นแอบแฝง (Hidden Layer) โดยทั่วไปจำนวนชั้นและจำนวน Node จะเป็นเท่าใดไม่มีข้อจำกัดแน่นอนตายตัว แต่ถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวน Node มาก ๆ จะทำให้ช้ามากในการคำนวณ (Over Fitting) และผลที่ได้ดีหรือไม่ดี ไม่อาจจะทราบได้ และถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวน Node น้อยเกินไป จะทำให้ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน ไม่ลู่เข้าจุดต่ำสุด (Convergent) และผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ถูกต้อง ต้องทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่าง Neural Network ที่มีจำนวนชั้น Hidden Layer ต่างๆ กัน และจำนวน Node ในชั้น Hidden Layer นั้น ๆ ว่ามีจำนวนเท่าไรจะทำให้การคำนวณได้ผลดีกว่ากัน

3) ชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) จะมีชั้นเดียวและจะมีจำนวน Node เท่ากับจำนวน Output ที่ต้องการ

การคำนวณของ Artificial Neural Network (ANN) จะอยู่ที่ Node ในชั้น Hidden Layer และ ชั้น Output Layer เป็นหลัก สำหรับ Node ในชั้น Input Layer จะเป็นเพียงกระบวนการปรับข้อมูล (Data Processing) เท่านั้น โดย Input จะมารวมเข้ากันที่ Node แล้วผ่านขั้นตอนความสัมพัทธ์ ซึ่งมี Connection Weight และค่า Bias ร่วมด้วย

### 2.6.3 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทประดิษฐ์

ในการทำ ANN มาประยุกต์ใช้งานนั้นแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลักคือขั้นตอนการฝึกหัด (Training) หรือเรียนรู้ (Learning) และขั้นตอนการทดสอบ (Testing) หรือใช้งานจริง ซึ่งในขั้นตอนการเรียนรู้นั้นมีการพัฒนาและเสนอรูปแบบจำลองการเรียนรู้ออกมามากมายสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก คือ

#### 1) การเรียนรู้แบบมีครูสอน (Supervised Learning)

การเรียนรู้แบบมีครูสอนต้องมีชุดของตัวอย่างในการปรับสอน (Training Set) เพื่อแสดงพฤติกรรมที่แท้จริงของเครือข่ายประสาทนั้นๆ เมื่อใส่ตัวแปรป้อนเข้าให้กับ ANN ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกบันทึกไว้ แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ต้องการ ว่ามีค่าความผิดพลาดมากน้อยเพียงไร ถ้ามีความผิดพลาดสูงอยู่ จะทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและทำการสอนต่อไป จนกว่าค่าตัวแปรด้านออกมีค่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ต้องการจึงหยุดการสอน โดยการเรียนรู้แบบมีครูสอนจะใช้วิธีการแพร่กระจายกลับ (Back-Propagation) ภายในโครงข่ายประสาทแบบหลายชั้น

### 2) การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอน (Unsupervised Learning)

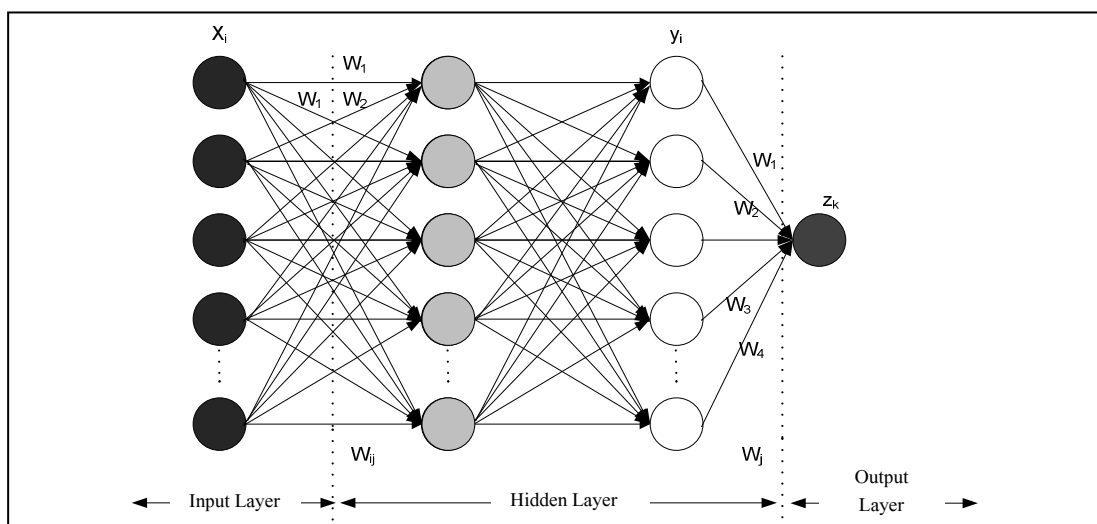
การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอนนี้ ค่าถ่วงน้ำหนักจะถูกปรับให้สอดคล้องกับตัวแปรป้อนเข้าเท่านั้น ไม่ต้องใช้ค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ ส่วนมากใช้ในงานแบ่งกลุ่ม (Clustering Operation or Network Classifier) ตัวอย่างเช่น มีกลุ่มคนอยู่ 10,000 คน ซึ่งต้องการแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ โดยที่ไม่ทราบว่าจะแบ่งด้วยเกณฑ์อะไรดี ปัญหาอย่างนี้เหมาะกับการเรียนรู้แบบไม่มีครูสอนเป็นอย่างยิ่ง นั่นคือมีเฉพาะค่าอินพุตเท่านั้น ส่วนเอาต์พุต ANN จะต้องเป็นผู้ระบุให้ อย่างนี้เป็นต้น

### 3) การเรียนรู้แบบเสริม (Reinforcement Learning)

การเรียนรู้แบบเสริมนี้คล้ายกับการเรียนรู้แบบมีครูสอน ยกเว้นแทนที่จะปรับค่าผลลัพธ์ให้เท่ากับผลลัพธ์ที่ต้องการในแต่ละตัวแปรป้อนเข้า แต่จะปรับให้อยู่ในระดับคะแนน (Grade) ที่ต้องการแทน โดยใช้ตัวประเมินผลเป็นตัวปรับค่าผิดพลาด การปรับสอนแบบนี้เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานระดับควบคุม

## 2.6.4 โครงข่ายประสาทแบบหลายชั้น (Multi-Layer Network)

โครงข่ายประสาทแบบหลายชั้นเป็นโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ที่สำคัญแบบหนึ่ง ประกอบด้วยส่วนข้อมูล ซึ่งโดยทั่วไปเรียกว่าชั้นตัวแปรป้อนเข้า (Input Layer) มีส่วนการคำนวณ (Computation Nodes) เรียกว่าชั้นซ่อนหรือชั้นแอบแฝง (Hidden Layers) ซึ่งจะมากมีหนึ่งชั้นและมี ส่วนส่งข้อมูลออกจากส่วนการคำนวณเรียกว่าชั้นผลลัพธ์ (Output Layers) และมีรูปแบบการสอนในแบบทิศทางการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Feed Forward Network) ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 โครงสร้างโครงข่ายประสาทประดิษฐ์แบบหลายชั้น

โครงข่ายประสาทแบบหลายชั้นได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนและปัญหาที่ไม่คุ้นเคย (Diverse Problems) ด้วยการปรับสอน (Training) ของโครงข่ายประสาทแบบชั้นเดียวได้ วิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางคือ วิธีการแพร่กระจายกลับ (Error Back-Propagation Algorithm) ซึ่งวิธีนี้ขึ้นอยู่กับกฎการเรียนรู้เพื่อปรับค่าความผิดพลาด (Error-Correction Learning Rule)

### 2.6.5 วิธีการแพร่กระจายกลับ (Back-Propagation Algorithm)

วิธีการแพร่กระจายกลับเป็นการแพร่กระจายความผิดพลาดกลับ ซึ่งประกอบด้วย การส่งผ่านสองแบบระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทคือ การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward Pass) และการเคลื่อนที่แบบย้อนกลับ (Backwash Pass) ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าข้อมูลจะถูกป้อนเข้าสู่โครงข่ายประสาทในชั้นตัวแปรด้านเข้าเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นแอบแฝงเพื่อคำนวณจนได้ผลลัพธ์ออกมาที่ชั้นตัวแปรด้านออก เมื่อมีตัวแปรด้านเข้าสู่โครงข่ายประสาทในระหว่างการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อกันระหว่างชั้นของตัวแปรในโครงข่ายประสาททั้งหมดยังคงที่ และระหว่างการเคลื่อนที่ย้อนกลับจะตรงข้ามกันคือ ค่าของตัวถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทจะถูกปรับเปลี่ยนค่าไปตามกฎการปรับเปลี่ยนค่าความผิดพลาด (Error-Correction Rule) โดยที่ค่าผลลัพธ์ที่ได้ของโครงข่ายประสาทไปลบกับผลลัพธ์ที่ต้องการ (Desired หรือ Target) คือ ค่าความผิดพลาด (Error) ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะแพร่กระจายกลับไปยังโครงข่ายตามทิศทางของการเชื่อมต่อ ดังนั้นจึงได้ชื่อว่า การแพร่กระจายความผิดพลาดกลับ (Error Back-Propagation) ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อจะถูกปรับเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายเข้าใกล้ผลลัพธ์ที่ต้องการ

### 2.6.6 ข้อดีและข้อเสียของโครงข่ายประสาทประดิษฐ์

โครงข่ายประสาทประดิษฐ์มีจุดเด่นด้านการเรียนรู้จากข้อมูล มีการปรับแต่งความรู้ที่ซ่อนอยู่ภายในเครือข่ายที่มีการต่อเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น มีการส่งผ่านข้อมูลที่จะประมวลผลจากอินพุตไปยังเอาต์พุตแบบขนาน การประมวลผลของโครงข่ายประสาทประดิษฐ์จึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่มีจุดด้อยในด้านการตีความหาเหตุผล เพราะโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ไม่สามารถให้เหตุผลได้ว่าเพราะเหตุใดจึงมีข้อสรุปออกมาดังที่ปรากฏที่เอาต์พุตของโครงข่าย

## 2.7 ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic)

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) ศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักศึกษาด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ ควรจะได้ศึกษาเพื่อทำความเข้าใจในศาสตร์ฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียมให้ลึกซึ้ง ทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ ซึ่ง

นับวันจะยังมีความต้องการระบบคอมพิวเตอร์ ที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนระบบได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป มีการตัดสินใจแบบชาญฉลาดยิ่งมนุษย์ได้มากขึ้น ซึ่งมนุษย์สามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ไม่เคยพบได้โดยอาศัยความรู้เท่าที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.7.1 ระบบฟัซซี่

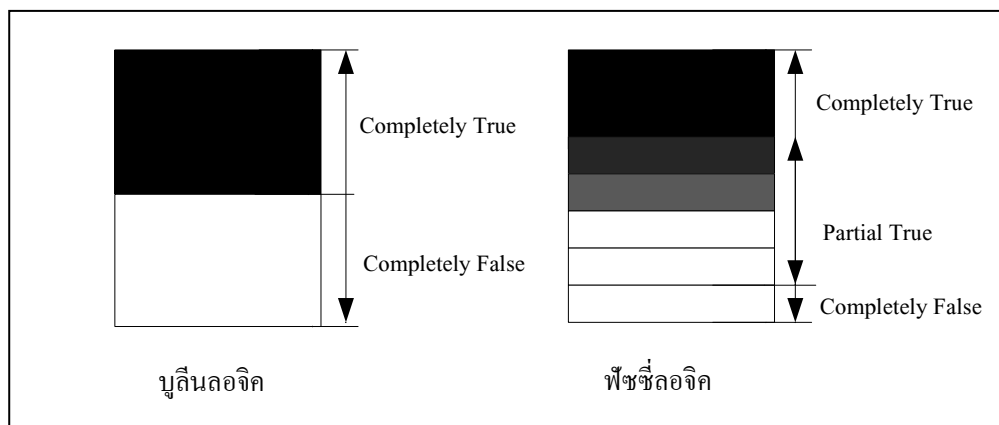
เป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงาน โดยอาศัยฟัซซี่ลอจิกที่คิดค้น โดย L.A. Zadeh ในปี ค.ศ.1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ฟัซซี่ลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (Uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (Fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (Exact) ยกตัวอย่างเช่น เซตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และวัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคน ไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัยเด็ก แยกจากกันแน่ชัด ช่วงใด วัยทารกอาจถูกตีความว่าเป็นอายุระหว่าง 0 ถึง 1 ปี บางคนอาจตีความว่าวัยทารกอยู่ในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี ในทำนองเดียวกัน วัยเด็กและวัยรุ่น ก็ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าช่วงต่อของอายุควรจะอยู่ในช่วงใด อาจตีความว่าวัยเด็กมีอายุอยู่ในช่วง 1 ถึง 12 ปี หรืออาจเป็น 2 ถึง 10 ปี เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอน เช่นนี้เรียกว่า ฟัซซี่เซต (Fuzzy Set)

จากแนวความคิดของ Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอนได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มากมายจนนับไม่ถ้วน ได้มีนักวิจัยได้คิดค้นทฤษฎีเสริมกับแนวคิดเดิมจนทำให้ฟัซซี่โดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่าฟัซซี่เซตจะนำเสนอจากคนอเมริกันแต่ประเทศอเมริกาก็ไม่ได้นำไปประยุกต์ใช้อย่างจริงจังในช่วงต้น ๆ แต่ประเทศญี่ปุ่นเล็งเห็นคุณค่าของศาสตร์ด้านนี้ได้เป็นผู้บุกเบิกฟัซซี่เซตทางการค้า โดยได้นำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้ามากมาย เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว และอื่น ๆ อีกมากมาย ในยุคปัจจุบันประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้ความสำคัญกับศาสตร์นี้มากขึ้น โดยได้มีการทุ่มงบประมาณให้การวิจัยมากขึ้น

### 2.7.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซี่ลอจิก

ตรรกะแบบฟัซซี่ (Fuzzy Logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายในได้ ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซี่ลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงแท้ (Boolean Logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial True) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วง

ระหว่างจริง (Completely True) กับเท็จ (Completely False) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.20



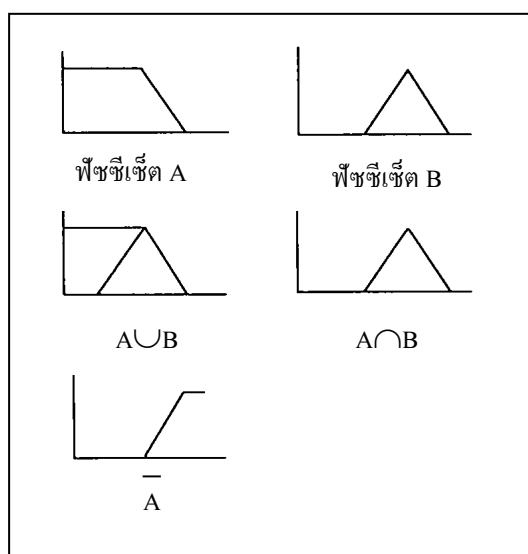
รูปที่ 2.20 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี่ (ฟัซซี่ลอจิก)

ความเป็นฟัซซี่ (Fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (Multivalance) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับ ไบวาลานซ์ (Bivalence) ที่ความความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซี่เซต (Fuzz Set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (Uncertainty)” สามารถที่ ไม่ใช่เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่น้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่น้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน จะสร้างและกำหนดรูปแบบ (Modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซี่เซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปร (Linguistic) มากกว่าปริมาณ (Quantitative) ของตัวแปร

### 2.7.3 ฟัซซี่เซตและตัวควบคุมแบบฟัซซี่

ฟัซซี่เซต (Fuzzy Set) เป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัซซี่เซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับโดยฟัซซี่เซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 โดยค่า 1 จะแสดงค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดและ 0 จะแสดงค่าความเป็นสมาชิกต่ำสุด ตัวอย่างดำเนินการของฟัซซี่เซต (Fuzzy Set Operation) แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.21 เนื่องจากฟัซซี่เซตนี้นำมาอธิบายและให้ความหมายกับลักษณะงานที่มีความไม่ชัดเจนหรือความคลุมเครือของปริมาณได้ดีกว่าการอธิบายด้วยเซตแบบดั้งเดิม นอกจากนี้แล้วฟัซซี่เซตยังสอดคล้องและนำมาใช้อธิบายภาษามนุษย์ในการควบคุมระบบได้เป็นอย่างดี ฟัซซี่เซตจึงถูกนำมาใช้ในการควบคุมอุตสาหกรรมและ

ด้านอื่น ๆ ได้คิดทั้งนี้เพราะกระบวนการทางอุตสาหกรรม หรือระบบซึ่งงานร่วมกันอย่างซับซ้อนนั้น มักยากที่จะอธิบายด้วยสมการคณิตศาสตร์โดยละเอียดได้ ซึ่งแบบจำลองของกระบวนการนี้นับว่ามีความสำคัญอย่างมากต่อการออกแบบระบบควบคุมซึ่งต้องอ้างอิงอยู่กับการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งต่างจากการทำงานของตัวควบคุมแบบพีซีซึ่งไม่ต้องการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่อย่างใด



รูปที่ 2.21 การดำเนินการของฟuzzyเซต

#### 2.7.4 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟuzzyลอจิก

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟuzzy ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดังนี้ ดังรูปที่ 2.22

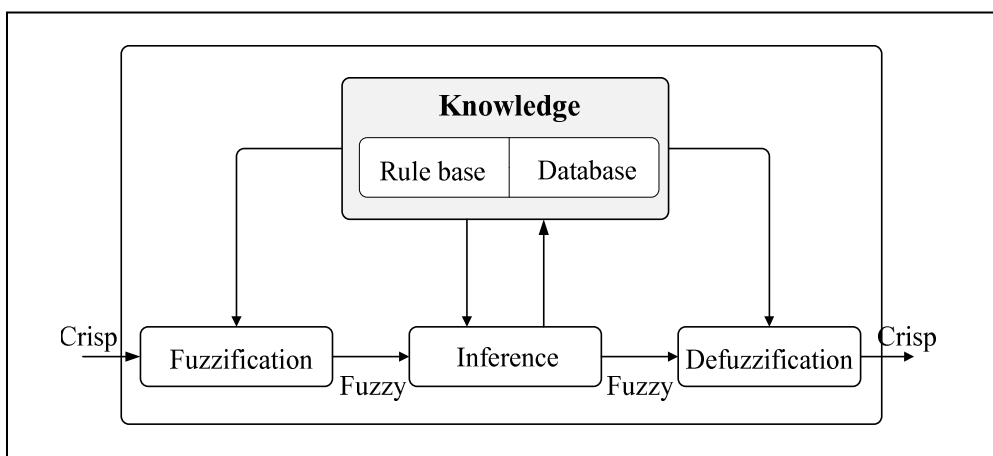
ส่วนที่แปลงการอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟuzzy (Fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟuzzy หรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

ฐานความรู้ (Knowledge Base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุม ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule Base) และฐานข้อมูล (Database)

- ฐานกฎ (Rule base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุมซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic Rule)

- **ฐานข้อมูล (Database)** เป็นการจัดเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

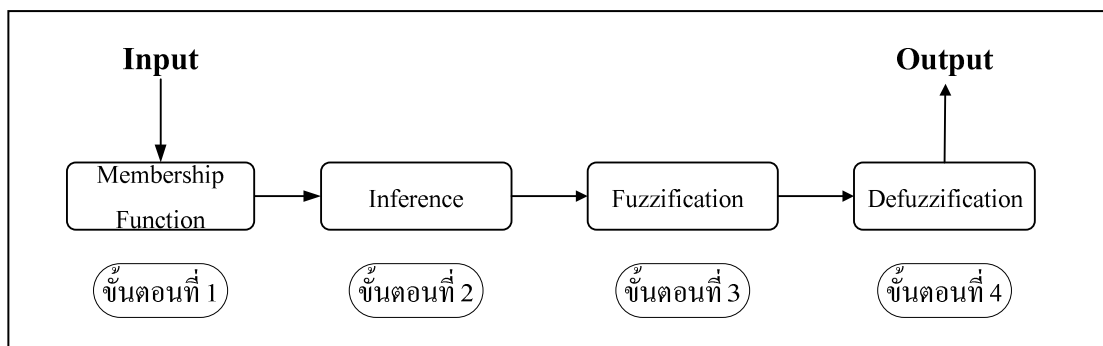
ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซี่ให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ



รูปที่ 2.22 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี่

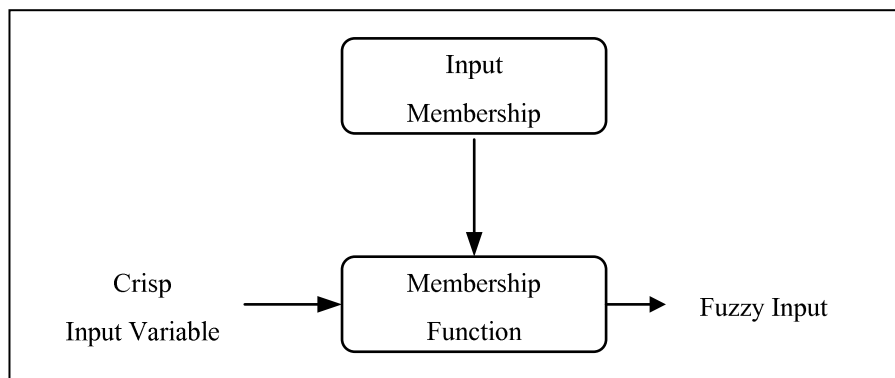
### 2.7.5 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนจะแสดงดังรูปที่ 2.23



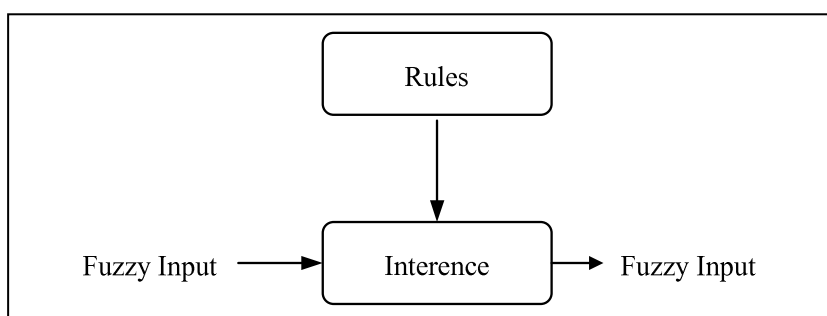
รูปที่ 2.23 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต (Input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต (Output) ที่น่าสนใจ โดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซีการอินพุต รูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

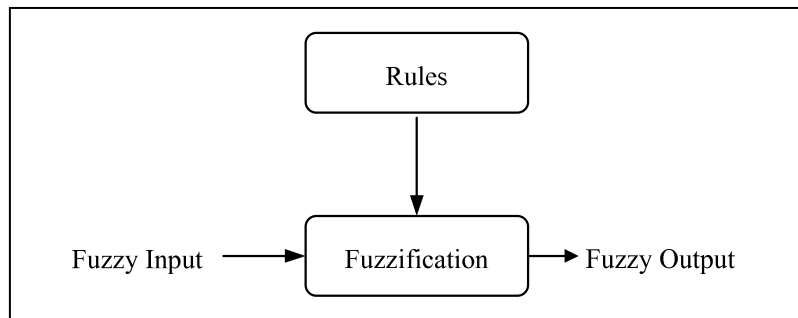
ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะมีการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกันเพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม รูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

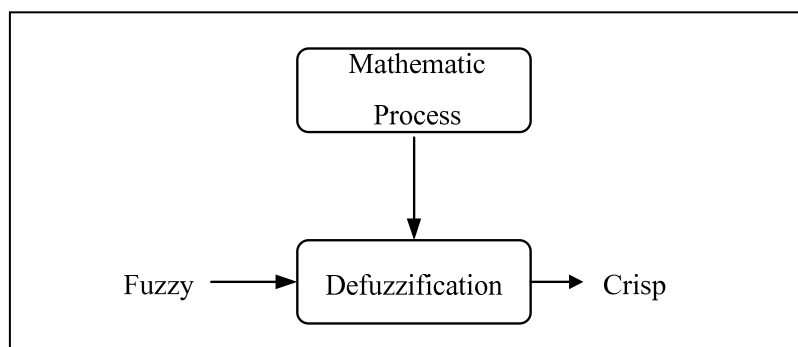


ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซี่เอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซี่อินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผลรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ขั้นตอนที่ 3 การหาฟัซซี่เอาต์พุต

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี่ โดยจะเปลี่ยนฟัซซี่เอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตามรูปที่ 2.27 และด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์เช่น วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ



รูปที่ 2.27 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

วิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผล  
เลือกใช้ Max-Min Method และ Max-Dot Method

วิธีการทำค่าฟัซซี่ให้เป็นค่าปกติ (Defuzzification) วิธีการที่เป็นเทคนิคการเลือก  
ค่าสูงสุดหรือสรุปหาเหตุผลจากหลายๆ เซตมาเพียงค่าเดียว ซึ่งเป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการ  
เป็นสมาชิกจากการกระทำหลายๆ แบบ และเลือกกระทำเพียงรูปแบบเดียว

วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity :COG) เป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จาก  
การตีความหาเหตุผลที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ค่าที่ได้จะคำนวณจุดศูนย์กลางถ่วงโดยรวมจะหาได้จากการ  
ประมาณค่าจากสมการที่ (2.4)

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^N a_i w_i}{\sum_{i=1}^N a_i} \quad (2.4)$$

โดย  $COG$  = ค่าของจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity)  
 $N$  = ค่าตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 1  
 $a_i$  = ค่าฟัซซี่ของเอาต์พุตในเซตฟัซซี่ตำแหน่งที่ 1  
 $w_i$  = พื้นที่ใต้โค้งของเซตฟัซซี่ตำแหน่งที่ 1

### 2.7.6 ข้อดีและข้อเสียของฟัซซี่ลอจิก

ฟัซซี่ลอจิกมีข้อดีในเรื่องการมีเหตุผลเชิงตรรกะ โครงสร้างของระบบฟัซซี่  
สามารถเข้าใจได้เนื่องจากสามารถตีความได้ในรูป If- Then ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะความคิดของ  
มนุษย์ นอกจากนั้น ฟัซซี่ลอจิกยังช่วยในการตัดสินใจที่คลุมเครือที่ยอมให้การตัดสินใจเป็นแบบ  
บางส่วน ไม่ใช่ผิดหรือถูกเพียงสองสถานะดังตรรกะแบบดั้งเดิม แต่จะเป็นดีกรีของความถูกหรือผิด  
ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่แล้ว ส่วนข้อเสียของระบบฟัซซี่ก็คือไม่มีกระบวนการ  
เรียนรู้ในการปรับแต่ง โครงสร้างซึ่งกฎและตัวแปรต่างๆ ในระบบตัวเอง จึงถือเป็นข้อด้อยของระบบ  
การสร้างระบบฟัซซี่จึงอาจจะไม่สัมฤทธิ์ผล

## 2.8 สรุปการทบทวนวรรณกรรม

ปริมาณสารแขวนลอย (Suspended Solids) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพทั้งในด้านของการนำค่า MLSS ไปใช้ในถังเติมอากาศ และการนำค่า SS ไปใช้ในน้ำทิ้ง ทั้งสองค่านี้เกิดจากอนุภาคสารแขวนลอยในน้ำที่ทำให้เกิดความขุ่นและทำให้เกิดการกระจายของแสงผ่านไปยังตัวอย่างน้ำได้น้อยในขณะเดียวกันความขุ่นถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการนำไปใช้เพื่อตรวจติดตามควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งในระบบประปา น้ำดี น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ และแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งได้ใช้หลักการตรวจวัดด้วยหลักการวิธีเนเฟโลเมตริก (Nephelometric Method) การใช้เครื่องวัดความขุ่นด้วยหลักการนี้เป็นวิธีการที่วัดความขุ่นได้อย่างสะดวก รวดเร็วและแม่นยำ โดยอาศัยหลักการให้แสงส่องไปยังอนุภาค ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงที่กระทบกับอนุภาคเปลี่ยนไป แสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงจะให้ค่าความยาวคลื่นที่อยู่ในช่วง 400-600 นาโนเมตร ค่าความขุ่นจะบอกได้จากแสงที่ผ่านไปยังอุปกรณ์รับแสงและแสดงค่าความขุ่นไว้ที่หน้าจอแสดงผล การวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่นนี้เป็นวิธีถูกต้องและแม่นยำ และไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับ การตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยตามวิธีมาตรฐานด้วยการกรองด้วยกระดาษกรองจะใช้เวลานาน ยุ่งยาก และสิ้นเปลืองกระดาษกรอง ซึ่งจะมีต้นทุนในการวิเคราะห์ที่สูงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นจากงานวิจัยที่ได้ศึกษานั้นเครื่องวัดความขุ่นนำมาใช้เพื่อตรวจติดตามปริมาณสารแขวนลอย ตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ ลำคลอง คูแนวโน้มของปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำว่ามีปริมาณสูงหรือต่ำ เพราะจะมีผลต่อค่าความขุ่นของน้ำ การกัดเซาะ การพังทลายของหน้าดิน และความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่จะอยู่ในน้ำได้ ดังนั้นหากได้มีศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นในระบบบำบัดน้ำเสีย ด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องวัดความขุ่นที่มีหลักการเนเฟโลเมตริกมาใช้ในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอย โดยนำหลักการวิเคราะห์ทางสถิติเข้ามาศึกษาความเป็นไปได้ต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการเดินระบบและการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียนั้น ซึ่งช่วยให้การตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยได้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วมากกว่าการกรองด้วยวิธีวัดด้วยกระดาษกรองตามวิธีมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อประยุกต์ใช้เครื่องวัดความขุ่นมาตรฐานตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง เนื่องจากวิธีการวัดสารแขวนลอยตามมาตรฐาน 2540 D. มีความยุ่งยากซับซ้อน และใช้เวลานานในการวิเคราะห์ จึงได้มีการวิจัยเชิงทดลองด้วยการนำเครื่องวัดความขุ่นจำนวน 3 เครื่องมาใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่ แบบความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) แบบโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Networks) และแบบฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) จากแบบจำลองทั้งสามวิธีนี้จะนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ดังแสดงขั้นตอนการวิจัยในรูปที่ 3.2

เครื่องวัดความขุ่นที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้ใช้จากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม อาคารเครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจำนวน 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องวัดค่าความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น Ratio/XR (Hach Corporation, 1991) สามารถวัดความขุ่นได้อยู่ในช่วงค่าความขุ่น 0-2000 NTU และ เครื่องวัดค่าความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N (Hach Corporation, 1995) สามารถวัดความขุ่นได้อยู่ในช่วงค่าความขุ่น 0-4000 NTU และอีก 1 เครื่องเป็นเครื่องวัดความขุ่นแบบพกพายี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 สามารถวัดความขุ่นได้อยู่ในช่วงค่าความขุ่น 0-1000 NTU ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.1-3.2



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N



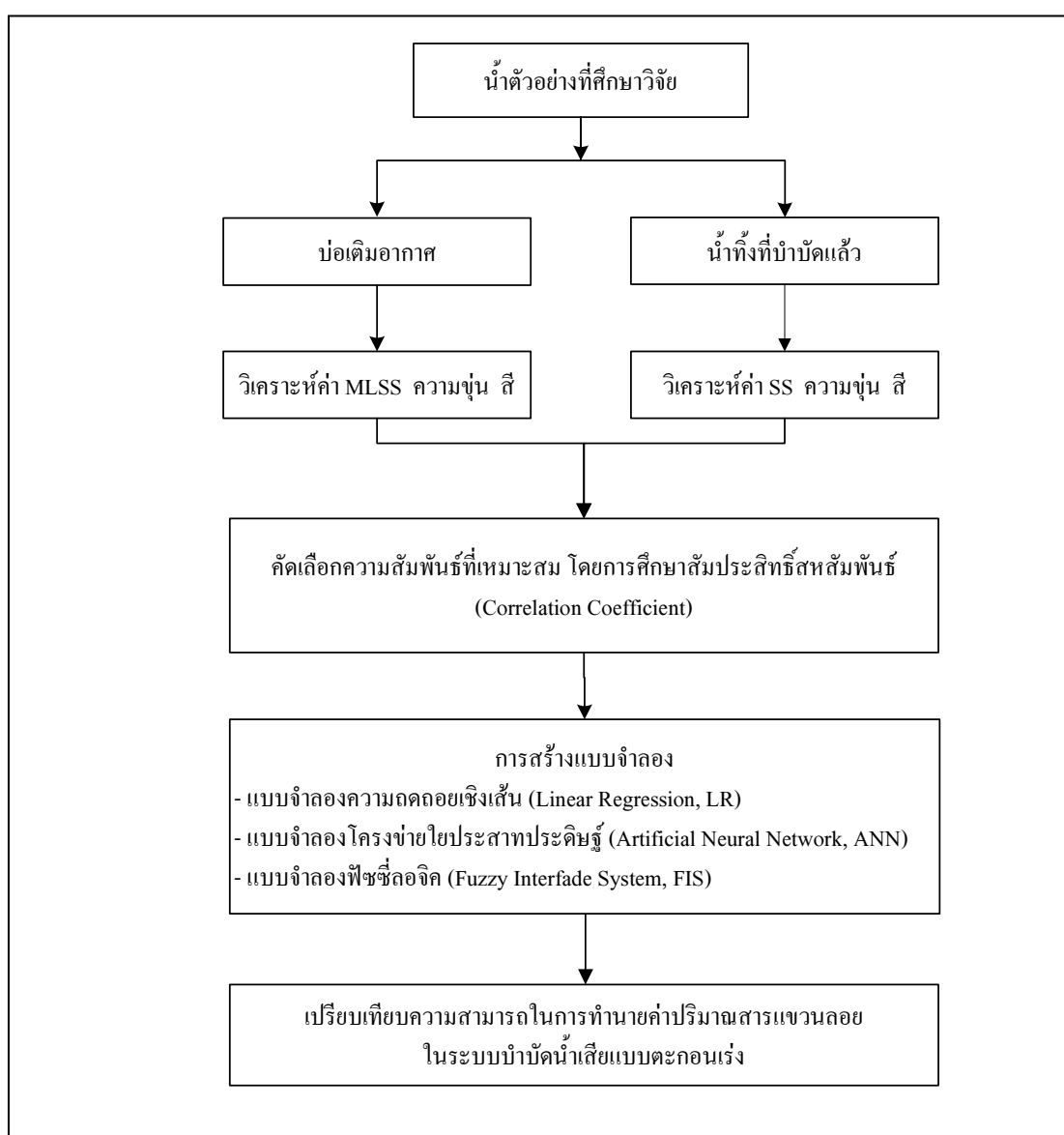
รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100

การวิจัยการประยุกต์เครื่องวัดความขุ่นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยได้จริงนั้น ได้เก็บน้ำตัวอย่างจาก 3 แห่ง ได้แก่ (1) โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา (2) โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และ (3) บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) โดยน้ำเสียจากโรงพยาบาลทั้ง 2 แห่งนี้ใช้เป็นตัวแทนน้ำเสียชุมชน เนื่องจากในจังหวัดนครราชสีมา นั้นยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และให้น้ำเสียจากบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) เป็นตัวแทนของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ละแห่งจะแบ่งจุดเก็บออกเป็น 2 จุด ได้แก่ จุดเก็บน้ำตัวอย่างในบ่อเติมอากาศและในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว โดยในงานวิจัยนี้ น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีทั้งในส่วนที่ไม่มีการเจือจางและมีการเจือจางในอัตราส่วน 1:5 1:10 1:50 และ 1:100 ตามลำดับ (โดยจะกล่าวการใช้สัญลักษณ์แทนตำแหน่งเก็บตัวอย่างในแต่ละสถานที่ในบทที่ 4 ต่อไป) จากรูปที่ 3.4 แสดงถึงการดำเนินการวิจัยสำหรับการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ

ตะกอนเร่งประกอบด้วยขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าปริมาณสารแขวนลอย วิเคราะห์ค่าความขุ่น วิเคราะห์สีจริงและสีปรากฏ ในการวัดความขุ่นนั้นจะจับเวลาที่เหมาะสมในการอ่านค่าความขุ่นในช่วงเวลา 15-120 วินาที และศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นในตำแหน่งเก็บตัวอย่างแตกต่างกันจากนั้นการคัดเลือกจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปสร้างแบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression : LR) แบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Network : ANN) และแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) พร้อมทั้งนี้ ได้ถึงศึกษาปัจจัยที่จะส่งผล



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษา

ต่อการวัดค่าความขุ่น โดยศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความขุ่นและค่าสีจริงและสีปรากฏด้วย และจากผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองดังกล่าวจะนำไปเปรียบเทียบความสามารถในการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างต่าง ๆ จากเครื่องวัดความขุ่นที่แตกต่างกันด้วย

### 3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง 3 แห่ง ได้เลือกจุดเก็บน้ำตัวอย่างที่บ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว ในการเก็บข้อมูลใช้ระยะเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน 2552 ขั้นตอนการวิจัยได้ออกแบบชุดการทดลอง 3 ชุด โดยรายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองมีดังต่อไปนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอ่านค่าความขุ่น

ชุดการทดลองที่ 2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น

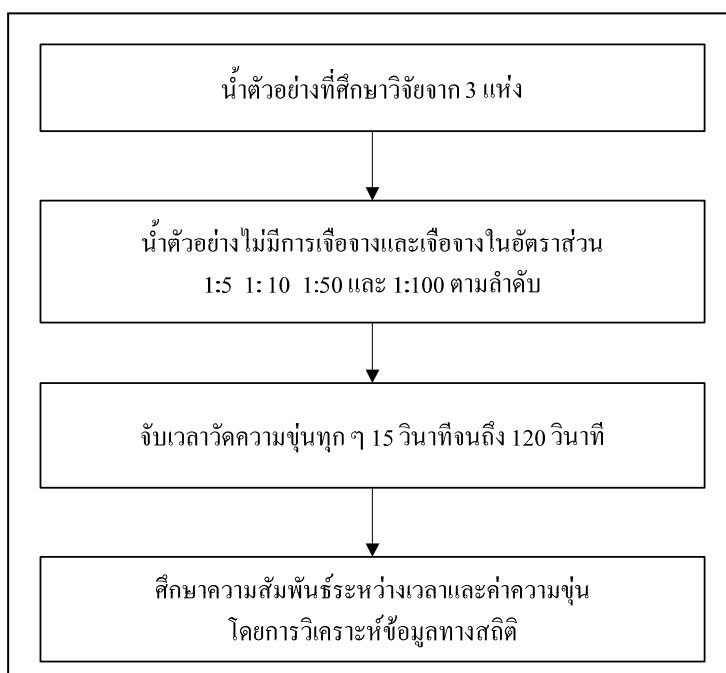
ชุดการทดลองที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของสีที่มีผลต่อการวัดความขุ่น

#### 3.2.1 ชุดการทดลองที่ 1

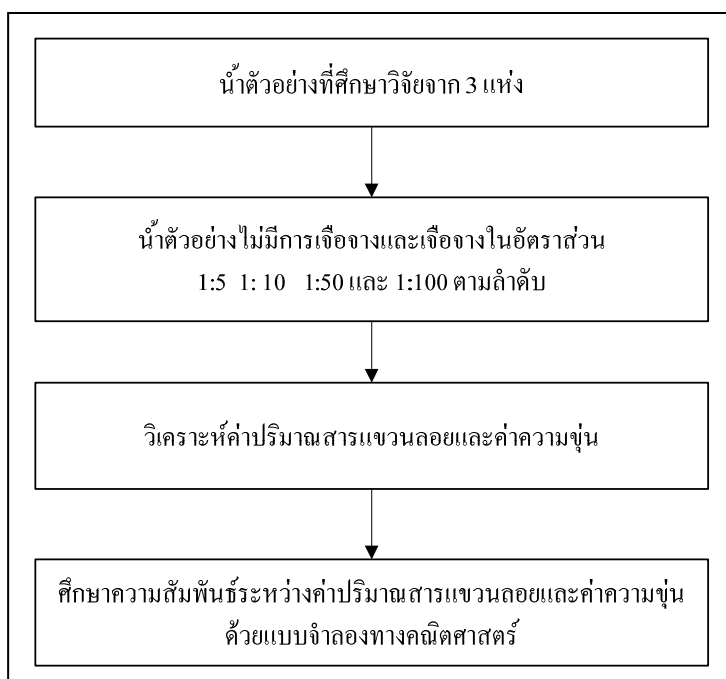
การทดลองศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอ่านค่าความขุ่นตั้งแต่การนำหลอดตัวอย่างใส่ลงไปในช่วงใส่ตัวอย่างของเครื่องวัดความขุ่นว่าเวลาใดเหมาะสมสำหรับการอ่านค่ามากที่สุด เนื่องจากเครื่องวัดความขุ่นบางชนิดไม่สามารถที่จะอ่านค่าความขุ่นออกมาได้ค่าที่นิ่งเลย ทั้งนี้ น้ำตัวอย่างจากตำแหน่งเก็บตัวอย่างจะไม่มี การเจือจางและเจือจางในอัตราส่วน 1:5 1: 10 1:50 และ 1:100 ตามลำดับก่อนการอ่านค่าความขุ่นควรมีการเขย่าตัวอย่างให้ผสมเข้ากันดีก่อนแล้วจับเวลาในการอ่านค่าความขุ่นภายใน 120 วินาที โดยอ่านค่าความขุ่นทุกๆ 15 วินาที ซึ่งได้แก่ 15 30 45 60 75 90 105 และ 120 วินาทีตามลำดับ ด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR และ รุ่น 2100N และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าความขุ่นที่วัดได้จากแต่ละเครื่องว่าที่เวลา 15 ถึง 120 มีความแตกต่างในการอ่านค่าความขุ่นของน้ำเสียบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วต่างกันหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติร้อยละ 95 ดังแสดงในรูปที่ 3.5

#### 3.2.2 ชุดการทดลองที่ 2

การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากแต่ละแห่ง ขั้นตอนการศึกษาชุดการทดลองที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 วิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอยด้วยวิธีการกรองด้วยกระดาษกรองตามมาตรฐาน 2540 D. และวิเคราะห์ค่าความขุ่น ตามวิธีมาตรฐานเนเพโลเมตริก 2130 B. ที่ไม่มีการเจือจางและเจือจางในอัตราส่วน 1:5 1: 10 1:50 และ 1:100 ตามลำดับด้วยเครื่องวัดความขุ่นทั้ง 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น Ratio/XR



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการศึกษาชุดการทดลองที่ 1



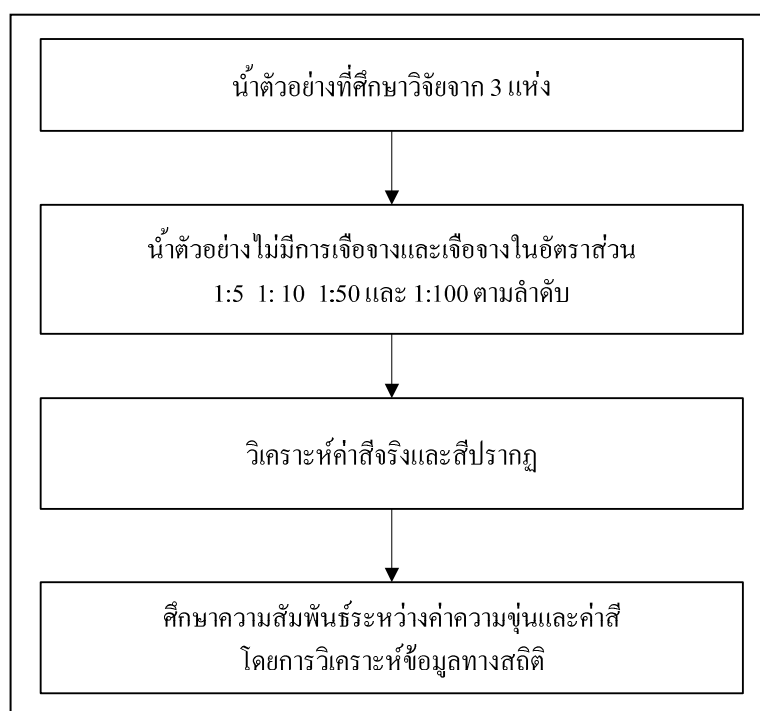
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการศึกษาชุดการทดลองที่ 2



และ รุ่น 2100N และเครื่องวัดความขุ่นแบบพกพาที่หือ EUTECH รุ่น TN100 และศึกษาข้อมูลทางสถิติของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการแปลงค่าตัวแปรให้เปลี่ยน ไปอยู่ในรูปลอการิทึมธรรมชาติจากนั้นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 แบบ ได้แก่ แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทประดิษฐ์ และแบบจำลองพีชชีลอจิก

### 3.2.3 ชุดการทดลองที่ 3

การทดลองศึกษาอิทธิพลของสีที่มีผลต่อการวัดค่าความขุ่น โดยค่าความขุ่นจะใช้เครื่องวัดความขุ่นHACHรุ่น Ratio/XR และ รุ่น 2100N และเครื่องวัดความขุ่นแบบพกพาที่หือ EUTECH รุ่น TN100 ใช้วิธีการตรวจวัดสีตามมาตรฐานแพลตตินัม-โคบอลต์ และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยแยกอิทธิพลของสีที่มีผลต่อการวัดค่าความขุ่นในน้ำเสียป่อเติมอากาศ และน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว ขั้นตอนการศึกษาชุดการทดลองที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการศึกษาชุดการทดลองที่ 3

### 3.3 สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ

ระบบบำบัดน้ำเสียระบบเลี้ยงตะกอนเร่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันมาก ซึ่งใช้จุลินทรีย์และเครื่องเติมอากาศในการบำบัดน้ำเสีย ทำให้จำเป็นต้องมีการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงได้เลือกจุดเก็บน้ำตัวอย่างที่เหมาะสม ในบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วมาใช้ในวิเคราะห์งานวิจัยนี้ สำหรับสถานที่ที่เป็นจุดเก็บตัวอย่างนั้นได้แบ่งเป็น 3 แห่ง ได้แก่

- 1) โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา
- 2) โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา
- 3) บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน)

การเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนในการศึกษานี้ ควรคำนึงถึงข้อจำกัดของทรัพยากร เช่น งบประมาณและเวลาด้วย จึงได้กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างในแต่ละจุดเก็บตามวิธีของทากิยามาเน (Yamane, 1970) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (เกียรติสุดา ศรีสุข, 2006; ยุทธ ไกยวรรณ, 2546) สำหรับสถานที่เก็บน้ำตัวอย่าง 3 แห่งนี้ได้ใช้การเก็บรวบรวมกลุ่มตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางสรุปจุดเก็บ และจำนวนตัวอย่างในการเก็บ

สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำ	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	จำนวนตัวอย่าง
โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา	บ่อเติมอากาศ 2	30
	บ่อน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว	30
โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา	บ่อเติมอากาศ	30
	บ่อน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว	30
บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน)	บ่อเติมอากาศ	30
	บ่อน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว	30

โดยในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาสรุปเป็นคำตอบของการวิจัยนั้นได้รวบรวมข้อมูลเป็นระยะเวลา 4 เดือนตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน 2552 มีความถี่ในการเก็บตัวอย่างเฉลี่ยอาทิตย์ละ 2 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 3.2 แสดงถึงจำนวนในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของแต่ละเดือน ในเก็บน้ำตัวอย่างจากตำแหน่งเก็บตัวอย่างใช้วิธีแบบจ้วงสำหรับการวิจัย (Grab Sample) และแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (กรมอนามัย, 2539)

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงจำนวนและค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ของแต่ละเดือน

เดือน (สัปดาห์ละ 2 ครั้ง)	จำนวนครั้งใน การเก็บ/ เดือน	พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์			
		ค่าปริมาณสาร แขวนลอย	ค่าความขุ่น	ค่าสีจริง	ค่าสีปรากฏ
มิถุนายน	8	8	8	8	8
กรกฎาคม	8	8	8	8	8
สิงหาคม	8	8	8	8	8
กันยายน	6	6	6	6	6
รวม	30	30	30	30	30

### 3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา

น้ำตัวอย่างที่ได้เก็บจาก 3 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา โรงพยาบาลศูนย์  
อนามย์ที่ 5 นครราชสีมา และบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) จะถูกเก็บสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เป็น  
ระยะเวลา 4 เดือนดังตารางที่ 3.3 ให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีการตรวจวัดในแต่ละจุดเก็บและ  
ตารางที่ 3.4 แสดงถึงวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ โดยแสดงรายละเอียดในการวิเคราะห์หาค่า  
ค่าความขุ่น ค่าปริมาณสารแขวนลอย และค่าสีจริงและสีปรากฏมีดังต่อไปนี้

#### 3.4.1 การวิเคราะห์ค่าความขุ่น

ความขุ่นของน้ำตัวอย่างจะทำการวิเคราะห์นี้จากสถานที่จุดเก็บตัวอย่างน้ำและ  
วิธีการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4 ในการวิเคราะห์แต่ละกรณีศึกษาที่มาจากสถานที่  
แตกต่างกันและจุดเก็บต่างกัน จะใช้จำนวนของตัวอย่างในการวิเคราะห์อย่างละ 30 ตัวอย่าง โดย  
การวิเคราะห์ค่าความขุ่นจะเป็นไปตามวิธีการตรวจวัดมาตรฐาน 2130B โดยใช้เครื่องวัดความขุ่น  
HACH รุ่น RATIO/XR และ HACH รุ่น 2100N ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาคารศูนย์  
เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเครื่องวัดความขุ่นแบบพกพาชื่อ EUTECH รุ่น  
TN100 และจากนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

#### 3.4.2 การวิเคราะห์ค่าปริมาณสารแขวนลอย

ค่าปริมาณสารแขวนลอยของน้ำตัวอย่างจะทำการวิเคราะห์นี้จากสถานที่ จุดเก็บ  
ตัวอย่างน้ำ และวิธีการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4 ในการวิเคราะห์แต่ละกรณีศึกษา  
ที่มาจากสถานที่แตกต่างกันและจุดเก็บต่างกัน จะใช้จำนวนของตัวอย่างในการวิเคราะห์อย่างละ 30  
ตัวอย่าง โดยใช้วิธีการตรวจวัดตามมาตรฐาน 2540 D. ด้วยการใช้อุปกรณ์กรองด้วยกระดาษกรองจากนั้น  
ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ในแต่ละจุดเก็บน้ำตัวอย่าง

สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำ	จุดเก็บ	พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์				
		MLSS	SS	ความ ขุ่น	สีจริง	สี ปรากฏ
โรงพยาบาลมหาราช นครราชสีมา	บ่อเดิมอากาศ	/		/	/	/
	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว		/	/	/	/
โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา	บ่อเดิมอากาศ	/		/	/	/
	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว		/	/	/	/
บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน)	บ่อเดิมอากาศ	/		/	/	/
	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว		/	/	/	/

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	อ้างอิง
ค่าความขุ่น (Turbidity)	2130 B. Nephelometric Method	AHPA, AWWA, and WEF, 1998
ค่าปริมาณสารแขวนลอย (SS, MLSS)	2540 D. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C	AHPA, AWWA, and WEF, 1998
ค่าสีจริงและสีปรากฏ (Colour)	Platinum-Cobalt Method	AHPA, AWWA, and WEF, 1998

### 3.4.3 การวิเคราะห์สี

ค่าสีของตัวอย่างน้ำเป็นการศึกษาถึงอิทธิพลที่มีผลต่อการวัดค่าความขุ่น น้ำตัวอย่าง จะทำการวิเคราะห์น้ำจากสถานที่ จุดเก็บตัวอย่างน้ำ และวิธีการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4 ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในการวิเคราะห์แต่ละกรณีศึกษาที่มาจากสถานที่แตกต่างกันและจุดเก็บต่างกัน จะใช้จำนวนของตัวอย่างในการวิเคราะห์อย่างละ 30 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง UV-Visible ในการหา ค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับน้ำตัวอย่างนั้น และนำมาใช้ต่อในการวิเคราะห์ค่าสีตามวิธีมาตรฐานด้วย วิธีแพลตตินัม-โคบอลต์จากนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

### 3.5 สถานที่ทำการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัยได้รับความร่วมมือจากห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาคารศูนย์เครื่องมือ 4 และ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

### 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์สถิติ SPSS for Window 15 โดยแต่ละตัวแปรจะใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์ในประเด็นที่แตกต่างกัน คือ

1) วิเคราะห์สถิติพรรณนาของข้อมูลแต่ละตัวแปรเพื่อคุณลักษณะของการแจกแจงข้อมูล ด้วยสถิติทดสอบอาทิ เวลา ค่าความขุ่น ค่าปริมาณสารแขวนลอย และค่าสี

2) วิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อสังเกตความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตัวแปร อาทิ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและสี ในการคัดเลือกตัวแปรเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองจะเป็นการทดสอบว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือไม่ รวมถึงการทดสอบว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันหรือไม่ ในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลและสร้างฐานข้อมูลของตัวแปรที่นำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองนี้ได้แบ่งกรณีศึกษาเป็น 4 กรณีได้แก่

- กรณีตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม
- กรณีตัวแปรอิสระกับ Log ของตัวแปรตาม
- กรณี Log ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม
- กรณี Log ของตัวแปรอิสระกับ Log ของตัวแปรตาม

โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณสารแขวนลอยจะใช้วิธีทางสถิติทดสอบความถูกต้องด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับร้อยละ 95 โดยใช้สัญลักษณ์ R แทนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient : R)สามารถหาได้จากสมการที่ (3.1)

$$R = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (3.1)$$

โดย R = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  
 X = ตัวแปรอิสระ  
 Y = ตัวแปรตาม

3) สร้างแบบจำลอง 3 แบบ ได้แก่ (1) แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Linear Regression : LR) (2) แบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Network: ANN) และ (3) แบบจำลองฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic : FL)

4) วิเคราะห์ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยใช้แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย แบบโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ และแบบฟัซซี่ลอจิก จากแบบจำลองทั้งสามวิธีนี้จะนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอย และเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโดยประเมินจากการใช้ค่ารากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error : RMSE) แสดงค่าความผิดพลาดของแบบจำลองโดยเงื่อนไขที่ดีที่สุดของ RMSE จะมีค่าเป็น 1 และ 0 ตามลำดับ คำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Predict}_i - \text{Actual}_i)^2} \quad (3.2)$$

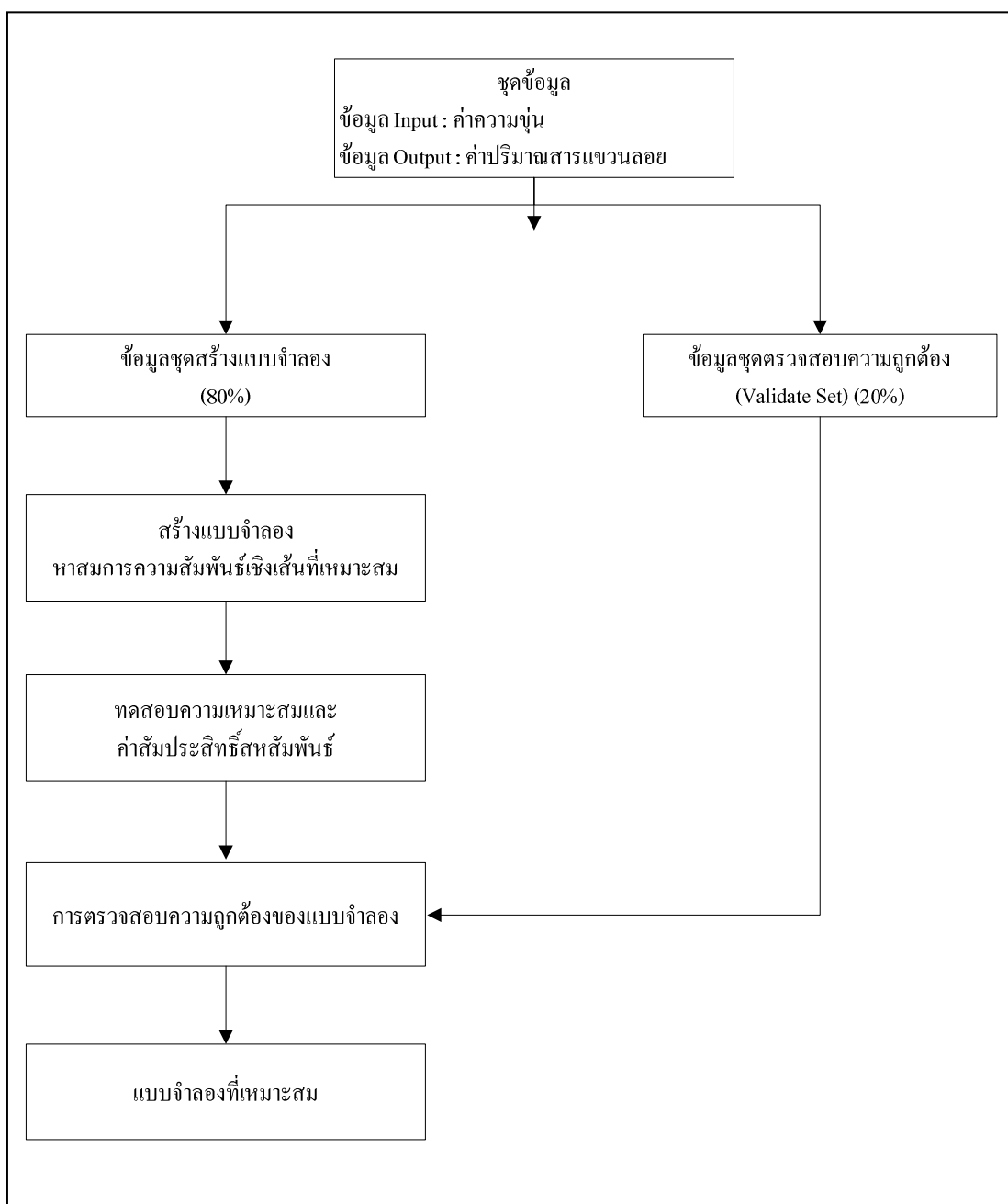
โดย	Actual	=	ข้อมูลจริงที่ได้จากการตรวจวัด
	Predict	=	ข้อมูลที่ได้จากการทำนายด้วยโครงข่ายประสาทประดิษฐ์
	N	=	จำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

### 3.7 การสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองทางเชิงสถิติได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง 3 แบบ ได้แก่ (1) แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) (2) แบบโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Networks) และ (3) แบบฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic)

#### 3.7.1 การสร้างแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้น

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นและสหสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยขั้นตอนหลักต้องพิจารณาถึงตัวแปรอิสระ X ที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม Y มากที่สุด และเลือกรูปแบบที่เหมาะสมกับข้อมูลซึ่งใช้สหสัมพันธ์เป็นตัวบอกระดับและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และการตรวจสอบความถูกต้อง และการคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสม โดยรายละเอียดในการสร้างแบบจำลองมีดังนี้



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้น

### 3.7.1.1 การสร้างแบบจำลอง

การกำหนดให้ X เป็นตัวแปรอิสระซึ่งคือค่าความชุ่ม และ Y เป็นตัวแปรตามคือค่าปริมาณสารแขวนลอย รูปแบบความสัมพันธ์ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ 1 ตัวและตัวแปรตาม 1 ตัว และแยกกรณีศึกษาออกเป็น 4 กรณีเพื่อหารูปแบบของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นว่าอยู่ในรูปแบบใด ซึ่งได้แก่

- 1)  $y = a + bx$
- 2)  $\ln y = a + b \ln x$
- 3)  $y = a + b \ln x$
- 4)  $\ln y = a + bx$

ในการเลือกรูปแบบของลอการิทึมธรรมชาติเข้ามาเปรียบเทียบกับในการศึกษาทั้ง 4 กรณี เพื่อช่วยลดการกระจายของข้อมูลให้มีการกระจายเข้าสู่ระบบปกติและช่วยในการสร้างสเกลอันดับของขนาด (Order Magnitude) ที่ไม่ได้มีการแบ่งช่องให้เท่ากันเพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบทุก ๆ 10 เท่าของข้อมูลมาใช้ในการศึกษาวิจัย

### 3.7.1.2 วิเคราะห์การทดสอบความเหมาะสม

การทดสอบความเหมาะสมจะทดสอบได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า X และ Y โดยทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย หรือจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง หรืออาจทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุดได้ โดยในที่นี้ได้ใช้สถิติในการทดสอบคือ F-Test จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองสองปัจจัย (All Two Way ANOVA)

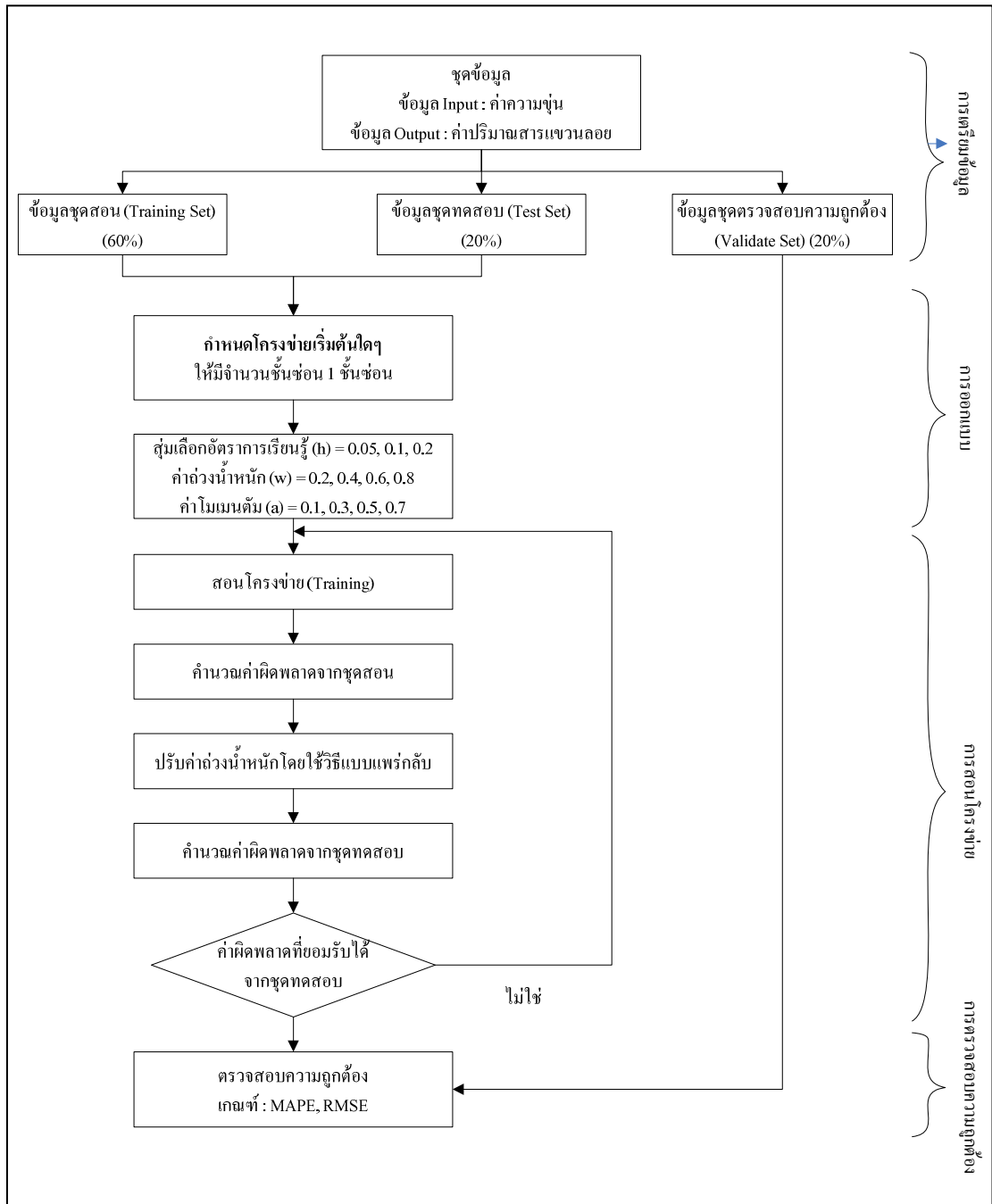
### 3.7.1.3 การตรวจสอบความถูกต้อง

หลังจากที่ได้สมการถดถอยที่เหมาะสมแล้วจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation) โดยใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามที่ได้แยกออกจากชุดข้อมูลตั้งต้นทั้งหมดร้อยละ 20 ก่อนจะนำข้อมูลที่เหลือทั้งหมดไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยแทนค่าตัวแปรอิสระในสมการที่ได้ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความชุ่ม โดยพิจารณาค่า R ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 มาก แสดงว่ามีความถูกต้องสูง

## 3.7.2 การสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์

การประมาณค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และบริษัทไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมข้อมูล การออกแบบโครงข่าย การสอนโครงข่าย และการตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่าย ดังแสดงในรูปที่ 3.9





รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์

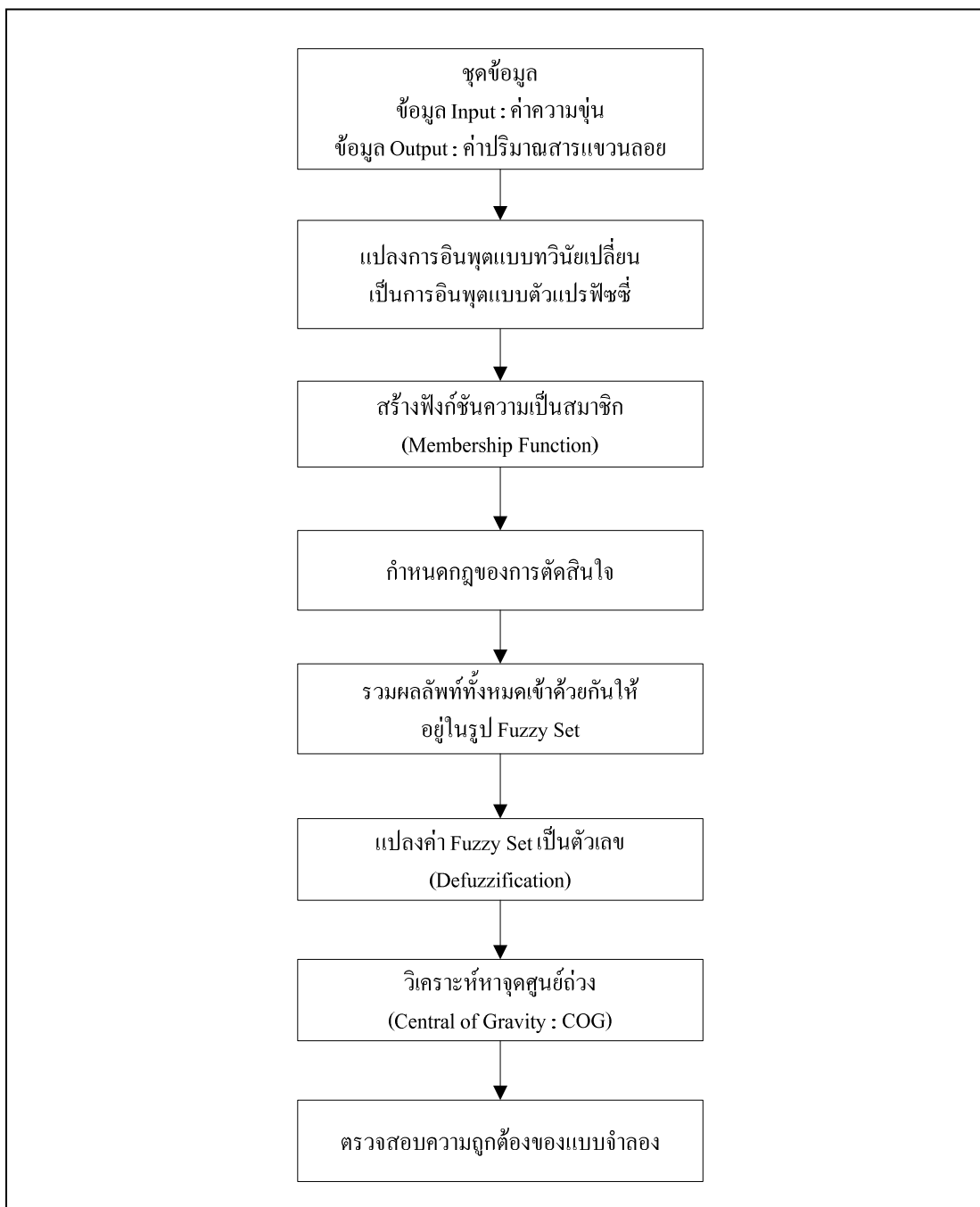
ข้อมูลในการสร้างแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทประดิษฐ์สำหรับการทำนายปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ได้จากการวิเคราะห์ค่าความขุ่น (ตัวแปรอิสระ) และค่าปริมาณสารแขวนลอย (ตัวแปรตาม) โดยมีชุดข้อมูลในแต่ละแห่ง 180 ชุด ข้อมูล (Patterns) หลังจากนั้นจะแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดข้อมูลชุดสอน (Training Set) ข้อมูลชุดทดสอบ (Test Set) และข้อมูลชุดตรวจสอบความถูกต้อง (Validate Set) โดยแบ่งออกเป็น ร้อยละ 60 20 และ 20 ตามลำดับหลังจากนั้นออกแบบโครงข่ายโดยกำหนดให้เป็นแบบหลายชั้น (MLFF) ซึ่งเป็นระบบแบบมีครูสอน โดยจะใช้วิธีการสอนแบบแพร่กระจายความผิดพลาดกลับ (Error Back-Propagation Algorithm)

ทดสอบด้วยการแบ่งข้อมูลออกมาแบบสุ่มจำนวนร้อยละ 60 ของข้อมูลทั้งหมดเพื่อใช้สอนโครงข่ายและทำการหยุดสอนโครงข่ายเมื่อโครงข่ายเรียนรู้ครบ 10,000 รอบหรือมีค่าคลาดเคลื่อน (โดยใช้ชุดข้อมูลที่แบ่งออกมาแบบสุ่มจำนวนร้อยละ 20 มาทำการทดสอบ) มีค่าเท่ากับ 0.005 และกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในโครงข่ายคืออัตราการเรียนรู้ ( $\eta$ ) โมเมนตัม ( $\alpha$ ) และค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น ( $w$ ) โดยมีค่าเริ่มต้น 0.05 0.1 และ 0.2 ตามลำดับนำข้อมูลที่เหลือจำนวนร้อยละ 20 มาตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่าย (Validate set) โดยมีดัชนีตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคือ Mean Absolute Percentage Error [MAPE] ที่น้อยที่สุดของแต่ละกรณีศึกษาจากทั้งหมด 4 กรณีจากนั้นทำการคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอย

### 3.7.3 การสร้างแบบจำลองฟัซซีลอจิก

การวิเคราะห์แบบฟัซซีลอจิกข้อมูลในการสร้างแบบจำลองมีชุดข้อมูลในแต่ละแห่ง 180 ชุดข้อมูล (Patterns) ซึ่ง 80% ของชุดข้อมูลจะใช้ในการสร้างแบบจำลอง และอีก 20% ที่เหลือจะนำมาทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยขั้นตอนแรกของการสร้างแบบจำลองนี้ต้องมีการกำหนดตัวแปรอินพุตและเอาวพุต และกำหนดรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) ซึ่งมีหลายรูปแบบเช่น สามเหลี่ยม คางหมู Gaussian ฯลฯ มักจะถูกกำหนดโดยอาศัยประสบการณ์ หรือแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญต่างๆทั้งนี้การวิเคราะห์แบบฟัซซีลอจิกซึ่งเป็นตรรกะเชิงเหตุผลต้องกำหนดกฎ (Rules) ของการตัดสินใจเพื่อหาผลลัพธ์ของแต่ละกฎ ซึ่งเมื่อรวมผลลัพธ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน (Aggregation) จะได้ผลลัพธ์ของแต่ละกฎ ในรูปของฟัซซีเซต (ค่าประมาณในแต่ละกฎว่าผลลัพธ์จะอยู่ในช่วงใด) จากนั้นเราจะรวมผลลัพธ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นตัวเลข เช่น ค่าปริมาณสารแขวนลอยจะเป็นเท่าไร จำเป็นต้องแปลงค่าฟัซซีเซตให้เป็นเลขตัวเดียว ขั้นตอนนี้เรียกว่าดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification) ซึ่งทำได้หลายแบบ เช่น การหาค่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (Central of Gravity : COG) การหาค่าสูงสุดของทั้งหมดการหาค่าต่ำสุดของค่าสูงสุดทั้งหมด ฯลฯ ในที่นี้จะใช้การหาค่าจุดศูนย์กลางในการประมาณค่า

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก โดยใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามที่ได้แยกออกจากชุดข้อมูลตั้งต้นทั้งหมดร้อยละ 20 ก่อนจะนำข้อมูลที่เหลือทั้งหมดไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง ดังแสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก

### 3.8 เปรียบเทียบความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ด้วยการเปรียบเทียบจาก 3 วิธีแล้ว จะนำมาศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้น แบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์และแบบจำลองฟuzzyลอจิกสำหรับทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยวิเคราะห์ในประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าความขุ่น
- 2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจาก 3 แห่งที่ใช้เครื่องวัดความขุ่น 3 เครื่อง โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการทดสอบสมมติฐานว่าค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงหรือไม่
- 3) วิเคราะห์ความแตกต่างของเครื่องวัดความขุ่น 3 เครื่องว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยเมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าปริมาณสารแขวนลอยจากตัวอย่าง 3 แห่ง จากนั้นทำการเปรียบเทียบข้อมูลของค่าปริมาณสารแขวนลอยที่ได้จาก 3 เครื่อง โดยใช้การทดสอบความแปรปรวนแบบสองปัจจัย (All Two Way ANOVA) เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของค่าความขุ่นที่ได้จากทั้ง 3 เครื่อง
- 4) วิเคราะห์ความแตกต่างของแบบจำลองที่สร้างขึ้นของโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา โรงพยาบาลศูนย์นวมัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) โดยนำแบบจำลองมาทดสอบความแตกต่างของปริมาณสารแขวนลอยซึ่งเป็นตัวแปรตาม ค่าความขุ่นเป็นตัวแปรอิสระ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองปัจจัย (All Two Way ANOVA) ว่ากรณีศึกษาสามารถนำแบบจำลองที่สร้างขึ้น ไปใช้ในการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยแตกต่างกันหรือไม่
- 5) วิเคราะห์อิทธิพลของสื่อต่อการวัดค่าความขุ่นจาก 3 แห่ง ที่ใช้เครื่องวัดความขุ่น 3 เครื่องในการวิเคราะห์ โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการทดสอบสมมติฐานว่าค่าสีและค่าความขุ่นมีอิทธิพลต่อกันหรือไม่ โดยแบ่งการวิเคราะห์ของน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว สำหรับการทดสอบในสมมติฐาน และทดสอบความแปรปรวนจำแนกเป็น 1 ทาง (One Way ANOVA) ในการทดสอบสมมติฐานว่าน้ำตัวอย่างจากบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วที่มีการเจือจางโดยประมาณให้ค่าสีแตกต่างกันหรือไม่

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

การศึกษาสถิติพรรณนาช่วยให้การตัดสินใจในการศึกษาวิจัยมีความถูกต้องยิ่งขึ้น โดยในการศึกษานี้ได้เก็บน้ำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์และรวบรวมผลการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงค่าความขุ่นที่วัดโดยการจับเวลาใน 120 วินาที ค่าปริมาณสารแขวนลอย ค่าสีจริง ค่าสีปรากฏที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ณ จุดเก็บที่บ่อเดิมอากาศและบ่อน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วแล้วจากทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ (1) โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา (2) โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และ (3) บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) ในระยะเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน-เดือนตุลาคม 2552

การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความขุ่นและค่าปริมาณสารแขวนลอยจาก 3 แห่ง มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม (ค่าปริมาณสารแขวนลอย) กับตัวแปรอิสระ (ค่าความขุ่น) ด้วยการแจกแจงโดยประมาณที่แตกต่างกันว่ามีความสัมพันธ์หรือไม่ และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางใด ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างตัวแปรจะนำไปใช้สำหรับการศึกษาแบบจำลองในการวิจัยนี้ได้ใช้สมการความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปร 3 แบบ ได้แก่ (1) แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) (2) แบบโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Networks) และ (3) แบบพีชคณิตฟัซซี (Fuzzy Logic) โดยแบบจำลองที่กล่าวมานี้จะนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งต่อไป

#### 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของสถานที่เก็บน้ำตัวอย่าง

##### 4.1.1 ข้อมูลจากโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) แบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch: OD) โดยน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีปริมาณ 1,200 ลบ.ม./วันน้ำเสียจะถูกรวบรวมมาไว้ที่บ่อพักจำนวน 3 บ่อ จากนั้นจะถูกส่งไปยังบ่อปรับสภาพน้ำเสียซึ่งทำหน้าที่ในการปรับอัตราการไหลของน้ำเสียให้เข้าระบบคงที่ มีขนาดกว้างxยาวxสูง (เมตร) 14.0x13.0x4.0 จากนั้นน้ำเสียจะถูกส่งเข้า

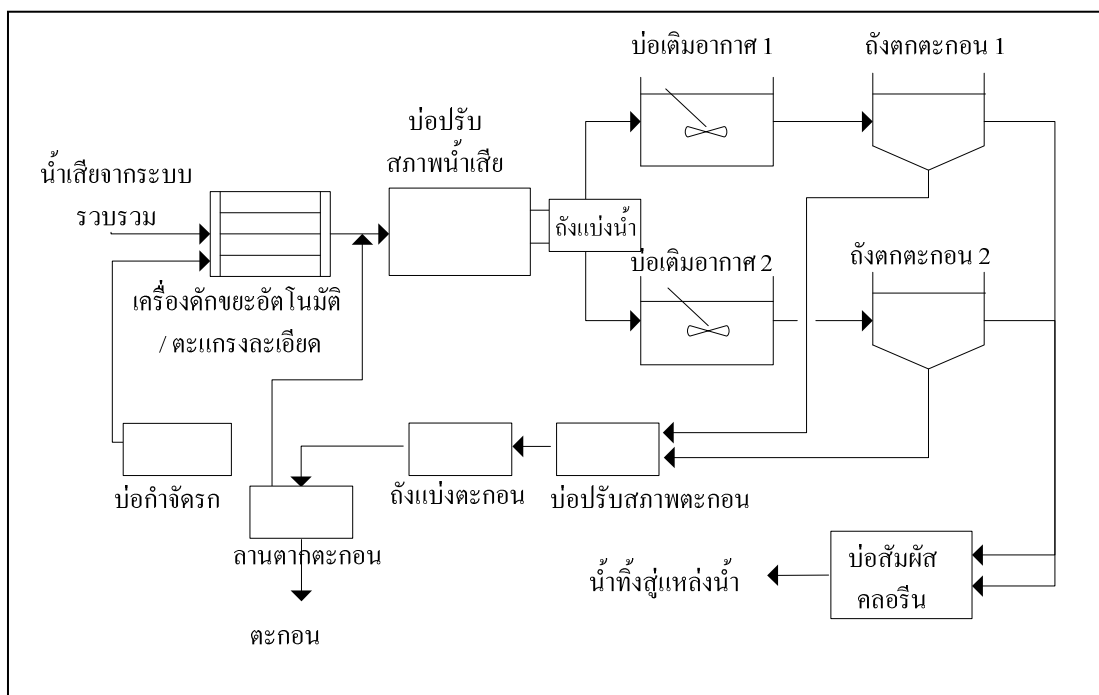
ไปยังบ่อเติมอากาศซึ่งแยกออกเป็น 2 บ่อ ขนาดกว้างxยาวxสูง (เมตร) 8x22x4 รูปแบบของถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงรี ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) หลังจากนั้นน้ำเสียจะถูกส่งไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกน้ำส่วนใสและตะกอนแบคทีเรียออกจากกัน บ่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 9.5 เมตรจำนวน 2 บ่อ น้ำส่วนใสจากถังตกตะกอนจะเข้าสู่บ่อสัมผัสคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค มีขนาดบ่อกว้างxยาวxสูง (เมตร) 3.5x5x1.8 ทั้งนี้ได้มีบ่อปรับสภาพตะกอนเพื่อกักเก็บตะกอนส่วนเกินก่อนเข้าเครื่องวัดตะกอนด้วย ส่วนระบบกำจัดตะกอนจะลดปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นให้สะดวกต่อการนำไปทิ้ง โรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมา มีความสามารถในการตกตะกอนโดยวัดได้จากค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเร่ง (Sludge Volume Index : SVI) ของน้ำเสียอยู่ในช่วงระหว่าง 65-90 mg/L ลักษณะของตะกอนจะมีสีเข้มและแก่ทั้งนี้ได้แสดงคุณลักษณะน้ำเสียของโรงพยาบาลในตารางที่ 4.1 และแผนภาพรายละเอียดของแต่ละส่วนภายในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะน้ำเสียของโรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมา

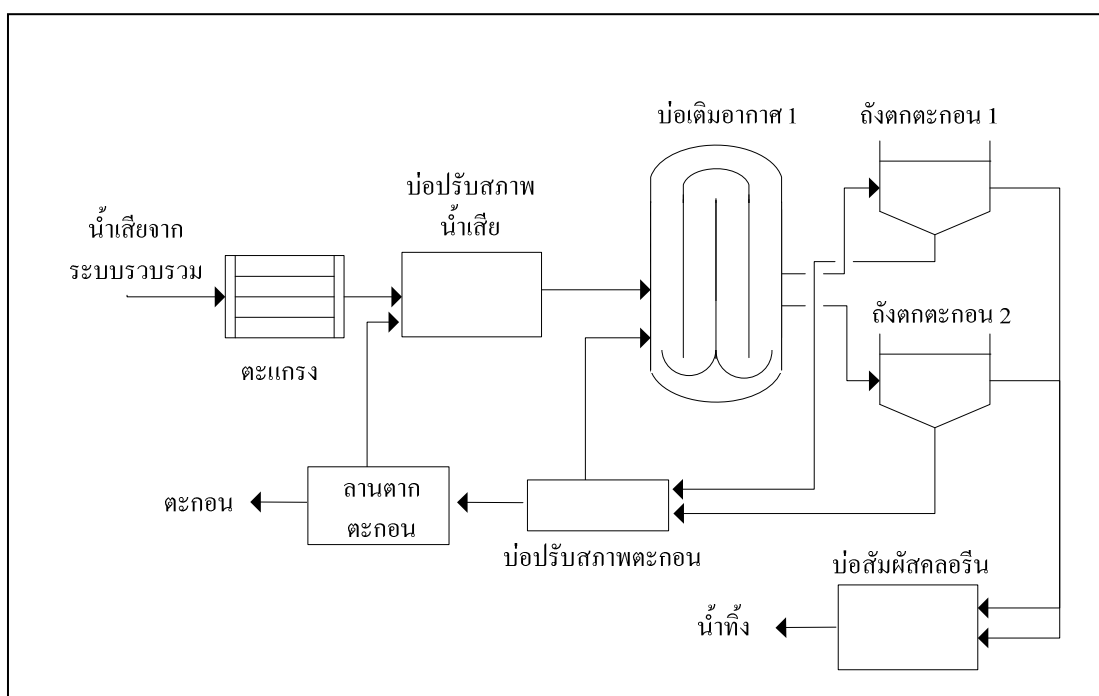
พารามิเตอร์	ค่าจากการตรวจวัด
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.1 ณ อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส
สารแขวนลอย (SS)	94 มก./ล.
สารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS)	591 มก./ล.
ปริมาณไนโตรเจน (TKN)	31.6 มก./ล.
ซีโอดี (COD)	383 มก./ล.
ซัลไฟด์ (Sulfide)	0.04 มก./ล.
บีโอดี (BOD)	102 มก./ล.

#### 4.1.2 ข้อมูลจากโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge process) แบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch : OD) ในโรงพยาบาลมีน้ำเสียปล่อยเข้าสู่ระบบปริมาณ 100 ลบ.ม. โดยน้ำเข้าจะถูกส่งไปยังบ่อพักน้ำเสียเพื่อปรับอัตราการไหลของน้ำเสียให้คงที่ก่อนส่งต่อไปยังบ่อเติมอากาศ ลักษณะของบ่อเติมอากาศเป็นคลองวนเวียนจำนวน 1 บ่อ ทำหน้าที่เลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้เจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนให้เพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย บ่อเติมอากาศมีใบพัดเติมอากาศแบบ



รูปที่ 4.1 แผนภาพรายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลมหาราช จ.นครราชสีมา



รูปที่ 4.2 แผนภาพรายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จ.นครราชสีมา

ที่มีเพลาแวนอนเดิมอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำเสียรวมทั้งเป็นเครื่องกวนน้ำเสียให้สัมผัสกับจุลินทรีย์ไปในตัวด้วย มีขนาดความลึกอยู่ที่ 2 เมตร ปริมาตร 100 ลบ.ม. และจากนั้นน้ำเสียถูกส่งไปยังบ่อตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนและน้ำส่วนใสออกจากกัน ซึ่งบ่อตกตะกอนมีจำนวน 2 บ่อ ตะกอนจะสลับกลับไปบ่อเดิมอากาศ หากตะกอนในระบบมีจำนวนเพียงพอแล้ว ตะกอนส่วนเกินจะถูกนำไปตาก จากนั้นตะกอนจะนำไปทำเป็นปุ๋ย ส่วนน้ำใสที่แยกออกจากถังตกตะกอนจะไหลล้นไปยังบ่อน้ำทิ้งและเข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน โดยมีบ่อคลอรีน 2 บ่อ แต่ละบ่อนั้นมีปริมาตร 10 ลบ.ม. โรงพยาบาลศูนย์น่านมีที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา มีความสามารถในการตกตะกอนโดยวัดได้จากค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเร่ง (Sludge Volume Index: SVI) ของน้ำเสียอยู่ในช่วงระหว่าง 75-95 mg/L และลักษณะของตะกอนจะมีลักษณะสีเข้มและแก่ โดยแผนภาพรายละเอียดของแต่ละส่วนภายในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลศูนย์น่านมีที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และคุณลักษณะของน้ำเสียของโรงพยาบาลศูนย์น่านมีที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ดังต่อไปนี้

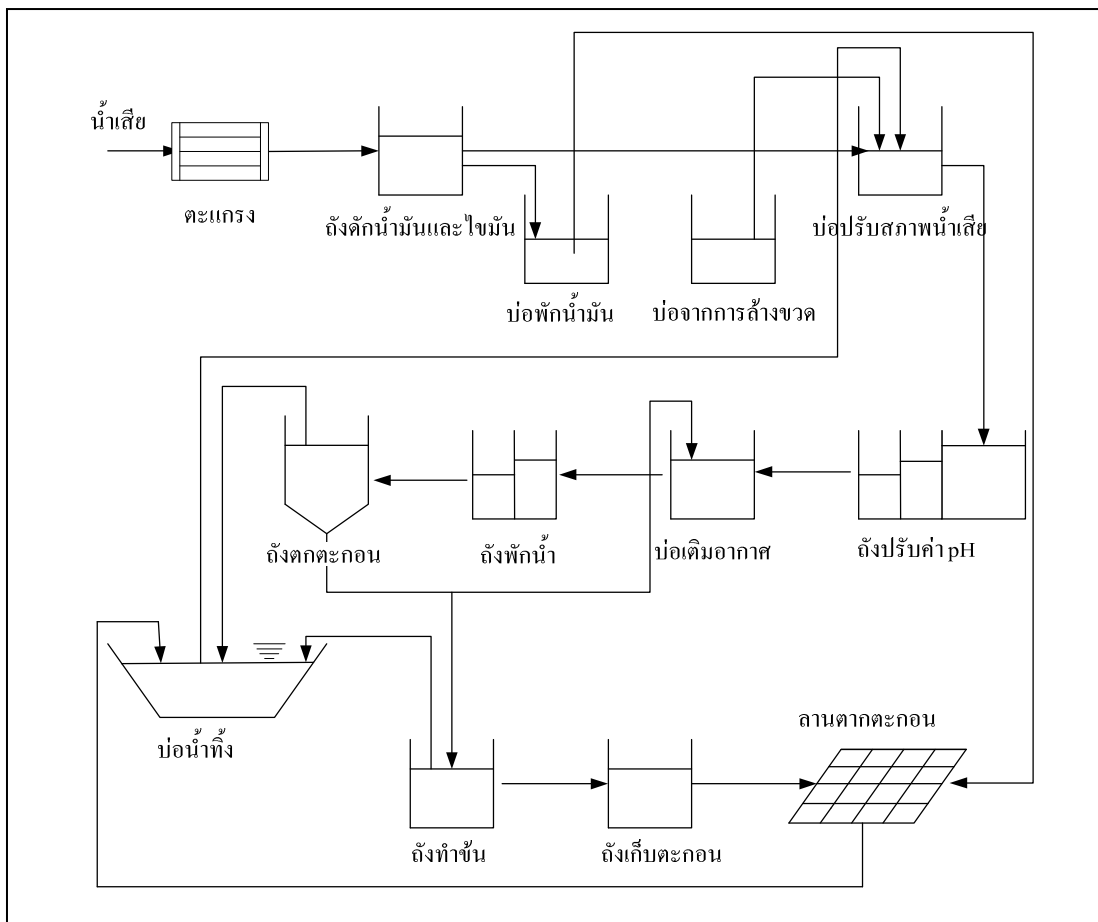
ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะน้ำเสียของโรงพยาบาลศูนย์น่านมีที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา

พารามิเตอร์	ค่าจากการตรวจวัด
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.0
สารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS)	791มก./ล.
สารแขวนลอย (SS)	78มก./ล.
ตะกอนหนัก (Settleable Solids)	1.0มก./ล.
บีโอดี (BOD)	77มก./ล.
น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease)	4.8มก./ล.
ปริมาณไนโตรเจน (TKN)	11.03มก./ล.
ซัลไฟด์ (Sulfide)	0.64มก./ล.
ซีโอดี (COD)	228มก./ล.



#### 4.1.3 ข้อมูลจาก บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน)

ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด สาขาโรงงานนครราชสีมา เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) แบบอัตราการบำบัดธรรมดา (Conventional Rate) เป็นกระบวนการตะกอนเร่งที่ต้องมีถังเติมอากาศที่สามารถกวนให้น้ำและตะกอนที่อยู่ในถังผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยการวางหัวกระจายอากาศอย่างสม่ำเสมอตลอดถังเติมอากาศ ระบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Shock Load) และสภาพแวดล้อมต่างๆ ในถังเติมอากาศมีค่าสม่ำเสมอ ทำให้จุลชีพที่อยู่ในทุกๆ จุดของระบบมีลักษณะเดียวกันตลอดทั้งถัง น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบสูบน้ำมีอัตรา 12.71 ลบ.ม./ชม. โดยบ่อน้ำฝนทำหน้าที่เป็นบ่อพักน้ำเสียที่รวบรวมน้ำเสียจากภายในโรงงานทั้งหมดก่อนที่จะสูบน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดมีขนาด 360 ลบ.ม. และถังเติมอากาศมีปริมาตรของถังเท่ากับ 1,100 ลบ.ม. มีขนาดกว้างxยาวxสูง (เมตร) 16.4x16.4x4.0 ประกอบด้วยเครื่องเติมอากาศทั้งหมด 4 ตัวเป็นแบบเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ (Surface Aerators) และลักษณะของถังตกตะกอนจะเป็นถังคอนกรีตกลม ที่พื้นก้นถังจะมีความลาด ทางน้ำออกของถังตกตะกอนจะประกอบไปด้วยฝาย(Weirs)และรางรับน้ำล้น (Effluent Launderers) ซึ่งน้ำจะไหลล้นจากฝายแล้วไหลลงสู่รางรับน้ำล้น เพื่อระบายน้ำทิ้งจากถังตกตะกอน โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลไปสู่อ่างน้ำทิ้งที่มีขนาด 960 ลบ.ม. ต่อไป และบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) มีความสามารถในการตกตะกอนโดยวัดได้จากค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเร่ง (Sludge Volume Index : SVI) ของน้ำเสียอยู่ในช่วงระหว่าง 160-250 mg/L และลักษณะของตะกอนจะมีสีน้ำตาลอ่อน ๆ ข้อมูลคุณลักษณะของน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียได้แสดงแผนภาพรายละเอียดของแต่ละส่วนดังแสดงในรูปที่ 4.3 และคุณลักษณะน้ำเสียของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) ดังแสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภาพรายละเอียดระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน)

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะน้ำเสียของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน)

พารามิเตอร์	ค่าจากการตรวจวัด
ซีโอดี (COD <sub>เข้า</sub> )	734.24 มก./ล.
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.76
สารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS <sub>เข้า</sub> )	875.85 มก./ล.
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	2.35 มก./ล.
สารแขวนลอย (MLSS)	1198.72 มก./ล.
สารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS <sub>ออก</sub> )	1181.93 มก./ล.
ซีโอดี (COD <sub>ออก</sub> )	113.80 มก./ล.

#### 4.1.4 สัญลักษณ์แทนตำแหน่งเก็บตัวอย่าง

การวิจัยการประยุกต์เครื่องวัดความขุ่นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยได้จริงนั้น ได้เก็บน้ำตัวอย่างจาก 3 แห่ง แต่ละแห่งจะแบ่งจุดเก็บออกเป็น 2 จุด ได้แก่ จุดเก็บน้ำตัวอย่างในบ่อเติมอากาศและจุดเก็บน้ำตัวอย่างในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว โดยในงานวิจัยนี้ น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีทั้งที่เจือจางและไม่มีการเจือจางในอัตราส่วน 1:5 1: 10 1:20 1:50 และ 1:100 ตามลำดับซึ่งใช้สัญลักษณ์แทนตำแหน่งเก็บตัวอย่างในแต่ละสถานที่ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 สัญลักษณ์แทนจุดเก็บน้ำตัวอย่างในแต่ละสถานที่

สถานที่	จุดเก็บน้ำตัวอย่าง	ไม่มีการเจือจาง	อัตราส่วนการเจือจาง				
			1:5	1:10	1:20	1:50	1:100
โรงพยาบาลมหาราช นครราชสีมา	บ่อเติมอากาศ	MA1	MA2	MA3	MA4	MA5	MA6
	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5	ME6
โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา	บ่อเติมอากาศ	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6
	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว	PE1	PE2	PE3	PE4	PE5	PE6
บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน)	บ่อเติมอากาศ	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6
	น้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6

## 4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

### 4.2.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นเชื่อมกับเวลาในการตรวจวัด

การวิเคราะห์อ่านค่าความขุ่นจากเครื่องวัดความขุ่น 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N (อ่านค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 0-4000 NTU) และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR (อ่านค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 0-2000 NTU) จับเวลาอ่านค่าความขุ่นทุก 15 วินาที ได้แก่ที่เวลา 15 30 45 60 75 90 105 และ 120 ตามลำดับในการทดลองนั้นได้ใช้เครื่องวัดดังกล่าว 2 เครื่องเท่านั้น เนื่องมาจากเวลาในการประมวลผลของเครื่องวัดยี่ห้อ HACH จะอ่านค่าความขุ่นตลอดเวลา แต่เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ไม่สามารถจับเวลาได้ เพราะมีระยะเวลาที่ตั้งไว้ในการประมวลผลอัตโนมัติแล้ว โดยการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความขุ่น ณ เวลาที่แตกต่างกัน ดังนี้ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าคลาดเคลื่อน (ในภาคผนวก ก.) และสถิติทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ โดยทดสอบ Test of Normality ด้วย Shapiro-Wilk ซึ่งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานถือเป็นการวัดการกระจายของข้อมูลได้ดีที่สุด (ยูทช โภชวรรณ์, 2551) โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่าน้อย

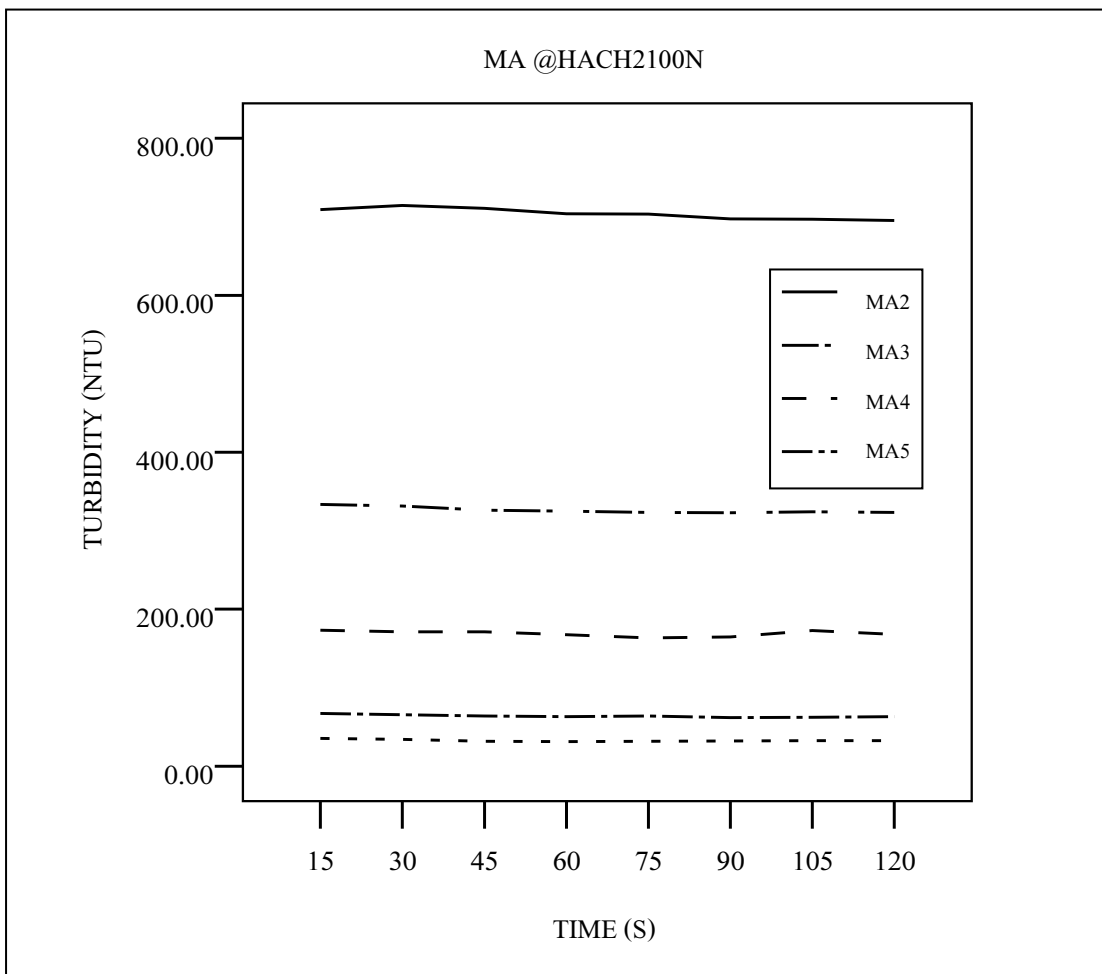
แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อย และถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่ามากแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายที่แตกต่างกันมาก การวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชุ่มชื้นกับเวลาได้ตั้งสมมติฐานของการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ  $H_0$ : การอ่านค่าความชุ่มชื้น เวลาแตกต่างกัน มีการแจกแจงแบบปกติ และ  $H_1$ : การอ่านค่าความชุ่มชื้น เวลาแตกต่างกันมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ โดยข้อมูลที่แจกแจงแบบปกติคือข้อมูลที่มีค่า P-value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ในลักษณะเดียวกันเมื่อทดสอบข้อมูลทางสถิติจะมีการกระจายตัวของการอ่านค่าความชุ่มชื้น เวลาที่แตกต่างกันค่อนข้างต่ำและมีลักษณะข้อมูลค่อนข้างสมมาตรด้วยเช่นกัน ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในการอ่านค่าความชุ่มชื้นในน้ำตัวอย่างลักษณะของข้อมูลดังกล่าวจะทำให้ข้อมูลเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจึงขอยกตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองในกรณีของโรงพยาบาลมหาราชาจังหวัดนครราชสีมาทั้งในบ่อเดิมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วด้วยเครื่องวัดความชุ่มชื้นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N และเครื่องวัดความชุ่มชื้นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR (ในกรณีของตำแหน่งเก็บตัวอย่างอื่น ๆ ได้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีเดียวกัน (ดังแสดงในภาคผนวก ค.) ดังต่อไปนี้

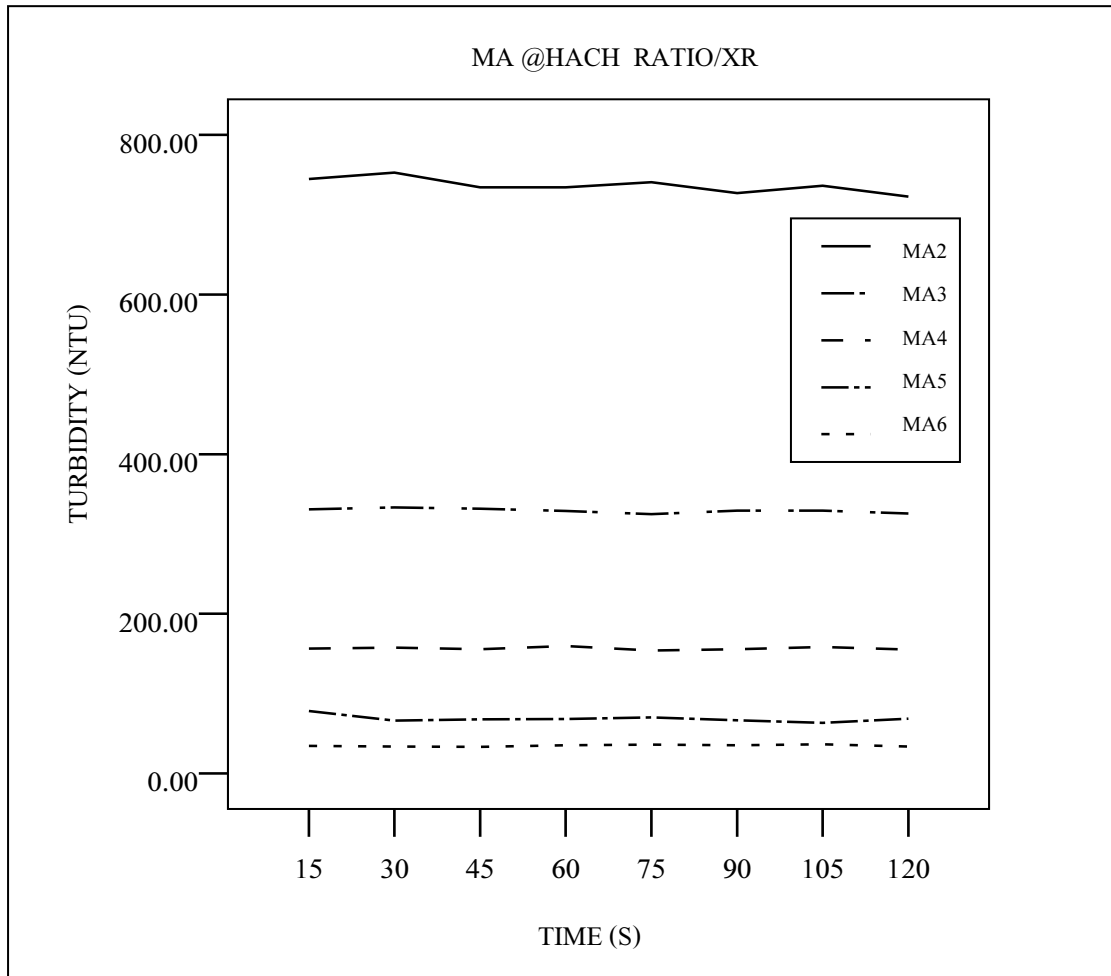
#### 1) กรณีโรงพยาบาลมหาราชาจังหวัดนครราชสีมาในบ่อเดิมอากาศ

ผลการทดลองการอ่านค่าความชุ่มชื้น โดยการจับเวลาของน้ำตัวอย่างในวินาทีที่ 15 30 45 60 75 90 105 และ 120 ตามลำดับนี้มีความสัมพันธ์ของเวลาและการอ่านค่าความชุ่มชื้นไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าความชุ่มชื้นด้วยเครื่องวัดความชุ่มชื้น HACH รุ่น 2100N และเครื่องวัดความชุ่มชื้นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ของโรงพยาบาลมหาราชาจังหวัดนครราชสีมาในบ่อเดิมอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า เมื่ออ่านค่าความชุ่มชื้นช่วงระยะเวลา 15-120 วินาที โดยส่วนใหญ่แล้วเส้นกราฟในตำแหน่งเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ค่อนข้างมีความชุ่มชื้นในแต่ละช่วงเวลา ค่อนข้างคงที่จนเห็นเป็นลักษณะเส้นตรง ซึ่งเมื่อพิจารณาในตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นของเครื่องวัดความชุ่มชื้นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N (รายละเอียดข้อมูลทางสถิติของเครื่องวัดความชุ่มชื้นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR แสดงในภาพผนวก ข. และภาคผนวก ค.) มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในตำแหน่งเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาตั้งแต่อ่านค่าความชุ่มชื้น 15-120 วินาที ไม่แตกต่างกันมากนัก และค่าความชุ่มชื้นที่อ่านได้มีความใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความขุ่นด้วยเครื่องวัด  
ความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ ในบ่อเติมอากาศ  
(HACH รุ่น 2100N)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย ( $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
MA2	15	744.33 ( $\pm 1.52$ )	744.00	743.00	746.00	0.88
	30	752.67 ( $\pm 3.05$ )	752.00	750.00	756.00	1.76
	45	734.00 ( $\pm 2.64$ )	735.00	731.00	736.00	1.52
	60	734.00 ( $\pm 2.64$ )	735.00	731.00	736.00	1.52
	75	740.67 ( $\pm 2.08$ )	740.00	739.00	743.00	1.20
	90	727.00 ( $\pm 5.29$ )	729.00	721.00	731.00	3.05
	105	736.33 ( $\pm 5.50$ )	736.00	731.00	742.00	3.17
	120	722.33 ( $\pm 5.50$ )	725.00	716.00	726.00	3.17
MA3	15	330.66 ( $\pm 2.51$ )	331.00	328.00	333.00	1.45
	30	333.00 ( $\pm 1.73$ )	332.00	332.00	335.00	1.00
	45	331.66 ( $\pm 6.65$ )	330.00	326.00	339.00	3.84
	60	328.66 ( $\pm 5.50$ )	326.00	325.00	335.00	3.17
	75	325.00 ( $\pm 3.60$ )	326.00	321.00	328.00	2.08
	90	329.33 ( $\pm 4.16$ )	328.00	326.00	334.00	2.40
	105	329.00 ( $\pm 4.35$ )	327.00	326.00	334.00	2.51
	120	325.66 ( $\pm 2.88$ )	324.00	324.00	329.00	1.66
MA4	15	156.46 ( $\pm 0.90$ )	156.40	155.60	157.40	0.52
	30	157.53 ( $\pm 2.85$ )	158.60	154.30	159.70	1.64
	45	155.66 ( $\pm 2.91$ )	157.30	152.30	157.40	1.68
	60	159.56 ( $\pm 1.55$ )	159.10	158.30	161.30	0.89
	75	153.90 ( $\pm 2.40$ )	154.10	151.40	156.20	1.38
	90	155.66 ( $\pm 3.17$ )	154.30	153.40	159.30	1.83
	105	158.36 ( $\pm 5.28$ )	157.30	153.70	164.10	3.04
	120	155.43 ( $\pm 4.04$ )	153.30	152.90	160.10	2.33
MA5	15	78.30 ( $\pm 0.91$ )	78.50	77.30	79.10	0.52
	30	66.06 ( $\pm 0.70$ )	66.20	65.30	66.70	0.40
	45	67.76 ( $\pm 1.25$ )	67.20	66.90	69.20	0.72
	60	68.21 ( $\pm 3.12$ )	68.20	65.10	71.35	1.80
	75	70.26 ( $\pm 2.35$ )	70.30	67.90	72.60	1.35
	90	66.53 ( $\pm 2.40$ )	65.40	64.90	69.30	1.39
	105	63.20 ( $\pm 2.32$ )	62.80	61.10	65.70	1.34

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความขุ่นที่เวลาต่าง ๆ ในบ่อเดิมอากาศ  
(HACH รุ่น 2100N)(ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความขุ่นเฉลี่ย (± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
	120	68.73 (±2.82)	69.20	65.70	71.30	1.63
MA6	15	34.66 (±0.40)	34.60	34.30	35.10	0.23
	30	33.66 (±0.37)	33.50	33.40	34.10	0.21
	45	33.46 (±1.11)	33.90	32.20	34.30	0.64
	60	35.46 (±1.06)	35.70	34.30	36.40	0.61
	75	36.23 (±2.84)	34.90	34.30	39.50	1.64
	90	35.24 (±0.90)	35.34	34.30	36.10	0.52
	105	36.36 (±2.66)	35.30	34.40	39.40	1.53
	120	33.86 (±2.23)	34.90	31.30	35.40	1.29

จากการศึกษาลักษณะพื้นฐานทางสถิติของการอ่านค่าความขุ่นในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA2-MA6 ของโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา ซึ่งพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N (รายละเอียดสถิติพรรณนาด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR แสดงในภาคผนวก ข.) สามารถวิเคราะห์สถิติพรรณนาของข้อมูลต่าง ๆ ได้ดังนี้

- ข้อมูล MA2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 703.83 NTU ช่วงวินาทีที่ 15-30 การกระจายของชุดข้อมูลสูง โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 4.04-4.36 ส่วนวินาทีที่ 45-120 มีการกระจายตัวของชุดข้อมูลสูงต่ำสลับกันไป วินาทีที่ 90 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดคือ 0.58 แสดงให้เห็นชุดข้อมูลในวินาทีที่ 90 มีการกระจายตัวต่ำ การกระจายตัวของชุดข้อมูลมีลักษณะค่อนข้างสมมาตร ยกเว้นในวินาทีที่ 15 และ 105 ชุดข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวาเล็กน้อย โดยสังเกตได้จากค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลมีค่าสูงกว่าค่ามัธยฐานซึ่งสอดคล้องกับสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk (ในกรณีที่จำนวนตัวแปรน้อยกว่า 50) โดยมีสมมติฐานของการทดสอบคือ  $H_0$ : มีการแจกแจงแบบปกติ และ  $H_1$ : มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ MA2 ในวินาทีที่ 45 มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นอยู่ระหว่าง 0.220-1.000 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า MA2 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล MA3 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 326.208NTU วินาทีที่ 15 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยคือ 1.53 และมีการกระจายของข้อมูลน้อย ลักษณะมีการแจกแจง



ข้อมูลเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ซึ่งเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ วินาทีที่ 30 จนถึง 120 วินาทีที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงต่ำสลับกันไปทำให้เห็นว่าการกระจายของ ข้อมูลมากกว่าที่วินาทีช่วงต้น ๆ โดยส่วนใหญ่ของลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงแบบสมมาตร มี วินาทีที่ 75 และ 120 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงแบบเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ MA3 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 75 และ 120 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมี ค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจาก นั้นมีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.253-1.000 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุป ได้ว่า MA3 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล MA4 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 169.00 NTU วินาทีที่ 15-60 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยตั้งแต่ 0.00-1.53 ซึ่งมีการกระจายของข้อมูลน้อย โดยส่วนใหญ่ข้อมูลมี การแจกแจงข้อมูลเกือบสมมาตร มีเพียงวินาทีที่ 75 105 และ 120 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ลักษณะของข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งพบว่าค่า P-value ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 30 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการ แจกแจงแบบปกติ ซึ่งวินาทีอื่น ๆ พบว่าค่า ค่า P-value ของ MA4 อยู่ระหว่าง 0.220-0.780 ซึ่งมี ค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า MA4 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมี การแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล MA5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 63.79NTU การกระจาย ของข้อมูลตั้งแต่วินาทีที่ 15-120 มีลักษณะมากน้อยสลับกันไป ลักษณะของชุดข้อมูลมีการกระจาย ตัวค่อนข้างสมมาตร ในวินาทีที่ 30 105 และ 120 มีลักษณะข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อย เนื่องจากมีเฉลี่ยของ ชุดข้อมูลมีค่าสูงกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้ สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 60 และ 75 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจง แบบปกติ ซึ่งวินาทีอื่นๆ พบว่าค่า P-value ของ MA5 อยู่ระหว่าง 0.537-1.000 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า ระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า MA5 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมี การแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล MA6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 32.787 NTU วินาทีที่ 15 และ 30 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างมาก แสดงถึงการกระจายตัวที่มากของข้อมูลในช่วงเวลานี้ ในส่วนวินาทีที่ 45-120 มีการกระจายตัวค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 0.12-0.85 ซึ่งสอดคล้องกับ การศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 60 ถึงวินาทีที่ 90 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า

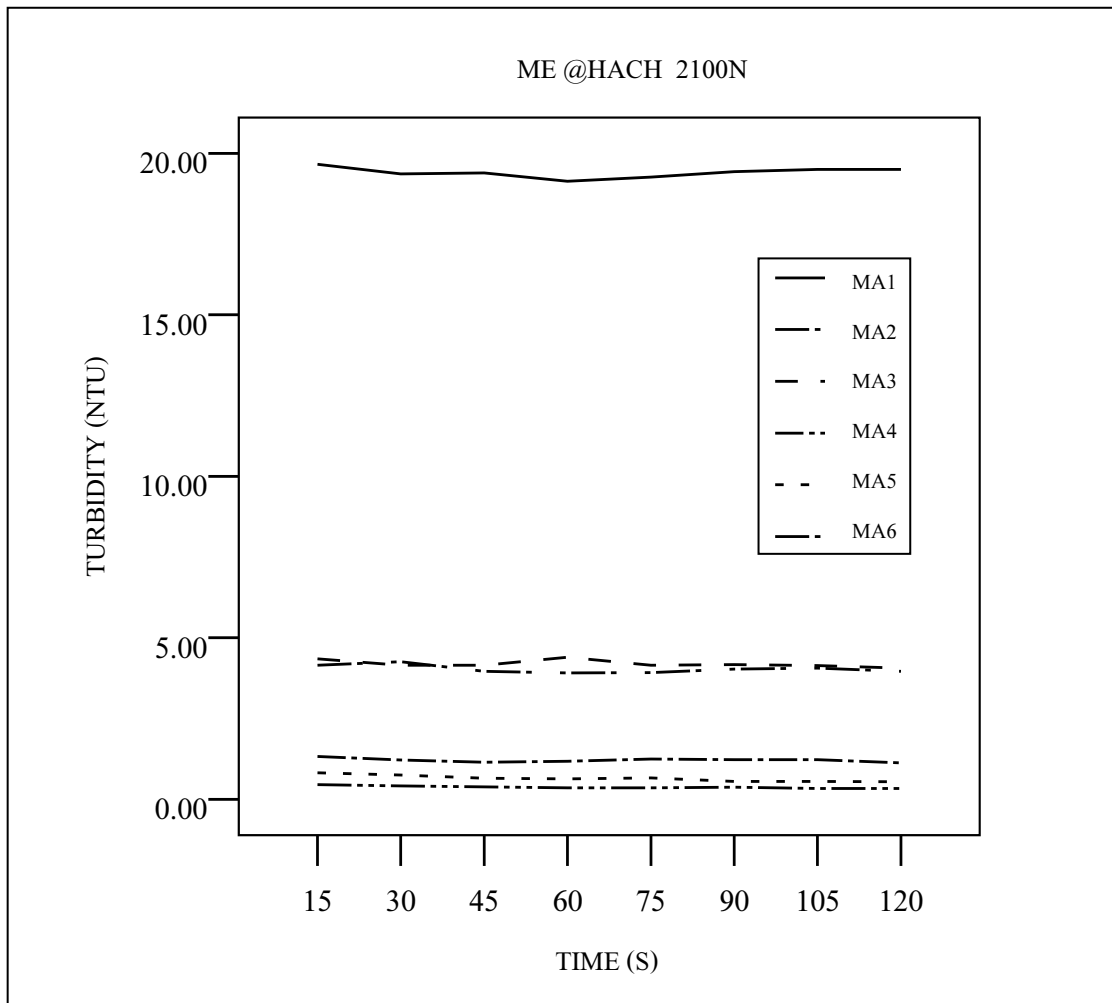
ระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งวินาทีอื่นๆ พบว่าค่า P-value ของ MA6 อยู่ระหว่าง 0.253-0.853 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า MA6 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

## 2) กรณีโรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมาในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว

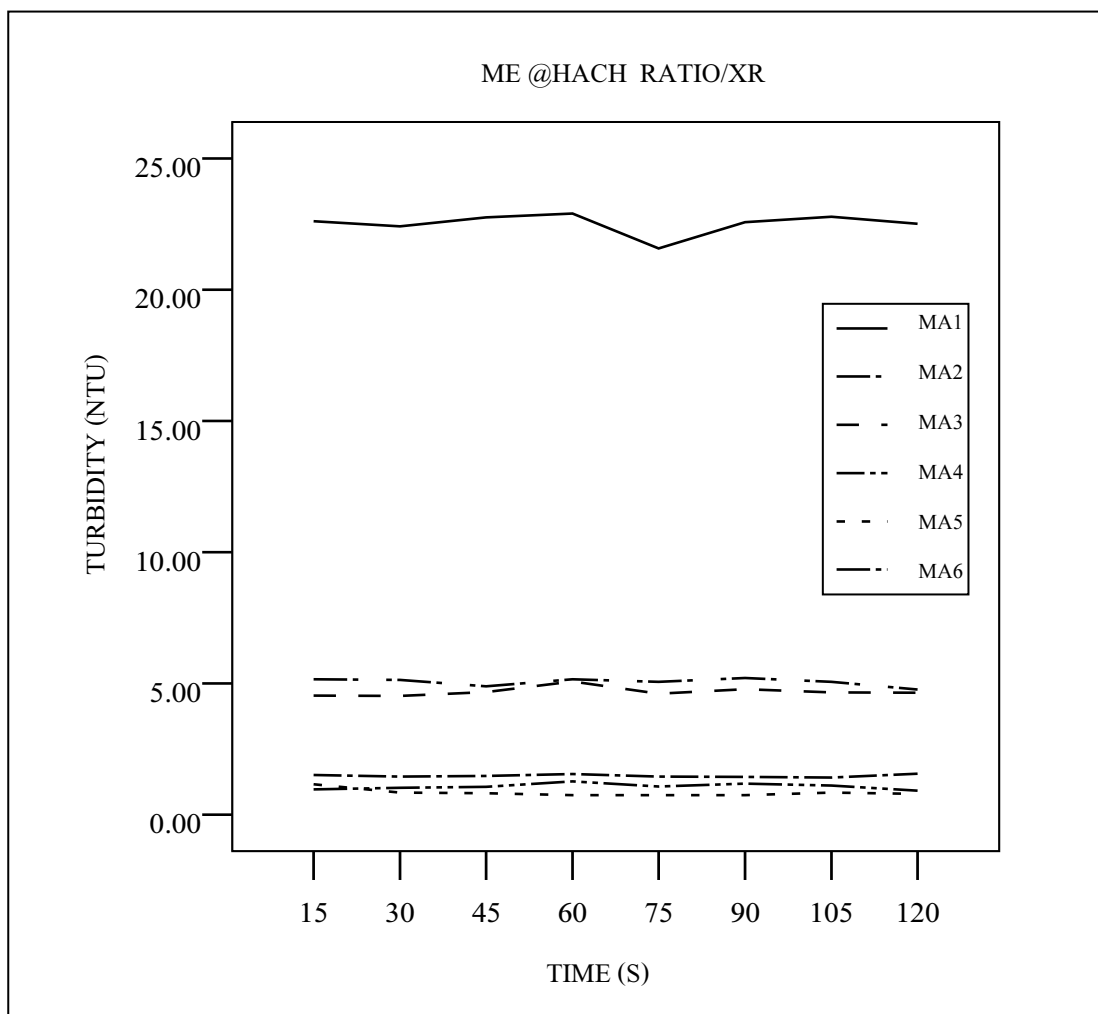
ผลการทดลองการอ่านค่าความขุ่นโดยการจับเวลาของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของ โรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมาในวินาทีที่ 15 30 45 60 75 90 105 และ 120 ตามลำดับ นี้มีความสัมพันธ์ของเวลาและการอ่านค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่า โดยส่วนใหญ่เมื่ออ่านค่าความขุ่นช่วงระยะเวลา 15-120 วินาที ด้วยเครื่องวัดความขุ่นทั้ง 2 เครื่อง จะเห็นได้ว่าลักษณะของเส้นกราฟในตำแหน่งเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ก่อนข้างมีความขุ่นเป็นลักษณะเส้นตรงซึ่งคล้ายกันกับตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ข้างต้น และก่อนข้างไม่มีความแตกต่างระหว่างตำแหน่งเก็บตัวอย่างและเครื่องวัดความขุ่นที่ใช้ในการตรวจวัดเท่าใดนัก ซึ่งเมื่อพิจารณาในตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นของเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N (รายละเอียดข้อมูลทางสถิติของเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR แสดงในภาพผนวก ข. และภาคผนวก ค.) มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในตำแหน่งเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาตั้งแต่อ่านค่าความขุ่น 15-120 วินาที ไม่แตกต่างกันมากนัก และค่าความขุ่นที่อ่านได้มีความใกล้เคียงกัน

ทั้งนี้ การอ่านค่าความขุ่นกรณีน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วนี้ประกอบไปด้วยตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ME1-ME6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.6 ตารางสรุปการแจกแจงข้อมูลในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ณ เวลาที่แตกต่างกัน (เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR แสดงในภาคผนวก ค.)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมา



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลมหาราชาจังหวัดนครราชสีมา

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความชุ่มชื้นที่เวลาต่าง ๆ ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว  
(HACH รุ่น 2100N)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มชื้น (± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
ME1	15	19.67 (±0.15)	19.70	19.50	19.80	0.09
	30	19.37 (±0.06)	19.40	19.30	19.40	0.03
	45	19.40 (±0.10)	19.40	19.30	19.50	0.06
	60	19.13 (±0.15)	19.10	19.00	19.30	0.09
	75	19.27 (±0.12)	19.20	19.20	19.40	0.07
	90	19.43 (±0.06)	19.40	19.40	19.50	0.03
	105	19.50 (±0.10)	19.50	19.40	19.60	0.06
	120	19.50 (±0.10)	19.50	19.40	19.60	0.06
ME2	15	4.15 (±0.02)	4.15	4.14	4.17	0.01
	30	4.26 (±0.01)	4.25	4.25	4.27	0.01
	45	3.96 (±0.01)	3.96	3.96	3.97	0.00
	60	3.91 (±0.02)	3.91	3.90	3.93	0.01
	75	3.93 (±0.02)	3.92	3.91	3.95	0.01
	90	4.03 (±0.02)	4.03	4.02	4.05	0.01
	105	4.06 (±0.02)	4.07	4.04	4.08	0.01
	120	3.96 (±0.03)	3.95	3.94	3.99	0.02
ME3	15	4.35 (±0.02)	4.35	4.34	4.37	0.01
	30	4.16 (±0.01)	4.16	4.15	4.16	0.00
	45	4.15 (±0.01)	4.15	4.14	4.16	0.01
	60	4.40 (±0.20)	4.40	4.20	4.60	0.12
	75	4.16 (±0.02)	4.15	4.14	4.18	0.01
	90	4.17 (±0.02)	4.17	4.16	4.19	0.01
	105	4.14 (±0.01)	4.14	4.13	4.15	0.01
	120	4.06 (±0.02)	4.06	4.04	4.07	0.01
ME4	15	1.33 (±0.02)	1.32	1.32	1.35	0.01
	30	1.22 (±0.02)	1.23	1.20	1.24	0.01
	45	1.15 (±0.02)	1.15	1.13	1.16	0.01
	60	1.18 (±0.01)	1.18	1.17	1.19	0.01
	75	1.25 (±0.03)	1.25	1.22	1.27	0.01
	90	1.23 (±0.03)	1.22	1.21	1.26	0.02

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความขุ่นที่เวลาต่าง ๆ ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว  
(HACH รุ่น 2100N) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความขุ่นเฉลี่ย (± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
	105	1.23 (±0.03)	1.23	1.20	1.25	0.01
	120	1.13 (±0.03)	1.13	1.10	1.16	0.02
ME6	15	0.45 (±0.01)	0.45	0.44	0.47	0.01
	30	0.42 (±0.01)	0.42	0.41	0.43	0.01
	45	0.39 (±0.02)	0.39	0.37	0.41	0.01
	60	0.36 (±0.03)	0.35	0.34	0.39	0.01
	75	0.36 (±0.01)	0.36	0.35	0.37	0.01
	90	0.37 (±0.02)	0.38	0.35	0.39	0.01
	105	0.33 (±0.01)	0.33	0.32	0.34	0.01
	120	0.33 (±0.02)	0.34	0.31	0.35	0.01

จากการศึกษาลักษณะพื้นฐานทางสถิติของการอ่านค่าความขุ่นในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ME1-ME6 ของโรงพยาบาลมหาราชนางจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N (รายละเอียดสถิติพรรณนาด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR แสดงในภาคผนวก ค.) สามารถวิเคราะห์สถิติพรรณนาของข้อมูลต่าง ๆ ได้ดังนี้

- ข้อมูล ME1 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 19.40 NTU วินาทีที่ 15-120 มีการกระจายของข้อมูลค่อนข้างน้อย มากน้อยสลับกันไป โดยดูได้จากค่าเบี่ยงเบนของชุดข้อมูล นอกจากนั้นพบว่าในวินาทีที่ 60-90 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงแบบเบ้ขวาเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk (ในกรณีที่จำนวนตัวแปรน้อยกว่า 50) โดยมีสมมติฐานของการทดสอบคือ  $H_0$ : มีการแจกแจงแบบปกติ และ  $H_1$ : มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ พบว่าค่า P-value ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 30 75 และวินาทีที่ 90 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งวินาทีอื่นๆ พบว่าค่า P-value ของ ME1 อยู่ระหว่าง 0.637-1.000 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า ME1 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล ME2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 4.03 NTU ลักษณะของข้อมูลมีการกระจายน้อย อยู่ในช่วง 0.01-0.03 ในช่วงวินาทีที่ 30-40 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยสุดคือ 0.01 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลแบบสมมาตร มีวินาทีที่ 30 75 และ 120 เบ้ขวา

เล็กน้อยแต่ค่าเกือบสมมาตรซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value วินาทีที่ 30 และ 45 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งวินาทีอื่นๆ พบว่าค่า P-value ของ ME2 อยู่ระหว่าง 0.363-0.637 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า ME2 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล ME3 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 4.19 NTU ลักษณะของข้อมูลมีการกระจายน้อยอยู่ในช่วง 0.01-0.02 ยกเว้นวินาทีที่ 60 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงแบบสมมาตร มีเพียงวินาทีที่ 75 มีลักษณะข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value วินาทีที่ 30 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งวินาทีอื่นๆ พบว่าค่า P-value ของ ME3 อยู่ระหว่าง 0.463-1.000 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า ME3 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล ME4 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 1.21 NTU วินาทีที่ 60 มีการกระจายของข้อมูลน้อยและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.01 ซึ่งมีการแจกแจงข้อมูลเกือบสมมาตร และเมื่อวินาทีที่ 90 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ลักษณะของข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value วินาทีที่ 15 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งวินาทีอื่นๆ พบว่าค่า P-value ของ ME4 อยู่ระหว่าง 0.363-1.000 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า ME4 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล ME5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.64 NTU วินาทีที่ 30-60 ข้อมูลมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยคือ 0.01 และมีการกระจายของข้อมูลที่น้อยตามไปด้วย ลักษณะมีการแจกแจงข้อมูลในวินาทีที่ 75 และ 120 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงแบบเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร วินาทีที่ 45 ข้อมูลมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้ายเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ ME5 อยู่ระหว่าง 0.107-0.948 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า ME5 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล ME6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.64 ชุดข้อมูลมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยคือ 0.01-0.03 ลักษณะมีการแจกแจงข้อมูลสมมาตร ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงแบบสมมาตร ในวินาทีที่ 60 มีการแจกแจงแบบเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่ง

สอดคล้องกับสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ ME6 อยู่ระหว่าง 0.298-0.942 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า ME6 มีการแจกแจงแบบปกติ

การอ่านค่าความขุ่นซึ่งเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ณ เวลาแตกต่างกันประกอบไปด้วยตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA2-MA6 และ ME1-ME6 ซึ่งในบ่อเติมอากาศ MA 1 ไม่สามารถอ่านค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่างได้เนื่องจากน้ำตัวอย่างมีค่าความขุ่นที่สูงเกินช่วงที่กำหนดของเครื่องวัดความขุ่นจะอ่านค่าได้(ต้องนำน้ำตัวอย่างไปเจือจางโดยประมาณที่แตกต่างกันก่อนนำมาวิเคราะห์) ทั้งนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.7 ตารางสรุปการแจกแจงข้อมูลในน้ำบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ณ เวลาที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.7 ตารางสรุปการแจกแจงข้อมูลในน้ำตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100 ณ เวลาที่แตกต่างกัน

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	ลักษณะการแจกแจงข้อมูล	เวลาอ่านค่าความขุ่น (วินาที)							
		15	30	45	60	75	90	105	120
MA2	แจกแจงปกติ	●	●		●	●			●
	แจกแจงไม่ปกติ			○			○	○	
MA3	แจกแจงปกติ	●	●	●	●		●	●	
	แจกแจงไม่ปกติ					○			○
MA4	แจกแจงปกติ	●		●	●	●	●	●	●
	แจกแจงไม่ปกติ		○						
MA5	แจกแจงปกติ	●	●	●			●	●	●
	แจกแจงไม่ปกติ				○	○			
MA6	แจกแจงปกติ	●	●	●				●	●
	แจกแจงไม่ปกติ				○	○	○		
ME1	แจกแจงปกติ	●		●	●			●	●
	แจกแจงไม่ปกติ		○			○	○		
ME2	แจกแจงปกติ	●			●	●	●	●	●
	แจกแจงไม่ปกติ		○	○					
ME3	แจกแจงปกติ	●		●	●	●	●	●	●
	แจกแจงไม่ปกติ		○						
ME4	แจกแจงปกติ		●	●	●	●	●	●	●
	แจกแจงไม่ปกติ	○							



ตารางที่ 4.7 ตารางสรุปการแจกแจงข้อมูลในน้ำตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100 ณ เวลาที่แตกต่างกัน (ต่อ)

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	ลักษณะการแจกแจงข้อมูล	เวลาอ่านค่าความขุ่น (วินาที)							
		15	30	45	60	75	90	105	120
ME5	แจกแจงปกติ	●	●	●	●	●	●	●	●
	แจกแจงไม่ปกติ								
ME6	แจกแจงปกติ	●	●	●	●	●	●	●	●
	แจกแจงไม่ปกติ								

หมายเหตุ สัญลักษณ์ ● คือ แจกแจงแบบปกติและ○ คือ แจกแจงไม่ปกติ

จากตารางที่ 4.7สรุปได้ว่า น้ำตัวอย่าง ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกันในช่วงเวลา 15 วินาทีเป็นต้นไป จะมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างสูงจึงทำให้ลักษณะของการแจกแจงข้อมูลไม่ปกติ นอกจากนี้ยังทำให้ทราบเวลาในการอ่านค่าที่เหมาะสมซึ่งใช้เป็นตัวแทนตำแหน่งเก็บตัวอย่างนั้นได้ด้วย

#### 4.2.2 การรวบรวมข้อมูล

##### 4.2.2.1 การรวบรวมข้อมูลค่าปริมาณสารแขวนลอย

ข้อมูลปริมาณสารแขวนลอยจากตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ได้แก่ MA ME PA PE CA และ CE ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในแต่ละตำแหน่งดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.8 โดยส่วนใหญ่จะเห็นได้ค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามัธยฐานเนื่องจากข้อมูลบางตัวมีค่าสูงมาก ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา โดยพิจารณาจาก Histogram(ในภาคผนวก ข.) และในการทดสอบทางสถิติโดยการทดสอบ Test of Normality สถิติที่ใช้ทดสอบคือ Kolmogorov-Smirnov (K-s) Test โดยมีสมมติฐานของการทดสอบคือ  $H_0$ : มีการแจกแจงแบบปกติ และ  $H_1$ : มีการแจกแจงไม่ปกติ พบว่ามีค่า P-value ระหว่าง 0.164-0.305 มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่าตัวแปรไม่ได้มีการแจกแจงปกติหรือ Lognormal

##### 4.2.2.2 การรวบรวมข้อมูลค่าความขุ่น

ข้อมูลสถิติพรรณนาของค่าความขุ่นนี้ได้มาจากการวัดด้วยเครื่องวัดความขุ่น 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 มีตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ Tur\_MA Tur\_ME Tur\_PA Tur\_PE Tur\_CA และ Tur\_CE จากการตรวจวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 375.10 NTU 21.18 NTU 15.53 NTU 1.36 NTU 295.66 NTU และ 127.86 NTU ตามลำดับ ในแต่ละตำแหน่งเก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยสูง

กว่าค่ามัธยฐานเนื่องจากข้อมูลบางตัวมีค่าสูงมาก ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา โดยพิจารณาจาก Histogram (ในภาคผนวก ข.) และในการทดสอบทางสถิติโดยการทดสอบ Test of Normality สถิติที่ใช้ทดสอบคือ Kolmogorvo-Smirnov (K-s) Test โดยมีสมมติฐานของการทดสอบคือ  $H_0$ : มีการแจกแจงแบบปกติ และ  $H_1$ : มีการแจกแจงไม่ปกติ พบว่ามีค่า P-value ระหว่าง 0.177-0.383ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่าตัวแปรไม่ได้มีการแจกแจงปกติหรือ Lognormal

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าปริมาณสารแขวนลอย

ตำแหน่ง เก็บตัวอย่าง	จำนวน ข้อมูล	ค่าเฉลี่ย (มก./ล.)	ค่ามัธยฐาน (มก./ล.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มก./ล.)	ค่าต่ำสุด (มก./ล.)	ค่ามากที่สุด (มก./ล.)
MLSS_MA	120	355.47	275.00	259.60	88.40	1000.00
SS_ME	144	32.38	23.95	18.51	14.00	83.00
MLSS_PA	120	384.27	221.00	376.45	23.00	1126.00
SS_PE	144	21.18	18.11	15.07	2.00	55.20
MLSS_CA	144	276.00	94.00	391.35	9.00	1186.00
SS_CE	144	24.44	16.00	22.96	1.00	78.00

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความขุ่นจากเครื่อง HACH รุ่น 2100N

ตำแหน่ง เก็บตัวอย่าง	จำนวน ข้อมูล	ค่าเฉลี่ย (NTU)	ค่ามัธยฐาน (NTU)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (NTU)	ค่าต่ำสุด (NTU)	ค่ามากที่สุด (NTU)
Tur_MA	120	375.10	248.00	356.23	19.00	1178.00
Tur_ME	144	15.53	4.94	21.15	0.58	66.80
Tur_PA	120	127.86	83.98	119.08	10.00	396.10
Tur_PE	144	21.18	18.11	15.07	2.00	53.20
Tur_CA	144	295.66	59.20	507.24	4.30	1496.00
Tur_CE	144	1.36	0.59	1.71	0.12	5.37

จากการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR มีค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่นของตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ Tur\_MA Tur\_ME Tur\_PA Tur\_PE Tur\_CA และ Tur\_CEเท่ากับ 369.13 NTU 13.92 NTU 130.98 NTU 2.06 NTU 315.67 NTU และ 1.42 NTU ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามัธยฐานเนื่องจากข้อมูลบางตัวมีค่าสูงมาก ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา โดยพิจารณาจาก Histogram (ในภาคผนวก ข.) และ

ในการทดสอบทางสถิติโดยการทดสอบ Test of Normality สถิติที่ใช้ทดสอบคือ Kolmogorvo-Smirnov (K-s) Test โดยมีสมมติฐานของการทดสอบคือ  $H_0$ : มีการแจกแจงแบบปกติ และ  $H_1$ : มีการแจกแจงไม่ปกติ พบว่ามีค่า P-value ระหว่าง 0.192-0.360ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่าตัวแปรไม่ได้มีการแจกแจงปกติหรือ Lognormal

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความขุ่นจากเครื่อง HACH รุ่น RATIO/XR

สถานที่	จำนวนข้อมูล	ค่าเฉลี่ย (NTU)	ค่ามัธยฐาน (NTU)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (NTU)	ค่าต่ำสุด (NTU)	ค่ามากที่สุด (NTU)
Tur_MA	120	369.13	234.90	383.96	5.50	1306.00
Tur_ME	144	13.92	4.84	20.36	0.54	77.80
Tur_PA	120	130.98	78.50	128.28	9.69	456.00
Tur_PE	144	2.06	0.81	2.50	0.22	8.63
Tur_CA	144	315.67	92.60	503.31	1.93	1504.00
Tur_CE	144	1.42	0.62	1.73	0.23	5.83

จากการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความขุ่นขนาดพกพาี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 มีค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่นของตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ Tur\_MA Tur\_ME Tur\_PA Tur\_PE Tur\_CA และ Tur\_CEเท่ากับ 288.83 NTU 14.70 NTU 161.56 NTU 1.69 NTU 193.14 NTU และ 1.41 NTU ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามัธยฐานเนื่องจากข้อมูลบางตัวมีค่าสูงมาก ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา โดยพิจารณาจาก Histogram (ในภาคผนวก ข.) และในการทดสอบทางสถิติจากการทดสอบ Test of Normality สถิติที่ใช้ทดสอบคือ Kolmogorvo-Smirnov (K-s) Test โดยมีสมมติฐานของการทดสอบคือ  $H_0$ : มีการแจกแจงแบบปกติ และ  $H_1$ : มีการแจกแจงไม่ปกติ พบว่ามีค่า P-value ระหว่าง 0.163-0.349ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่าตัวแปรไม่ได้มีการแจกแจงปกติหรือ Lognormal

#### 4.2.2.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นจากหลายงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาการนำเครื่องวัดความขุ่นมาใช้เพื่อตรวจติดตามปริมาณสารแขวนลอยตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ ลำคลอง คูแนวโน้มของปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำว่ามีปริมาณสูงหรือต่ำ เพราะจะมีผลต่อค่าความขุ่นของน้ำ การกัดเซาะ การพังทลายของหน้าดิน และความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่จะอยู่ในน้ำได้ (มันสิน ตันทุลเวศม์, 2543) และความแตกต่างของสถานที่และอัตราการไหล

ของน้ำที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อสมการถดถอย(Packman et al., 2000)ซึ่งจากงานวิจัยนี้การวิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากจุดเก็บน้ำต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งในบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยการเจือจางและไม่มีการเจือจางในอัตราส่วน 1:5 1: 10 1:20 1:50 และ 1:100 ตามลำดับโดยใช้หมายเลข 1 ต่อท้ายคำย่อแทนน้ำตัวอย่างที่ไม่มีการเจือจางและหมายเลข 2 3 4 5 และ 6 แทนน้ำตัวอย่างที่มีการเจือจางโดยประมาณตามลำดับร้อยละการเจือจางข้างต้น ในการเก็บข้อมูลวิจัยนี้ได้ใช้ระยะเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน-เดือนตุลาคม 2552

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าความขุ่นจากเครื่อง EUTECH รุ่น TN100

สถานที่	จำนวนข้อมูล	ค่าเฉลี่ย (NTU)	ค่ามัธยฐาน (NTU)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (NTU)	ค่าต่ำสุด (NTU)	ค่ามากที่สุด (NTU)
Tur_MA	120	288.83	206.50	242.42	29.70	853.00
Tur_ME	144	14.70	4.65	21.35	0.59	72.13
Tur_PA	120	161.56	78.40	178.15	11.73	584.00
Tur_PE	144	1.69	0.84	1.78	0.28	6.58
Tur_CA	144	193.14	62.57	295.66	3.24	892.90
Tur_CE	144	1.41	0.61	1.78	0.05	5.91

### 1) เครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N

ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น โดยตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 โดยแบ่งเป็น 6 กรณี ได้แก่ (1) กรณีน้ำบ่อเติมอากาศโรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมา (MA) (2) กรณีน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมา (ME) (3) กรณีน้ำบ่อเติมอากาศโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 (PA) (4) กรณีน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา (PE) (5) กรณีน้ำบ่อเติมอากาศของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) (CA) และ (6) กรณีน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) (CE)

ทั้งนี้ แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยตำแหน่งเก็บตัวอย่างแต่ละตำแหน่งได้สรุปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) โดยมีสมการถดถอยที่ได้จากความสัมพันธ์ทั้งสองดังตารางที่ 4.12

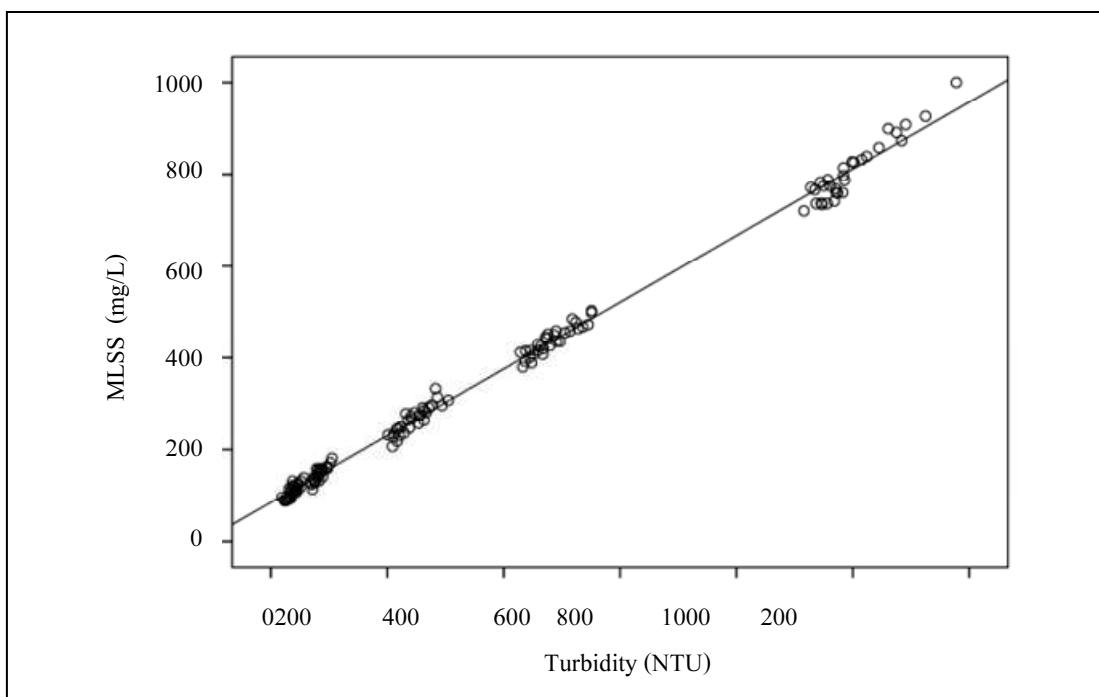
ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N

Code	TSS Concentration				Turbidity				Linear Regression			SS=a(Turbidity)+b (y=ax+b)	Standard Error (SE)
	Min (mg/L)	Max (mg/L)	Mean (mg/L)	STD	Min (NTU)	Max (NTU)	Mean (NTU)	STD	Slope (a)	Intercept (b)	Correlation Coefficient (r)		
MA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA2	720.00	1000.00	8.06E2	67.85	916.00	1178.00	9.97E2	63.23	1.03	217.48	0.96	MLSS=1.03x+217.48	19.98
MA3	380.00	523.00	4.41E2	34.23	429.40	551.00	4.83E2	37.16	0.84	33.94	0.91	MLSS=0.84x+33.94	14.09
MA4	207.00	333.00	2.67E2	30.76	201.40	305.00	2.46E2	28.06	0.98	23.05	0.90	MLSS=0.98x+23.05	13.53
MA5	114.00	181.00	1.47E2	14.69	67.80	105.10	83.81	9.56	1.32	37.28	0.86	MLSS=1.32x+37.28	7.69
MA6	88.40	139.20	1.09E2	14.48	19.00	56.50	36.80	9.29	1.29	61.74	0.83	MLSS=1.29x+61.74	8.27
MA1-MR6	88.40	1000.00	3.53E2	257.14	19.00	1178.00	3.69E2	353.19	0.73	85.26	0.99	MLSS=0.73x+85.26	16.26
ME1	57.00	83.00	69.24	6.35	52.30	66.80	60.60	3.86	1.54	-24.19	0.94	SS=1.54x-24.19	2.22
ME2	31.00	49.00	39.25	4.87	12.08	23.96	17.61	3.37	1.36	15.34	0.94	SS=1.36x+15.34	1.69
ME3	22.00	32.00	26.70	3.02	4.24	13.65	8.51	2.81	0.99	18.24	0.92	SS=0.99x+18.24	1.19
ME4	17.00	26.00	21.93	2.18	2.29	5.40	3.79	0.85	2.25	13.41	0.88	SS=2.25x+13.41	1.05
ME5	16.00	24.00	20.80	1.97	1.11	3.52	2.20	0.65	2.59	15.09	0.85	SS=2.59x+15.09	1.05
ME6	14.00	21.00	16.63	2.22	0.58	2.12	1.08	0.46	4.47	11.81	0.93	SS=4.47x+11.81	0.82
ME1-ME6	14.00	83.00	32.35	18.39	0.58	66.80	15.57	21.07	0.85	18.98	0.98	SS=0.85x+18.98	3.56
PA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA2	973.00	1126.00	1.05E3	45.18	289.00	396.18	3.38E2	32.01	1.26	624.65	0.89	MLSS=1.26x+624.65	20.55
PA3	435.00	597.00	5.20E2	39.22	135.00	194300	1.69E2	16.04	2.09	165.77	0.86	MLSS=2.09x+165.77	20.53
PA4	184.00	259.10	2.21E2	18.83	70.28	96.00	83.56	6.99	2.23	34.90	0.83	MLSS=2.23x+34.90	10.77
PA5	77.30	100.70	91.00	5.94	25.20	41.30	34.24	4.54	1.01	56.59	0.77	MLSS=1.01x+56.59	3.88
PA6	23.00	45.20	33.11	5.72	10.00	18.49	14.14	2.71	1.66	9.64	0.79	MLSS=1.66x+9.67	3.59
PA1-PA6	23.00	1126.00	3.83E2	37.4	10.00	396.10	1.28E2	119.78	3.14	-17.69	0.99	MLSS=3.14x-17.69	33.47

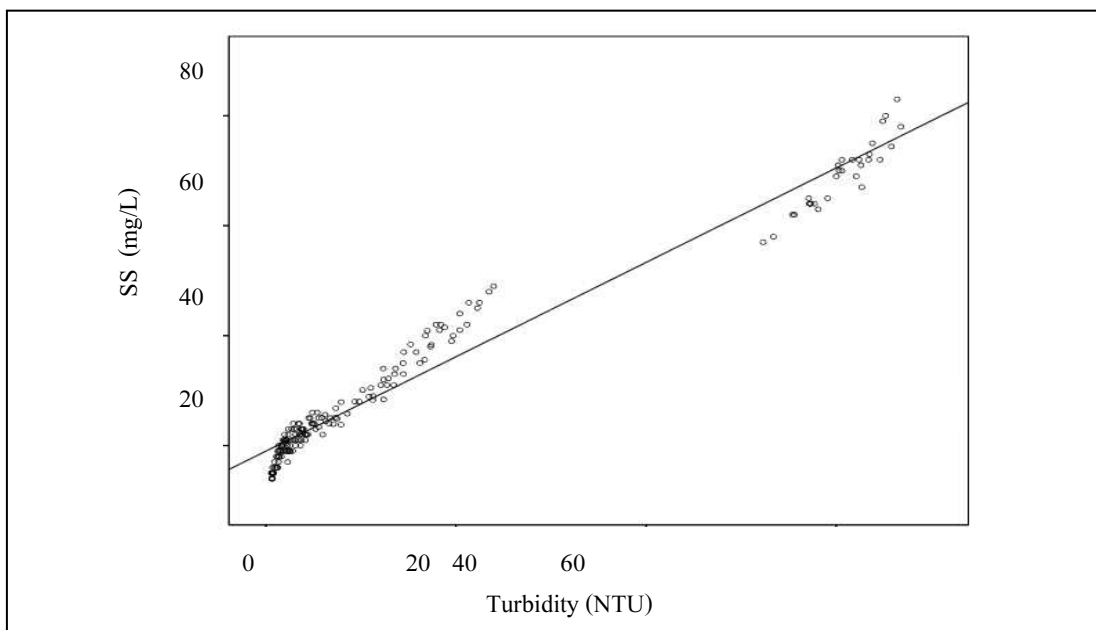
ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N (ต่อ)

Code	TSS Concentration				Turbidity				Linear Regression			SS=a(Turbidity)+b (y=ax+b)	Standard Error (SE)
	Min (mg/L)	Max (mg/L)	Mean (mg/L)	STD	Min (NTU)	Max (NTU)	Mean (NTU)	STD	Slope (a)	Intercept (b)	Correlation Coefficient (r)		
PE1	39.40	55.20	46.82	4.43	6.78	7.97	7.31	0.33	12.12	-41.79	0.91	SS=12.12x-41.79	1.83
PE2	19.00	42.50	30.97	5.35	1.26	2.18	1.69	0.23	21.43	-5.39	0.91	SS=21.43x-5.39	2.27
PE3	15.00	23.00	19.60	2.23	0.51	0.73	0.62	0.06	29.79	0.89	0.86	SS=29.79x+0.89	1.16
PE4	15.14	20.04	17.68	1.35	0.46	0.63	0.53	0.05	21.25	6.32	0.79	SS=21.25x+6.32	0.83
PE5	6.86	10.00	8.49	0.81	0.36	0.58	0.47	0.06	10.43	3.59	0.76	SS=10.43x+3.59	0.53
PE6	2.00	3.00	2.77	0.43	0.217	0.35	0.29	0.04	5.59	1.15	0.47	SS=5.59x+1.15	1.35
PE1-PE6	2.00	55.20	21.06	14.88	0.22	7.97	1.82	2.51	5.16	11.66	0.87	SS=5.16x+11.66	7.36
CA1	1064.00	1186.00	1.13E3	32.36	1345.00	196.00	1.42E3	43.17	0.67	167.95	0.90	MLSS=0.67x+167.95	14.08
CA2	216.00	323.00	2.70E2	33.02	173.40	240.70	2.07E2	18.91	1.61	-62.51	0.92	MLSS=1.61x-62.51	13.17
CA3	97.00	190.00	1.48E2	27.59	66.70	102.00	85.88	9.28	2.65	-78.97	0.89	MLSS=2.65x-78.97	12.72
CA4	45.00	91.00	67.85	12.59	30.30	51.70	41.28	6.01	1.81	-6.99	0.86	MLSS=1.81x-6.99	6.44
CA5	12.00	41.00	24.93	7.45	10.30	27.10	15.81	4.19	1.51	1.03	0.85	MLSS=1.51x+1.03	3.97
CA6	8.00	23.00	15.84	4.01	4.30	10.30	7.42	1.68	2.07	0.51	0.86	MLSS=2.07x+0.51	2.50
CA1-CA6	8.00	1186.00	2.76E2	392.35	4.30	1496.00	29568E2	507.39	0.77	483.42	0.99	MLSS=0.77x+483.42	39.47
CE1	57.00	81.00	70.73	5.52	48.0	5.41	5.10	0.17	28.47	-74.48	0.89	SS=28.47x-74.48	2.48
CE2	25.00	43.00	32.56	4.42	1.04	1.51	1.24	0.13	30.51	-5.28	0.92	SS=30.51x-5.28	1.78
CE3	14.00	27.00	20.97	3.25	0.48	0.73	0.61	0.07	40.54	-3.80	0.87	SS=40.54x-3.80	1.60
CE4	9.00	16.00	12.37	2.03	0.34	0.66	0.52	0.09	18.29	2.85	0.82	SS=18.29x+2.85	1.18
CE5	5.00	10.00	7.41	1.34	0.19	0.58	0.39	0.11	9.99	3.52	0.80	SS=9.99x+3.52	0.82
CE6	1.00	4.00	2.49	0.92	0.12	0.42	0.26	0.08	8.85	0.15	0.78	SS=8.85x+0.15	0.59
CE1-CE6	1.00	81.00	24.42	23.17	0.12	5.41	1.35	1.71	12.99	6.82	0.96	SS=12.99x+6.82	6.47

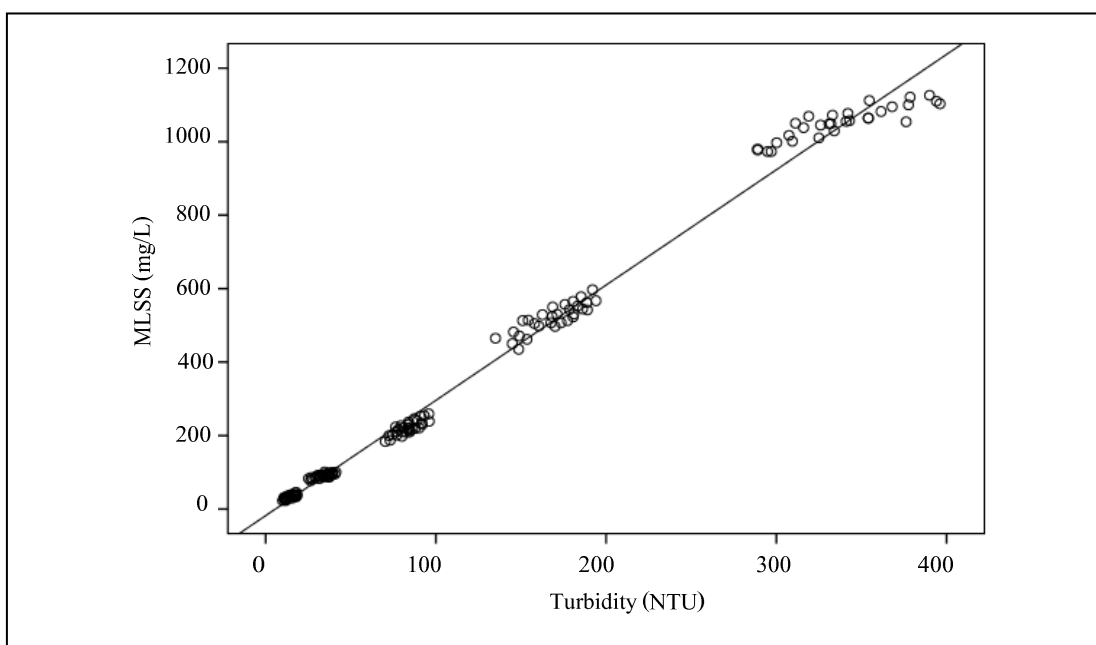
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น โดยแยกเป็น 6 กรณี จากผลการศึกษานี้พบว่า น้ำเสียของโรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมาจากบ่อเติมอากาศที่ MA1 ที่ไม่มีการเจือจางโดยประมาณนั้นไม่สามารถวัดค่าความขุ่นได้ในบ่อเติมอากาศ เนื่องจากมีค่าความขุ่นเกินช่วงการวัดได้ของเครื่องมือวัด นั่นคือ 0-4000 NTU จึงต้องวิเคราะห์น้ำตัวอย่างได้ด้วยการเจือจางและไม่มีการเจือจางในอัตราส่วน 1:5 1: 10 1:201:50 และ 1:100 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA2-MA6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N

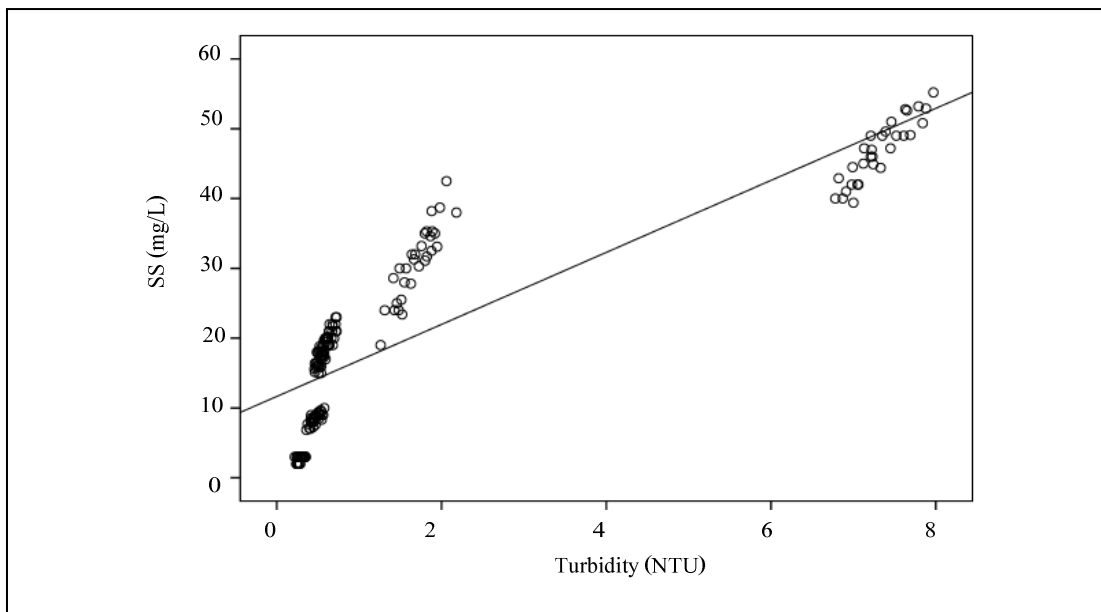


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ME1-ME6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N

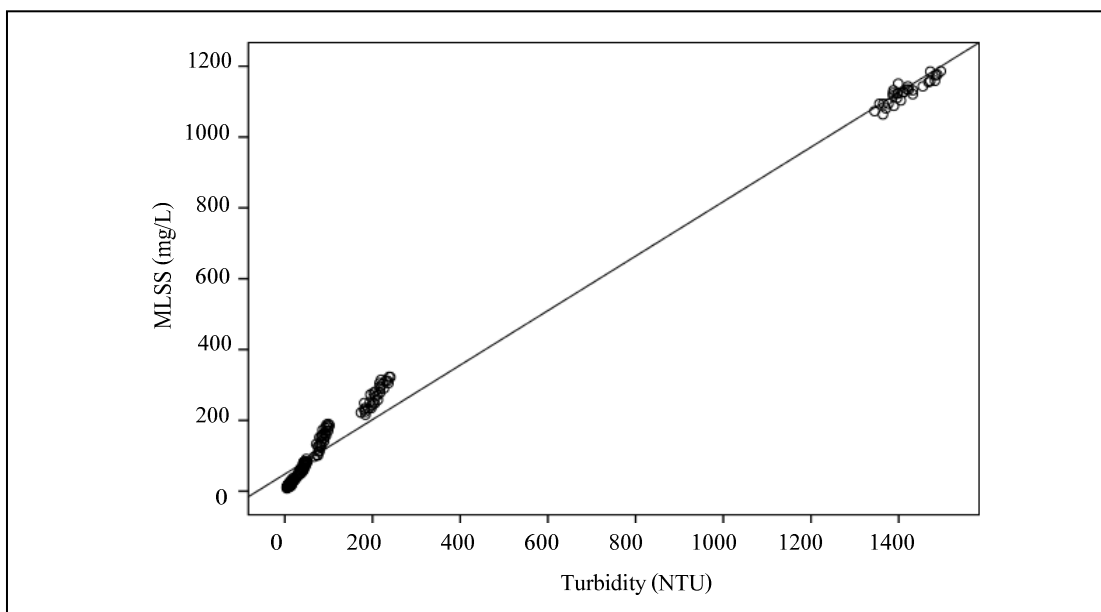


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PA2-PA6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N

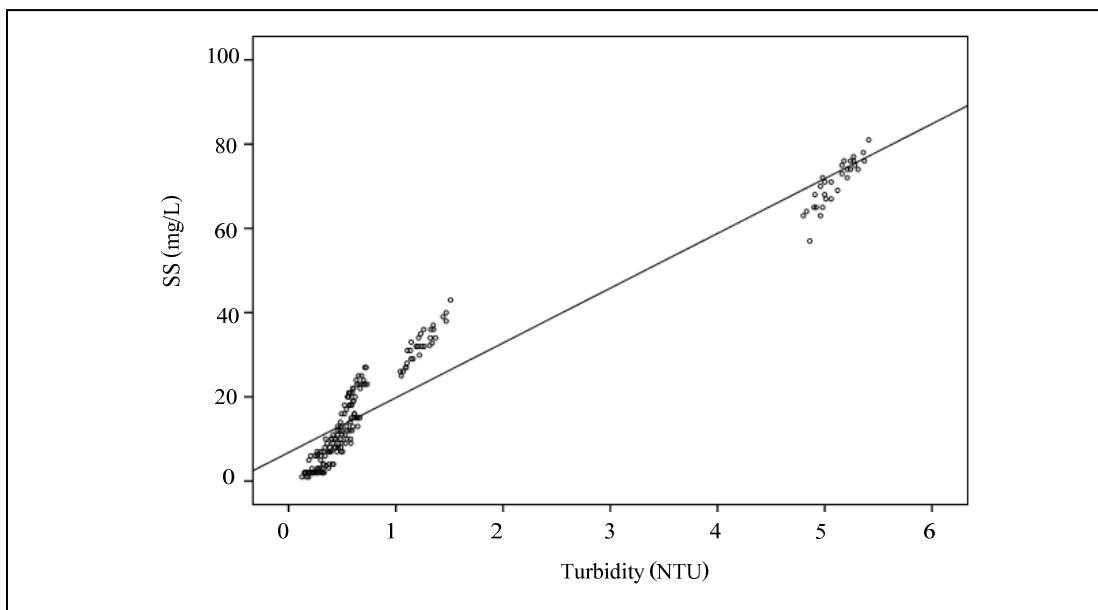




รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PE1-PE6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CA1-CA6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CE1-CE6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N

## 2) เครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR

ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น โดยตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยแบ่งเป็น 6 กรณี ได้แก่ (1) กรณีน้ำบ่อเดิมอากาศโรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมา (MA) (2) กรณีน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมา (ME) (3) กรณีน้ำบ่อเดิมอากาศโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 (PA) (4) กรณีน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา (PE) (5) กรณีน้ำบ่อเดิมอากาศของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) (CA) และ (6) กรณีน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) (CE)

ทั้งนี้ แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยตำแหน่งเก็บตัวอย่างแต่ละตำแหน่งได้สรุปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) โดยมีสมการถดถอยที่ได้จากความสัมพันธ์ทั้งสองดังแสดงในตารางที่ 4.13

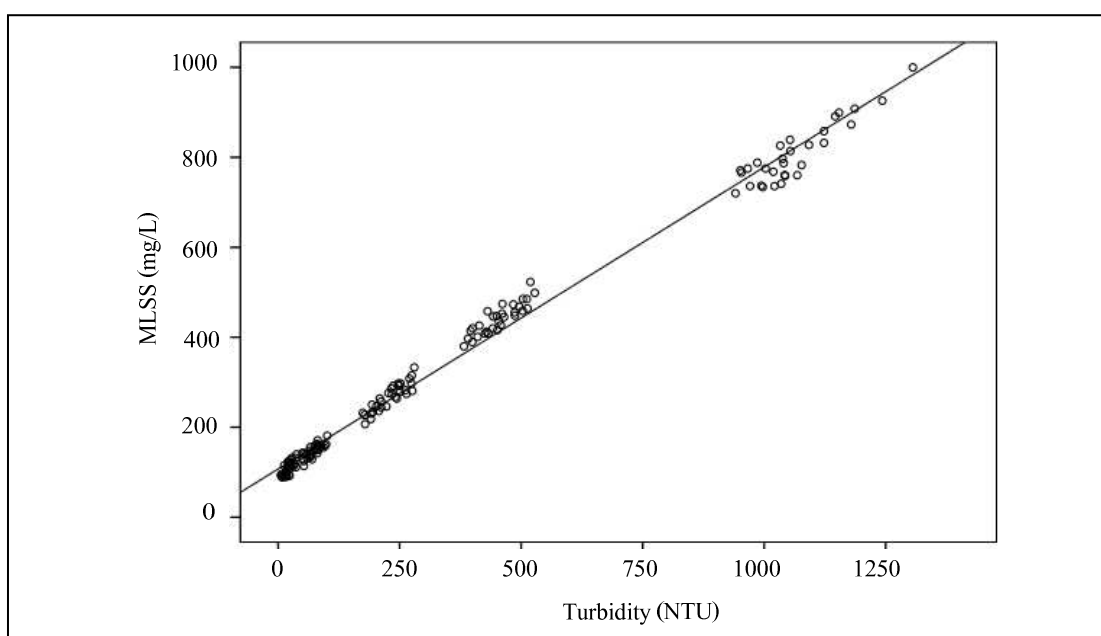
ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR

Code	TSS Concentration				Turbidity				Linear Regression			SS=a(Turbidity)+b (y=ax+b)	Standard Error (SE)
	Min (mg/L)	Max (mg/L)	Mean (mg/L)	STD	Min (NTU)	Max (NTU)	Mean (NTU)	STD	Slope (a)	Intercept (b)	Correlation Coefficient (r)		
MA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA2	720.00	1000.00	8.06E2	67.85	941.00	1306.00	1.06E3	88.46	0.69	65.77	0.91	MLSS=0.69x+65.77	28.69
MA3	380.00	523.00	4.41E2	34.22	382.10	528.10	4.54E2	41.96	0.72	113.03	0.88	MLSS=0.72x+113.03	16.17
MA4	207.00	333.00	2.66E2	30.75	174.20	280.00	2.29E2	32.60	0.84	72.05	0.90	MLSS=0.84x+72.05	13.62
MA5	114.00	181.00	1.47E2	16.68	50.10	101.10	73.32	14.84	0.78	90.13	0.79	MLSS=0.78x+90.13	9.09
MA6	88.40	139.20	1.09E2	14.48	5.50	37.90	21.57	8.89	1.19	83.54	0.73	MLSS=1.19x+83.54	10.05
MA1-MR6	88.40	1000.00	3.54E2	257.39	5.50	1306.00	3.67E2	381.96	0.67	107.29	0.99	MLSS=0.67x+107.29	23.43
ME1	57.00	83.00	68.81	6.28	46.10	77.80	59.19	8.65	0.65	30.25	0.89	SS=0.65x+30.25	2.82
ME2	31.00	49.00	38.95	4.31	9.43	20.98	13.74	3.23	1.17	22.79	0.88	SS=1.17x+22.79	2.07
ME3	21.00	29.00	25.51	2.24	5.29	9.85	7.35	1.32	1.37	15.44	0.81	SS=1.37x+15.44	1.35
ME4	17.00	25.00	21.83	1.98	2.35	4.38	3.36	0.55	2.77	12.49	0.77	SS=2.77x+12.49	1.28
ME5	15.00	22.00	18.73	1.76	1.08	2.16	1.58	0.32	4.15	12.15	0.76	SS=4.15x+12.15	1.15
ME6	14.00	19.00	15.90	1.32	0.54	0.90	0.71	0.08	11.38	7.71	0.73	SS=11.38x+7.71	0.90
ME1-ME6	14.00	83.00	31.62	18.54	0.54	77.80	14.32	20.93	0.86	19.26	0.97	SS=0.86x+19.26	4.25
PA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA2	973.00	1126.00	1.05E3	45.19	280.00	456.00	3.63E2	45.51	0.86	738.26	0.86	MLSS=0.86x+738.26	22.82
PA3	435.00	597.00	5.20E2	39.22	125.80	180.60	1.58E2	14.88	2.26	161.52	0.85	MLSS=2.26x+161.52	20.52
PA4	184.00	259.00	2.21E2	18.83	49.50	98.00	76.59	13.83	1.14	133.31	0.84	MLSS=1.14x+133.31	10.28
PA5	77.00	101.00	91.00	5.98	26.10	50.00	36.69	6.29	0.80	61.43	0.84	MLSS=0.80x+61.43	3.23
PA6	23.00	45.00	33.1	5.76	9.69	22.42	17.10	3.58	1.34	10.20	0.83	MLSS=1.34x+10.20	3.24
PA1-PA6	23.00	1126.00	3.83E2	376.32	9.69	456.00	1.30E2	128.49	2.89	5.13	0.99	MLSS=2.89x+5.13	53.55

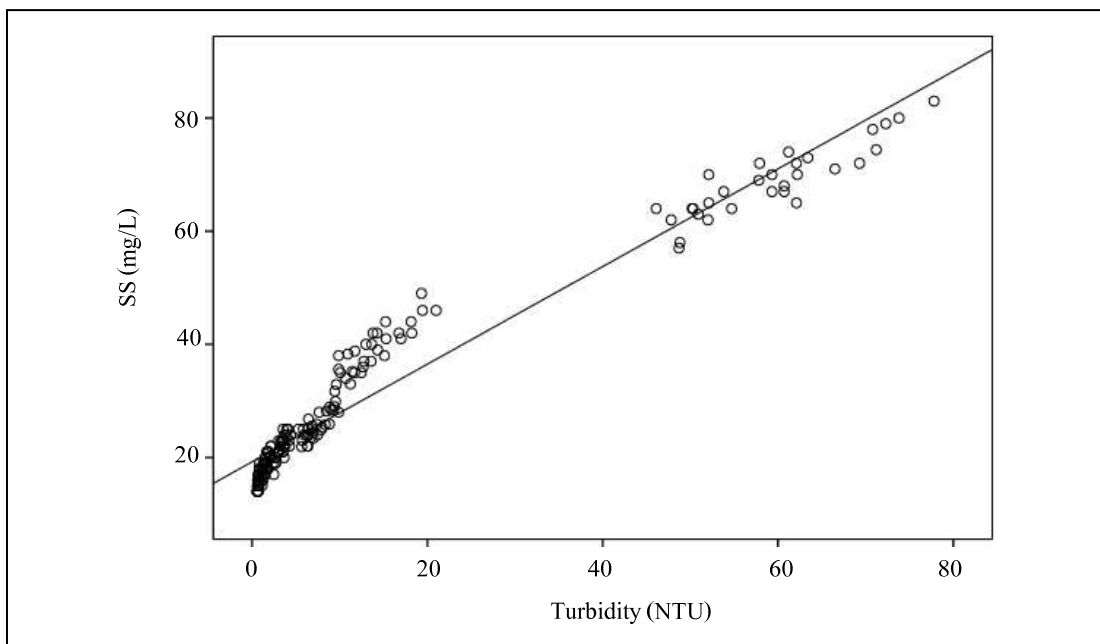
ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR(ต่อ)

Code	TSS Concentration				Turbidity				Linear Regression			SS=a(Turbidity)+b (y=ax+b)	Standard Error (SE)
	Min (mg/L)	Max (mg/L)	Mean (mg/L)	STD	Min (NTU)	Max (NTU)	Mean (NTU)	STD	Slope (a)	Intercept (b)	Correlation Coefficient (r)		
PE1	39.40	55.20	46.82	4.43	6.65	8.63	7.34	0.42	4.84	11.21	0.46	SS=4.84x+11.21	3.98
PE2	19.00	42.50	30.97	5.35	1.14	3.31	2.29	0.66	6.88	15.14	0.86	SS=6.88x+15.14	2.77
PE3	15.00	23.00	19.60	2.22	0.58	0.91	0.73	0.08	21.13	4.05	0.82	SS=21.13x+4.05	1.31
PE4	15.14	20.04	17.68	1.35	0.60	0.91	0.81	0.08	13.07	7.09	0.81	SS=13.07x+7.09	0.80
PE5	6.86	10.00	8.49	0.80	0.22	0.75	0.52	0.12	3.74	6.51	0.57	SS=3.74x+6.51	0.67
PE6	2.00	3.00	2.76	0.43	0.37	0.62	0.47	0.06	2.96	1.34	0.46	SS=2.96x+1.34	0.38
PE1-PE6	2.00	55.20	21.05	14.88	0.08	8.63	2.03	2.48	5.36	10.08	0.89	SS=5.36x+10.08	6.70
CA1	1064.00	1504.00	1.12E3	32.34	1323.00	1504.00	1.41E3	46.51	0.64	209.44	0.93	MLSS=0.64x+209.44	12.06
CA2	216.00	298.00	2.70E2	33.11	249.00	298.40	2.74E2	14.49	2.09	-304.65	0.91	MLSS=2.09x-304.65	13.56
CA3	97.00	147.00	1.48E2	27.58	109.40	147.30	1.00E2	10.78	2.35	-159.24	0.92	MLSS=2.35x-159.24	10.91
CA4	45.00	91.00	67.85	12.59	31.92	75.80	55.33	14.07	0.80	23.09	0.90	MLSS=0.80x+23.09	5.49
CA5	12.00	41.00	24.93	7.44	5.70	14.96	10.45	2.94	2.26	1.22	0.89	MLSS=2.26x+1.22	3.34
CA6	9.00	23.00	15.90	3.92	1.93	7.01	4.81	1.68	2.03	6.12	0.87	MLSS=2.03x+6.12	1.96
CA1-CA6	9.00	1186.00	2.75E2	392.34	1.93	1504.00	3.15E2	503.60	0.77	30.18	0.99	MLSS=0.77x+30.18	21.34
CE1	57.00	81.00	70.73	5.52	4.74	5.83	5.24	0.29	17.13	-19.08	0.92	SS=17.13x-19.08	2.17
CE2	25.00	43.00	32.56	4.42	1.12	1.51	1.29	0.09	39.81	-18.80	0.87	SS=39.81x-18.80	2.15
CE3	14.00	27.00	20.96	3.25	0.40	0.69	0.53	0.07	34.93	2.37	0.85	SS=34.93x+2.37	1.70
CE4	9.00	16.00	12.36	2.02	0.48	0.78	0.64	0.07	20.25	-0.79	0.79	SS=20.25x-0.79	1.24
CE5	5.00	10.00	7.40	1.35	0.23	0.67	0.46	0.12	7.59	3.88	0.68	SS=7.59x-3.88	1.01
CE6	1.00	4.00	2.50	0.93	0.23	0.53	0.36	0.07	7.56	-0.27	0.64	SS=7.56x-0.27	0.73
CE1-CE6	1.00	81.00	24.42	23.17	0.23	5.83	1.42	1.74	12.66	6.38	0.95	SS=12.66x+6.38	6.99

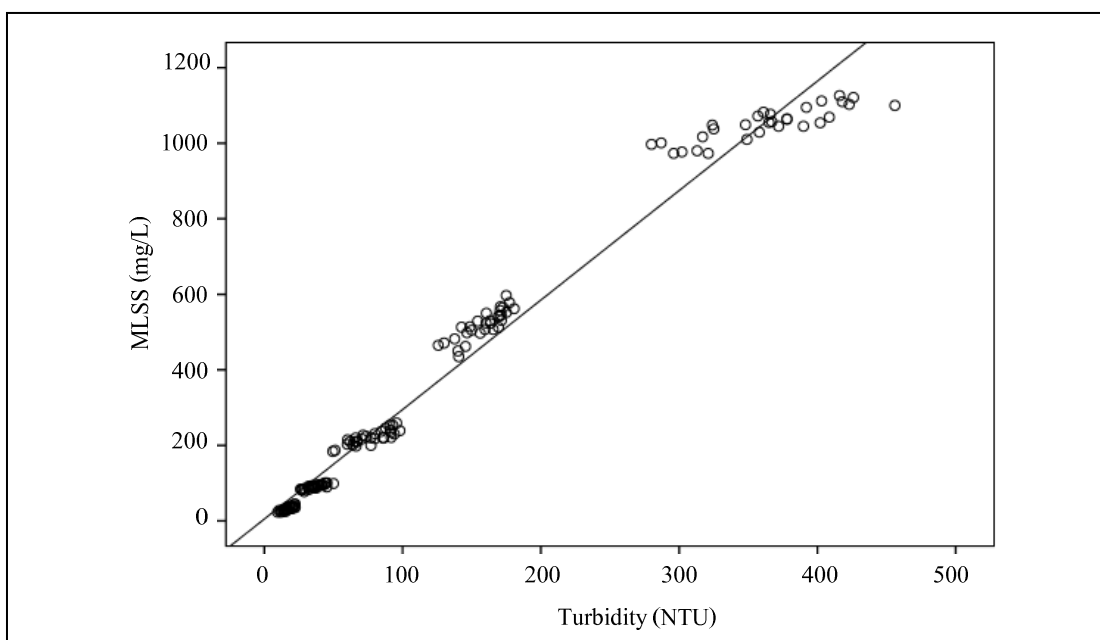
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR โดยแยกเป็น 6 กรณี จากผลการศึกษานี้พบว่า น้ำเสียของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมาจากบ่อเติมอากาศที่ MA1ที่ไม่มีการเจือจางโดยประมาณนั้นไม่สามารถวัดค่าความขุ่นได้ในบ่อเติมอากาศ เนื่องจากมีค่าความขุ่นเกินช่วงการวัดได้ของเครื่องมือวัด นั่นคือ 0-4000 NTU จึงต้องวิเคราะห์น้ำตัวอย่างได้ด้วยการเจือจางและไม่มีการเจือจางในอัตราส่วน 1:5 1: 10 1:20 1:50 และ 1:100 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.14-4.19



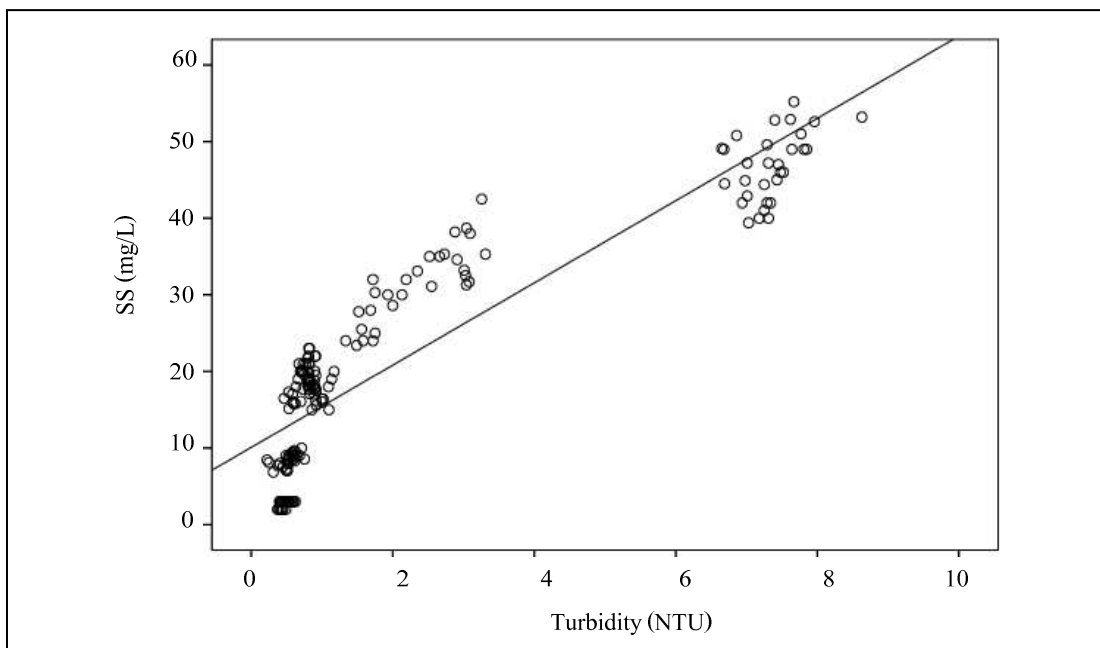
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA2-MA6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR



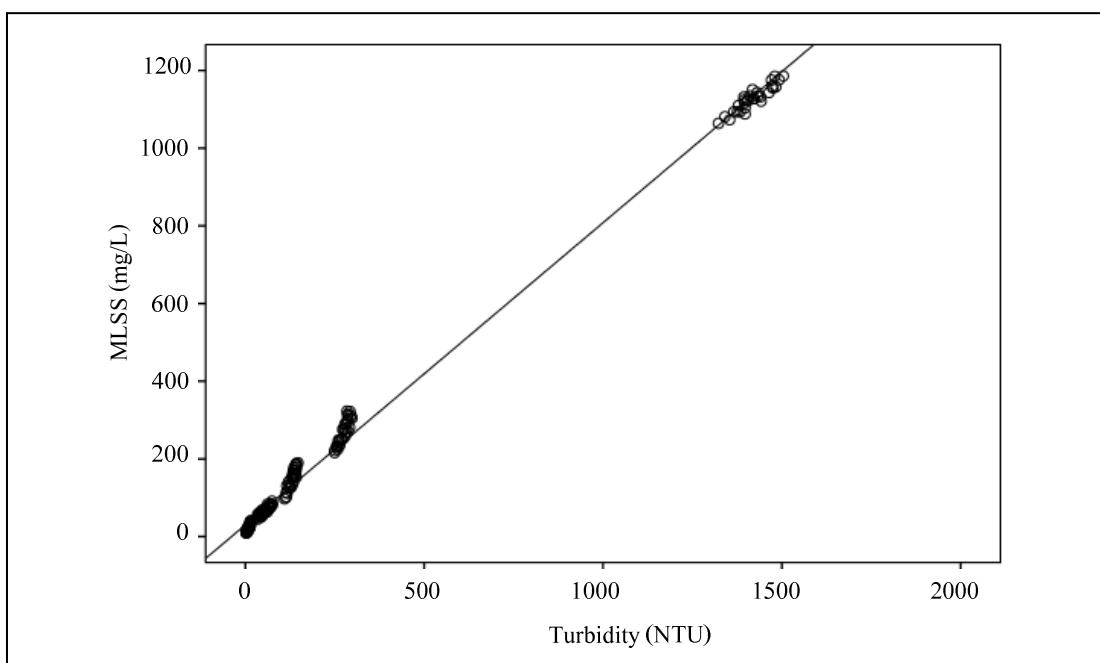
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ME1-ME6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR



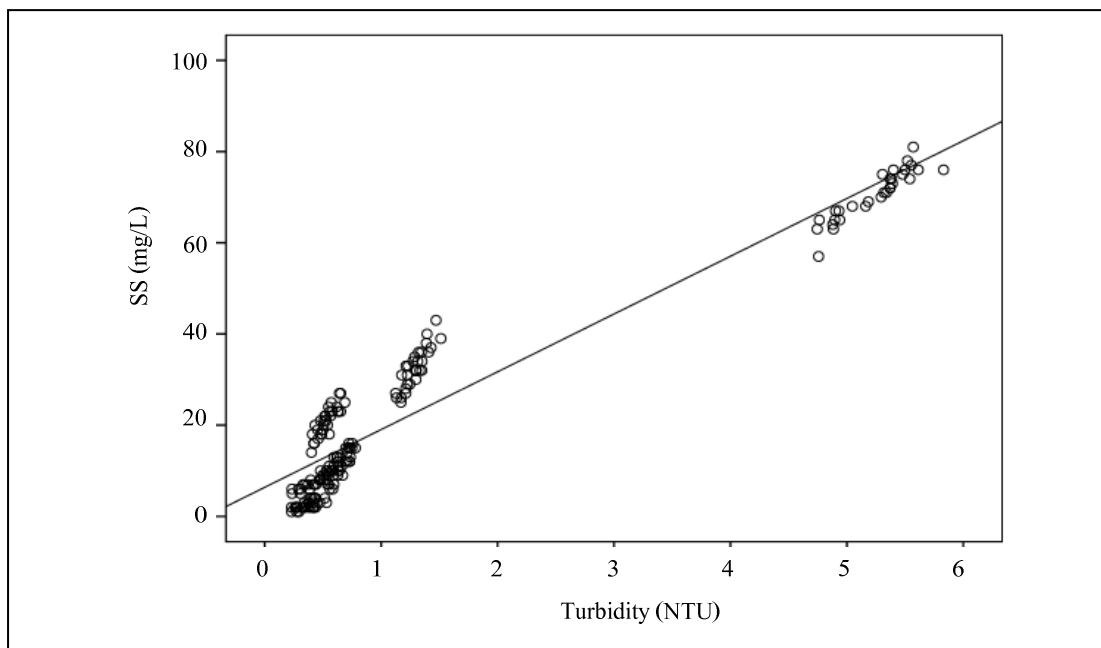
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PA2-PA6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PE1-PE6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CA1-CA6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CE1-CE6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR

### 3) กรณีเครื่องวัดความขุ่น ยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100

ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น โดยตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยแบ่งเป็น 6 กรณี ได้แก่ (1) กรณีน้ำบ่อเดิมอากาศโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา (MA) (2) กรณีน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลมหาราช จ.นครราชสีมา (ME) (3) กรณีน้ำบ่อเดิมอากาศโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 (PA) (4) กรณีน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จ.นครราชสีมา (PE) (5) กรณีน้ำบ่อเดิมอากาศของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) (CA) (6) กรณีน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) (CE)

ทั้งนี้ แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยตำแหน่งเก็บตัวอย่างแต่ละตำแหน่งได้สรุปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) โดยมีสมการถดถอยที่ได้จากความสัมพันธ์ทั้งสองดังตารางที่ 4.14



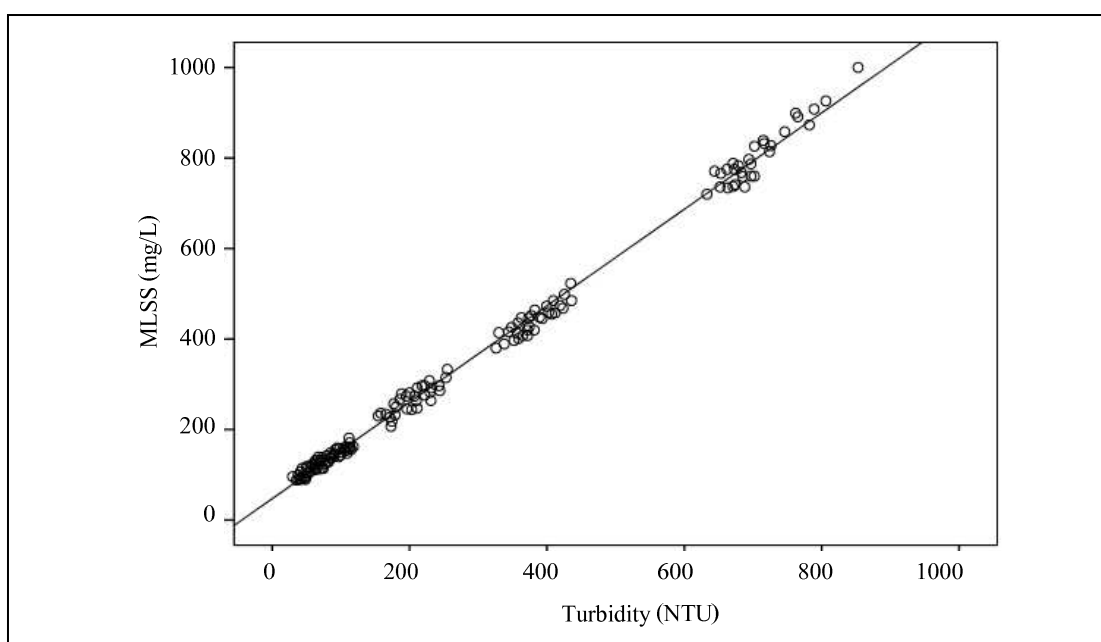
ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100

Code	TSS Concentration				Turbidity				Linear Regression			SS=a(Turbidity)+b (y=ax+b)	Standard Error (SE)
	Min (mg/L)	Max (mg/L)	Mean (mg/L)	STD	Min (NTU)	Max (NTU)	Mean (NTU)	STD	Slope (a)	Intercept (b)	Correlation Coefficient (r)		
MA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA2	720.00	1000.00	8.06E2	67.85	633.00	853.00	7.06E2	52.18	1.12	-62.28	0.94	MLSS=1.12x-62.28	22.62
MA3	380.00	523.00	4.41E2	34.22	325.90	435.80	3.80E2	30.96	0.98	67.30	0.88	MLSS=0.98x+67.30	15.99
MA4	207.00	333.00	2.66E2	30.75	154.40	255.00	2.03E2	28.49	0.91	81.13	0.84	MLSS=0.91x+81.13	16.80
MA5	114.00	181.00	1.47E2	16.68	70.00	118.10	95.01	14.64	0.83	68.21	0.83	MLSS=0.83x+68.21	8.25
MA6	88.40	139.20	1.09E2	14.48	29.70	72.50	52.85	11.55	0.96	58.09	0.77	MLSS=0.96x+58.09	9.36
MA1-MR6	88.40	1000.00	3.54E2	257.39	0.59	853.00	2.40E2	244.63	1.08	36.78	0.99	MLSS=1.08x+36.78	19.01
ME1	57.00	83.00	68.81	6.28	52.88	72.13	61.57	5.47	1.07	2.74	0.93	SS=1.07x+2.74	2.27
ME2	31.70	49.00	38.95	4.31	9.51	19.97	15.39	2.63	1.43	16.90	0.87	SS=1.43x+16.90	2.13
ME3	21.90	29.90	25.51	2.24	4.35	11.12	6.88	1.75	1.07	18.08	0.84	SS=1.07x+18.08	1.22
ME4	17.00	25.00	21.83	1.98	2.07	5.24	3.49	0.92	1.66	16.01	0.78	SS=1.66x+16.01	1.26
ME5	15.00	22.00	18.73	1.76	1.06	2.09	1.64	0.28	4.54	11.26	0.74	SS=4.54x+11.26	0.74
ME6	14.00	19.00	15.90	1.32	0.59	1.02	0.77	0.10	8.88	8.96	0.72	SS=8.88x+8.96	0.93
ME1-ME6	14.00	83.00	31.62	18.54	0.59	72.13	14.96	21.61	0.83	19.07	0.97	SS=0.83x+19.07	3.91
PA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA2	973.00	1126.00	1.05E3	45.19	403.00	584.00	5.00E2	47.53	0.78	658.13	0.82	MLSS=0.78x+658.13	25.90
PA3	435.00	597.00	5.20E2	39.22	139.30	205.90	1.76E2	18.96	1.75	209.59	0.85	MLSS=1.75x+209.59	21.01
PA4	184.00	259.00	2.21E2	18.83	64.80	97.20	79.15	8.84	1.71	85.51	0.81	MLSS=1.71x+85.51	11.35
PA5	77.00	101.00	91.00	5.98	26.80	47.56	36.94	6.11	0.73	64.02	0.75	MLSS=0.73x+64.02	4.05
PA6	23.00	45.00	33.1	5.76	11.73	22.08	16.71	2.98	1.51	7.73	0.78	MLSS=1.51x+7.73	3.63
PA1-PA6	23.00	1126.00	3.83E2	376.32	11.73	584.00	1.62E2	180.11	2.05	49.95	0.98	MLSS=2.05x+49.95	65.15

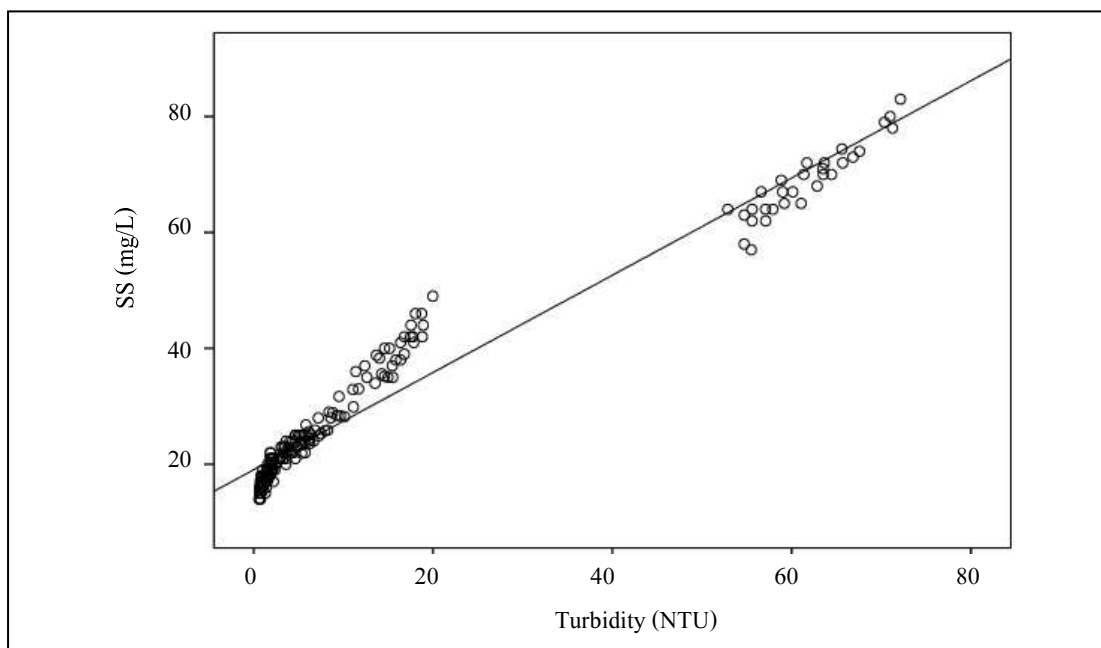
ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากแต่ละแห่งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100(ต่อ)

Code	TSS Concentration				Turbidity				Linear Regression			SS=a(Turbidity)+b (y=ax+b)	Standard Error (SE)
	Min (mg/L)	Max (mg/L)	Mean (mg/L)	STD	Min (NTU)	Max (NTU)	Mean (NTU)	STD	Slope (a)	Intercept (b)	Correlation Coefficient (r)		
PE1	39.40	55.20	46.82	4.43	4.42	6.58	5.32	0.60	6.17	13.92	0.84	SS=6.17x+13.92	2.38
PE2	19.00	42.50	30.97	5.35	1.20	2.99	2.21	0.51	9.38	10.16	0.91	SS=9.38x+10.16	2.24
PE3	15.00	23.00	19.60	2.22	0.41	0.92	0.71	0.12	15.58	8.42	0.89	SS=15.58x+8.42	1.02
PE4	15.14	20.04	17.68	1.35	0.81	1.03	0.92	0.05	19.19	0.01	0.79	SS=19.19x+0.01	0.83
PE5	6.86	10.00	8.49	0.80	0.35	0.69	0.52	0.10	5.76	5.45	0.77	SS=5.76x+5.45	0.51
PE6	2.00	3.00	2.76	0.43	0.28	0.51	0.39	0.06	3.89	1.22	0.62	SS=3.89x+1.22	0.34
PE1-PE6	2.00	55.20	21.05	14.88	0.08	8.63	2.03	2.48	5.36	10.08	0.89	SS=5.36x+10.08	6.70
CA1	1064.00	1504.00	1.12E3	32.34	784.00	900.00	8.41E2	32.14	0.83	422.97	0.83	MLSS=0.83x+422.97	18.25
CA2	216.00	298.00	2.70E2	33.11	144.80	192.30	1.69E2	10.63	2.68	-185.66	0.86	MLSS=2.68x-185.66	17.09
CA3	97.00	147.00	1.48E2	27.58	70.60	108.60	91.95	11.66	2.00	-35.73	0.84	MLSS=2.00x-35.73	14.85
CA4	45.00	91.00	67.85	12.59	33.16	54.54	42.80	6.14	1.71	-5.60	0.83	MLSS=1.71x-5.60	7.01
CA5	12.00	41.00	24.93	7.44	6.13	11.25	8.47	1.52	4.03	-9.22	0.82	MLSS=4.03x-9.22	4.29
CA6	9.00	23.00	15.90	3.92	2.78	6.84	5.01	1.19	2.57	2.98	0.78	MLSS=2.57x+2.98	2.46
CA1-CA6	9.00	1186.00	2.75E2	392.34	2.78	900.00	1.93E2	296.41	1.32	20.46	0.99	MLSS=1.32x+20.46	19.90
CE1	57.00	81.00	70.73	5.52	4.65	6.02	5.34	0.42	10.60	14.07	0.81	SS=10.60x+14.07	3.27
CE2	25.00	43.00	32.56	4.42	0.97	1.50	1.21	0.15	25.16	1.94	0.86	SS=25.16x+1.94	2.24
CE3	14.00	27.00	20.96	3.25	0.52	0.87	0.68	0.09	28.46	1.59	0.85	SS=28.46x+1.59	1.73
CE4	9.00	16.00	12.36	2.02	0.35	0.67	0.52	0.09	16.83	3.52	0.77	SS=16.83x+3.52	1.31
CE5	5.00	10.00	7.40	1.35	0.22	0.62	0.43	0.11	8.92	3.51	0.73	SS=8.92x+3.51	0.94
CE6	1.00	4.00	2.50	0.93	0.05	0.43	0.24	0.10	6.33	0.92	0.72	SS=6.33x+0.92	0.67
CE1-CE6	1.00	81.00	24.42	23.17	0.05	6.02	1.40	1.80	12.34	7.05	0.96	SS=12.34x+7.05	6.59

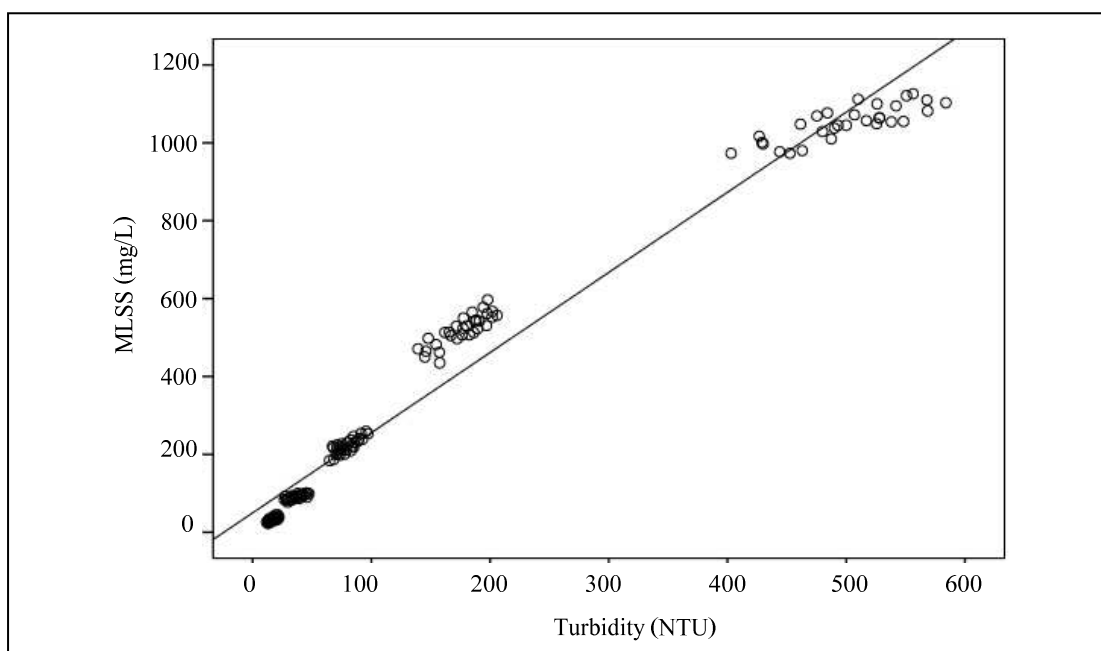
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 โดยแยกเป็น 6 กรณี จากผลการศึกษานี้พบว่า น้ำเสียของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมาจากบ่อเดิมอากาศที่ MA1 ที่ไม่มีการเจือจางโดยประมาณนั้นไม่สามารถวัดค่าความขุ่นได้ในบ่อเดิมอากาศ เนื่องจากมีค่าความขุ่นเกินช่วงการวัดได้ของเครื่องมือวัด นั่นคือ 0-4000 NTU จึงต้องวิเคราะห์น้ำตัวอย่างได้ด้วยการเจือจางและไม่มีการเจือจางในอัตราส่วน 1:5 1:10 1:20 1:50 และ 1:100 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.20-4.26



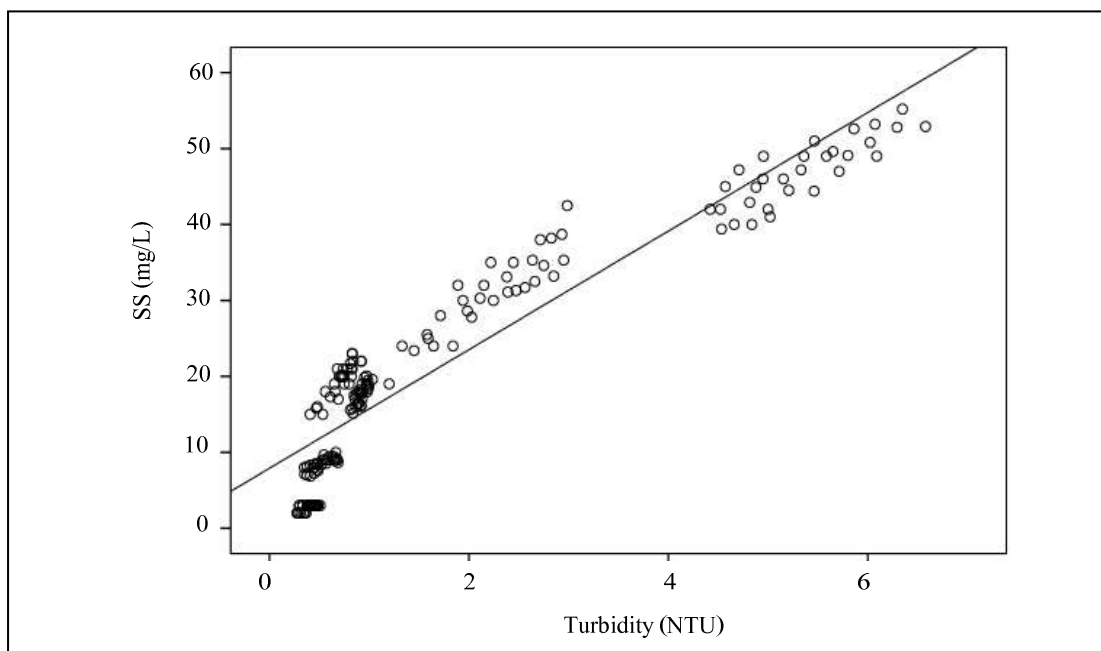
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA2-MA6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100



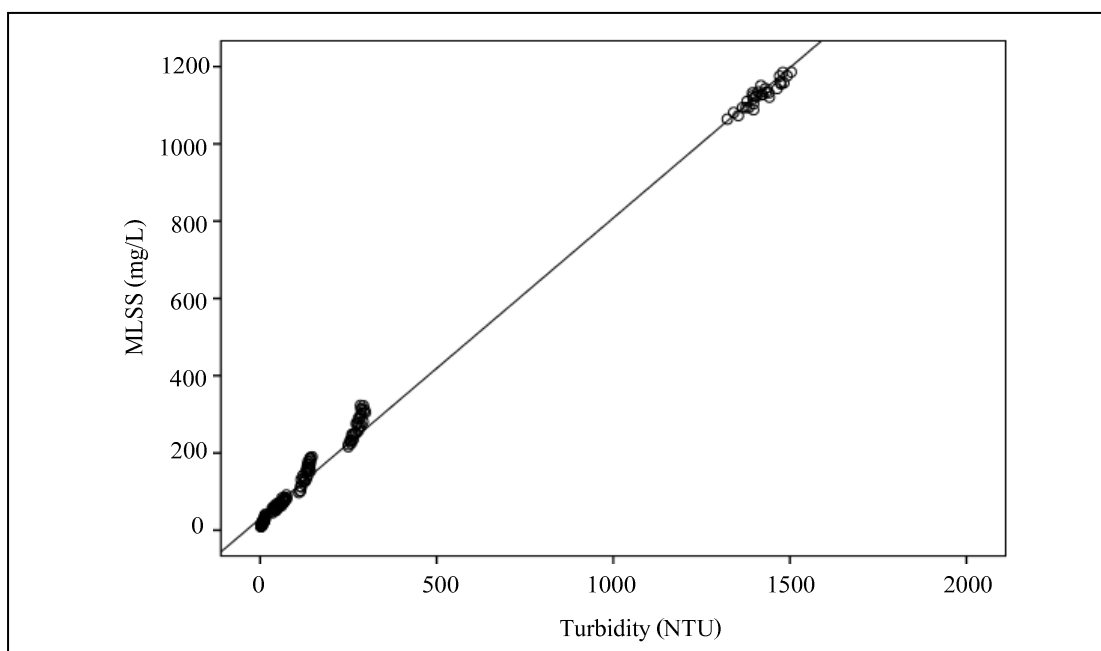
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ME1-ME6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100



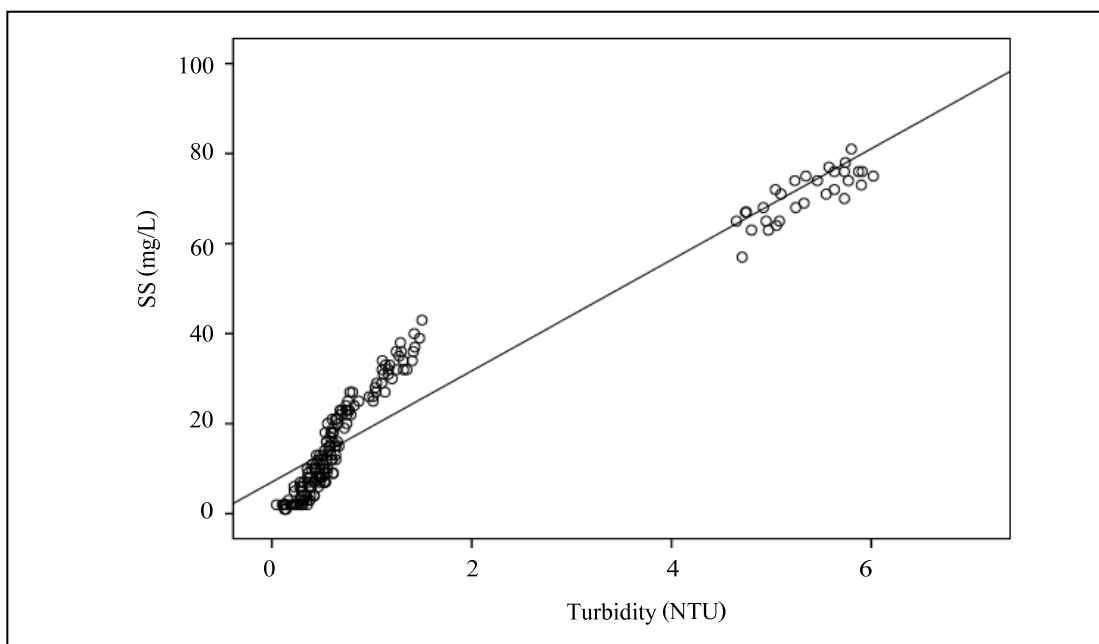
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PA2-PA6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PE1-PE6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CA1-CA6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CE1-CE6 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100

#### 4.2.2.3 การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: R) ระหว่างตัวแปรอิสระคือค่าความขุ่นและตัวแปรตาม คือค่าปริมาณสารแขวนลอย ซึ่งแต่ละแห่งมีตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ได้แก่ (1) น้ำที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา (ME) (2) น้ำเสียบ่อเติมอากาศของโรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครราชสีมา (MA) (3) น้ำที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา (PE) (4) น้ำเสียบ่อเติมอากาศของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา (PA) (5) น้ำที่บำบัดแล้วของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) (CE) และ (6) น้ำเสียบ่อเติมอากาศของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) (CA) โดยในที่นี้ได้ใช้เทคนิควิธีทางสถิติในการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปร และเป็นการทดสอบว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเชิงเส้นหรือไม่ รวมถึงการทดสอบว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันหรือไม่ การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้มานั้นจะคัดเลือกสมการที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุดระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ในการวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองโดยในการศึกษาได้แบ่งกรณีศึกษาเป็น 4 กรณี ได้แก่ (1) กรณีตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม (2) กรณีตัวแปรอิสระกับ Log ของตัวแปรตาม (3) กรณี Log ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม (4) กรณี Log ของตัวแปรอิสระกับ Log ของตัวแปรตาม เมื่อได้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งค่าความขุ่นและค่าปริมาณสารแขวนลอยสำหรับเครื่องวัดความขุ่นแต่ละชนิดแล้วจะได้สมการในแต่ละกรณี และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(R) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน(MSE)ดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์โดยแยกเป็น 4 กรณี โดยการแปลงค่าตัวแปรให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของลอการิทึม ซึ่งส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันคือเมื่อมีปริมาณสารแขวนลอยเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4.12 กรณีการศึกษาค่าความขุ่นซึ่งเป็นตัวแปรอิสระที่นำมาหาความสัมพันธ์นั้นได้วัดค่าด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N จากผลการศึกษาพบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสถานที่ ME ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.982 0.937 0.924 และ 0.975 ตามลำดับ สถานที่ MA ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.995 0.832 0.835 และ 0.998 ตามลำดับ สถานที่ PE ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.868 0.952 0.932 และ 1.000 ตามลำดับ สถานที่ PA ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.996 0.705 0.715 และ 0.999 ตามลำดับ สถานที่ CE ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.959 0.742 0.977 และ 0.908 และสถานที่ CA ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.995 0.805 0.888 และ 0.993 ตามลำดับ

ในส่วนกรณีการศึกษาค่าความขุ่นซึ่งเป็นตัวแปรอิสระที่นำมาหาความสัมพันธ์ด้วยการวัดค่าของเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR กับตัวแปรตามดังแสดงในตารางที่ 4.13 จากผลการศึกษาพบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสถานที่ ME ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.974 0.914 0.922 และ 0.971 ตามลำดับ สถานที่ MA ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.990 0.806 0.854 และ 0.976 ตามลำดับ สถานที่ PE ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.897 0.677 0.962 และ 0.812 ตามลำดับ สถานที่ PA ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.991 0.680 0.713 และ 0.998 ตามลำดับ สถานที่ CE ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.951 0.725 0.966 และ 0.848 และสถานที่ CA ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.998 0.833 0.815 และ 0.993 ตามลำดับ และในส่วนกรณีการศึกษาค่าความขุ่นซึ่งเป็นตัวแปรอิสระที่นำมาหาความสัมพันธ์ด้วยการวัดค่าของเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 กับตัวแปรตามดังแสดงในตารางที่ 4.14 จากผลการศึกษาพบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสถานที่ ME ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.977 0.922 0.929 และ 0.977 ตามลำดับ สถานที่ MA ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.997 0.857 0.797 และ 0.984 ตามลำดับ สถานที่ PE ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.932 0.727 0.977 และ 0.872 ตามลำดับ สถานที่ PA ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.986 0.640 0.738 และ 0.997 ตามลำดับ สถานที่ CE ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.958 0.740 0.960 และ 0.897 และสถานที่ CA ในแต่ละกรณีเท่ากับ 0.998 0.840 0.829 และ 0.992 ตามลำดับ

โดยส่วนใหญ่แล้วความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและค่าปริมาณสารแขวนลอยมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อมีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณสารแขวนลอยเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสถานที่ ME นั้นในกรณีตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม (N-N) ให้ความสัมพันธ์ที่มากกว่าแปลงค่าตัวแปรให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของลอการิทึมอยู่ระหว่าง 0.977-0.982 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสถานที่ MA ในกรณีตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม (N-N) ของเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR และยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มากที่สุด 0.990 และ 0.997 ตามลำดับ ส่วนในเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N มีความสัมพันธ์ที่มากที่สุดเป็นข้อมูล Log ของตัวแปรอิสระกับ Log ของตัวแปรตาม (Log-Log) เท่ากับ 0.998 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสถานที่ PE ในกรณี Log ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม (Log-N) ของเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR และยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มากที่สุด 0.962 และ 0.977 ตามลำดับ ส่วนในเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N มีความสัมพันธ์ที่มากที่สุดเป็นข้อมูล Log ของตัวแปรอิสระกับ Log ของตัวแปรตาม (Log-Log) เท่ากับ 1.000 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสถานที่ PA มีความสัมพันธ์ที่มากที่สุด ในกรณี Log ของตัวแปรอิสระกับ Log ของตัวแปรตาม (Log-Log) อยู่ระหว่าง 0.997-0.999 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสถานที่ CE มีความสัมพันธ์ที่มากที่สุด ในกรณี Log ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม (Log-N) อยู่ระหว่าง 0.960-0.977 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสถานที่ CA นั้นในกรณีตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม (N-N) ให้ความสัมพันธ์ที่มากกว่าแปลงค่าตัวแปรให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของลอการิทึมอยู่ระหว่าง 0.995-0.998 เมื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตำแหน่งเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความขุ่นแต่ละเครื่องแล้ว สามารถสรุปความสัมพันธ์จากการแปลงค่าในกรณีตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามดังแสดงในตารางที่ 4.15



ตารางที่ 4.15 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นที่มี

ความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (HACH 2100N)

สถานที่	การแปลงค่า	สมการ	N	Regression	
				R	MSE
MA	N-N	$SS=0.752(\text{Tur})+64.992$	120	0.995	26.855
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.001(\text{Tur})+1.887$	120	0.832	0.278
	Log-N	$SS=267.395 \text{Log}(\text{Tur})-239.630$	120	0.835	147.432
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=0.594\text{Log}(\text{Tur})+1.057$	120	0.998	0.076
ME	N-N	$SS=0.860(\text{Tur})+19.027$	144	0.982	3.460
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.009(\text{Tur})+1.306$	144	0.937	0.075
	Log-N	$SS=28.384 \text{Log}(\text{Tur})+9.783$	144	0.924	7.125
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=0.346\text{Log}(\text{Tur})+1.117$	144	0.975	0.048
PA	N-N	$SS=3.137(\text{Tur})-15.393$	120	0.996	30.332
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.007(\text{Tur})+1.068$	120	0.705	0.847
	Log-N	$SS=259.516\text{Log}(\text{Tur})-58.450$	120	0.715	261.237
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=1.160\text{Log}(\text{Tur})+0.135$	120	0.999	0.056
PE	N-N	$SS=5.217(\text{Tur})+11.653$	144	0.872	7.407
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.106(\text{Tur})+0.982$	144	0.649	0.313
	Log-N	$SS=30.827\text{Log}(\text{Tur})+22.564$	144	0.969	3.759
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=0.722\text{Log}(\text{Tur})+1.208$	144	0.834	0.227
CA	N-N	$SS=0.768(\text{Tur})+49.083$	144	0.995	40.057
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.001(\text{Tur})+1.706$	144	0.805	0.382
	Log-N	$SS=458.636 \text{Log}(\text{Tur})-569.384$	144	0.888	180.588
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=0.840\text{Log}(\text{Tur})+0.458$	144	0.993	0.076
CE	N-N	$SS=12.904(\text{Tur})+6.945$	144	0.959	6.568
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.209(\text{Tur})+0.884$	144	0.742	0.323
	Log-N	$SS=51.652\text{Log}(\text{Tur})+30.565$	144	0.977	4.962
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=1.007\text{Log}(\text{Tur})+1.287$	144	0.908	0.202

ตารางที่ 4.16 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นที่มี  
ความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (HACH RATIO/XR)

สถานที่	การแปลงค่า	สมการ	N	Regression	
				R	MSE
MA	N-N	$SS=0.705(Tur)+82.830$	120	0.990	37.160
	N-log	$Log(SS)=0.001(Tur)+1.926$	120	0.806	0.297
	Log-N	$SS=263.561Log(Tur)-214.683$	120	0.854	139.617
	Log-Log	$Log(SS)=0.563Log(Tur)+1.156$	120	0.976	0.108
ME	N-N	$SS=0.874(Tur)+19.072$	144	0.974	4.167
	N-log	$Log(SS)=0.010(Tur)+1.299$	144	0.914	0.089
	Log-N	$SS=26.780 Log(Tur)+12.217$	144	0.922	7.074
	Log-Log	$Log(SS)=0.336Log(Tur)+1.196$	144	0.971	0.052
PA	N-N	$SS=2.916(Tur)+0.661$	120	0.991	50.68
	N-log	$Log(SS)=0.006(Tur)+1.126$	120	0.680	0.876
	Log-N	$SS=259.529Log(Tur)-62.033$	120	0.713	262.047
	Log-Log	$Log(SS)=1.163Log(Tur)+0.114$	120	0.998	0.065
PE	N-N	$SS=5.406(Tur)+10.074$	144	0.897	6.682
	N-log	$Log(SS)=0.111(Tur)+0.947$	144	0.677	0.303
	Log-N	$SS=33.416Log(Tur)+19.055$	144	0.962	4.150
	Log-Log	$Log(SS)=0.659Log(Tur)+0.768$	144	0.812	0.240
CA	N-N	$SS=0.776(Tur)+30.936$	144	0.998	21.954
	N-log	$Log(SS)=0.001(Tur)+1.672$	144	0.833	0.355
	Log-N	$SS=373.584Log(Tur)-414.088$	144	0.815	227.236
	Log-Log	$Log(SS)=0.744Log(Tur)+0.633$	144	0.993	0.076
CE	N-N	$SS=12.591(Tur)+6.499$	144	0.951	7.128
	N-log	$Log(SS)=0.201(Tur)+0.881$	144	0.725	0.333
	Log-N	$SS=55.573Log(Tur)+28.285$	144	0.966	5.899
	Log-Log	$Log(SS)=1.022Log(Tur)+1.239$	144	0.848	0.256

ตารางที่ 4.17 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นที่มี  
ความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (EUTECH TN100)

สถานี	การแปลงค่า	สมการ	N	Regression	
				R	MSE
MA	N-N	$SS=1.088(\text{Tur})+37.448$	120	0.997	18.738
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.002(\text{Tur})+1.834$	120	0.857	0.258
	Log-N	$SS=227.913\text{Log}(\text{Tur})-254.844$	120	0.797	162.003
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=0.642\text{Log}(\text{Tur})+0.975$	120	0.984	0.089
ME	N-N	$SS=0.836(\text{Tur})+18.949$	144	0.977	3.905
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.009(\text{Tur})+1.296$	144	0.922	0.085
	Log-N	$SS=26.888\text{Log}(\text{Tur})+11.657$	144	0.929	6.788
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=0.338\text{Log}(\text{Tur})+1.189$	144	0.977	0.046
PA	N-N	$SS=2.122(\text{Tur})+33.574$	120	0.986	61.103
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.004(\text{Tur})+1.232$	120	0.640	0.918
	Log-N	$SS=260.720\text{Log}(\text{Tur})-72.424$	120	0.738	252.073
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=1.127\text{Log}(\text{Tur})+0.130$	120	0.997	0.089
PE	N-N	$SS=7.889(\text{Tur})+7.845$	144	0.932	5.483
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.167(\text{Tur})+0.892$	144	0.727	0.282
	Log-N	$SS=36.621\text{Log}(\text{Tur})+20.191$	144	0.977	3.258
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=0.890\text{Log}(\text{Tur})+1.151$	144	0.872	0.202
CA	N-N	$SS=1.322(\text{Tur})+20.687$	144	0.998	20.255
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.002(\text{Tur})+1.655$	144	0.840	0.348
	Log-N	$SS=424.434\text{Log}(\text{Tur})-457.470$	144	0.829	219.736
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=0.831\text{Log}(\text{Tur})+0.570$	144	0.992	0.079
CE	N-N	$SS=12.334(\text{Tur})+7.101$	144	0.958	6.639
	N-log	$\text{Log}(SS)=0.200(\text{Tur})+0.887$	144	0.740	0.324
	Log-N	$SS=49.109\text{Log}(\text{Tur})+29.819$	144	0.960	6.421
	Log-Log	$\text{Log}(SS)=0.983\text{Log}(\text{Tur})+1.276$	144	0.897	0.193

ตารางที่ 4.18 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นที่มี  
ความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถานี	การแปลงค่า (ตัวแปรอิสระ-ตัวแปรตาม)	N	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)		
			HACH 2100N	HACH RATIO/XR	EUTECH TN100
MA	N-N	120	0.995	0.990	0.997
	N-log	120	0.832	0.806	0.857
	Log-N	120	0.835	0.854	0.797
	Log-Log	120	0.998	0.976	0.984
ME	N-N	144	0.982	0.974	0.977
	N-log	144	0.937	0.914	0.922
	Log-N	144	0.924	0.922	0.929
	Log-Log	144	0.975	0.971	0.977
PA	N-N	120	0.996	0.991	0.986
	N-log	120	0.705	0.680	0.640
	Log-N	120	0.715	0.713	0.738
	Log-Log	120	0.999	0.998	0.997
PE	N-N	144	0.872	0.897	0.932
	N-log	144	0.649	0.677	0.727
	Log-N	144	0.969	0.962	0.977
	Log-Log	144	0.834	0.812	0.872
CA	N-N	144	0.995	0.998	0.998
	N-log	144	0.805	0.833	0.840
	Log-N	144	0.888	0.815	0.829
	Log-Log	144	0.993	0.993	0.992
CE	N-N	144	0.959	0.951	0.958
	N-log	144	0.742	0.725	0.740
	Log-N	144	0.977	0.966	0.960
	Log-Log	144	0.908	0.848	0.897

### 4.2.3 ข้อมูลค่าความขุ่นและสีจริงและสีปรากฏ

ข้อมูลค่าสีจริง แสดงในตารางที่ 4.19 มีตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ T\_Colour\_MAT\_Colour\_ME T\_Colour\_PA T\_Colour\_PE T\_Colour\_CA และ T\_Colour\_CE ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสีแต่ละตัวแปรเท่ากับ 2.55 0.031.130.01 1.13 และ 0.01 Pt-Co ตามลำดับ ในกรณีของ T\_Colour\_MAT\_Colour\_PAT\_Colour\_PET\_Colour\_CA และ T\_Colour\_CE ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามัธยฐาน และแสดงว่าไม่มีการแจกแจงปกติ

ข้อมูลค่าสีปรากฏ แสดงในตารางที่ 4.20 มีตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ A\_Colour\_MA A\_Colour\_ME A\_Colour\_PAA\_Colour\_PEA\_Colour\_CA และ A\_Colour\_CE ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสีแต่ละตัวแปรเท่ากับ 2.54 0.03 1.110.01 0.40 และ 0.01 Pt-Co ตามลำดับ ในกรณีของ A\_Colour\_MAA\_Colour\_MEA\_Colour\_PAA\_Colour\_PEA\_Colour\_CA และ A\_Colour\_CE ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามัธยฐาน และจะแสดงว่าไม่มีการแจกแจงปกติ

ตารางที่ 4.19 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าสีจริง

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	จำนวนข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	ค่ามัธยฐาน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด
T_Colour_MA	120	2.55	1.14	3.49	0.17	9.99
T_Colour_ME	144	0.03	0.17	0.04	0.01	0.11
T_Colour_PA	120	1.13	0.65	1.42	0.07	4.13
T_Colour_PE	144	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03
T_Colour_CA	144	1.13	0.65	1.42	0.07	4.13
T_Colour_CE	144	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลค่าสีปรากฏ

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	จำนวนข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	ค่ามัธยฐาน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด
A_Colour_MA	120	2.54	1.17	3.49	0.17	9.99
A_Colour_ME	144	0.03	0.02	0.04	0.00	0.12
A_Colour_PA	120	1.11	0.53	1.44	0.07	4.20
A_Colour_PE	144	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03
A_Colour_CA	144	0.40	0.14	0.59	0.02	1.67
A_Colour_CE	144	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02

### 4.3 ผลการศึกษาแบบจำลอง

#### 4.3.1 ผลการศึกษาแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้น

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นเป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น โดยที่ X คือตัวแปรอิสระ (Independent Variable) เป็นค่าความขุ่น Y คือตัวแปรตาม (Dependent Variable) เป็นค่าปริมาณสารแขวนลอย ผลจากการศึกษาสองตัวแปรนี้ได้นำมาสร้างแบบจำลอง โดยมีวิธีการของตัวอย่างการสร้างแบบจำลองและเลือกแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

##### 4.3.1.1 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง

ในที่นี้จะยกตัวอย่างการสร้างแบบจำลองทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ของโรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมาในบ่อเติมอากาศ (MA) และในบ่อน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว (ME) โดยแบบจำลองทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยที่เหลือนี้มีวิธีการเดียวกันในการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองใน MA และ ME ใช้เทคนิควิธีทางสถิติในการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยจำนวนตัวแปรกรณีตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมี 144 ตัวแปร กรณีตัวแปรอิสระกับ Log ของตัวแปรตามมี 144 ตัวแปร กรณี Log ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมี 144 ตัวแปร กรณี Log ของตัวแปรอิสระกับ Log ของตัวแปรตามมี 144 ตัวแปร จากผลการวิเคราะห์ได้สมการดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 สมการถดถอยเชิงเส้นสำหรับค่าปริมาณสารแขวนลอย จากเครื่อง HACH รุ่น 2100N

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	การแปลงค่า	สมการ	N	Regression	
				R	RMSE
MA	N-N	SS=0.752(Tur)+64.992	120	0.995	5.182
	N-log	Log(SS)=0.001(Tur)+1.887	120	0.832	0.527
	Log-N	SS=267.395 Log(Tur)-239.630	120	0.835	12.142
	Log-Log	Log(SS)=0.594Log(Tur)+1.057	120	0.998	0.276
ME	N-N	SS=0.860(Tur)+19.027	144	0.965	1.860
	N-log	Log(SS)=0.009(Tur)+1.306	144	0.878	0.274
	Log-N	SS=28.384 Log(Tur)+9.783	144	0.853	2.669
	Log-Log	Log(SS)=0.346Log(Tur)+1.117	144	0.950	0.219

กรณีการศึกษาสมการถดถอยเชิงเส้นสำหรับแบบจำลองทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในบ่อเติมอากาศด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ของโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา (MA) ด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นด้วยโปรแกรม SPSS ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ MA นั้นในกรณี Log ของตัวแปรอิสระกับ Log ของตัวแปรตาม (L-L) ให้ความสัมพันธ์ที่มากกว่ากรณีอื่น เนื่องจากต้องแปลงค่าตัวแปรให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของลอการิทึม โดยสมการมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) อยู่ในช่วง 0.832-0.998 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ ME ในกรณีของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม (N-N) ให้ความสัมพันธ์ที่มากกว่าการแปลงให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของลอการิทึม โดยสมการมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) อยู่ในช่วง 0.853-0.965 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของทั้ง MA และ ME แล้วด้วยการทดสอบสมมติฐาน  $H_0: \beta_1=0$  และ  $H_1: \beta_1 \neq 0$  ผลการทดสอบปรากฏว่าปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  เนื่องจากค่า Sig.=.000 น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด จึงสรุปได้ว่าตัวแปรค่าปริมาณสารแขวนลอยมีความสัมพันธ์กับตัวแปรค่าความขุ่นในรูปเชิงเส้น

#### 4.3.1.2 แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นที่เหมาะสม

เมื่อคัดเลือกสมการที่เหมาะสมซึ่งได้จากผลการศึกษาสถิติโดยคัดเลือกจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) แล้ว หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นด้วยใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามที่ได้แยกออกจากชุดข้อมูลตั้งต้นทั้งหมดร้อยละ 20 นั่นก็คือข้อมูลที่เหลือร้อยละ 80 ได้ถูกนำมาสร้างแบบจำลองในหัวข้อที่ 4.3.1.1 เรียบร้อยแล้ว โดยพิจารณาจากค่า R ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 มาก แสดงว่าแบบจำลองความถดถอยมีความถูกต้องสูง และ

เมื่อแทนค่าตัวแปรอิสระ (ค่าความขุ่น) เข้าไปในสมการเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยวิธีความถดถอยเชิงเส้น พบว่าเมื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นจากค่าตรวจวัดจริงกับผลจากการทำนาย มีความสัมพันธ์กัน โดยมีค่า R ของค่าปริมาณสารแขวนลอย คือ 0.986 และ 0.985 ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ดังแสดงในตารางที่ 4.22 ตารางที่ 4.23 และตารางที่ 4.24 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 สมการถดถอยเชิงเส้นที่เหมาะสมของเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	สมการ	N	Regression		Validation
			R <sup>2</sup>	RMSE	R
MA	$\text{Log}(SS_{MA})=0.594\text{Log}(\text{Tur}_{MA})+1.057$	144	0.998	0.276	0.986
ME	$SS_{ME}=0.836(\text{Tur}_{ME})+18.949$	144	0.982	1.860	0.985
PA	$\text{Log}(SS_{PA})=1.160\text{Log}(\text{Tur}_{PA})+0.135$	144	0.998	0.237	0.993
PE	$SS_{PE}=30.827\text{Log}(\text{Tur}_{PE})+22.564$	144	0.938	1.939	0.956
CA	$SS_{CA}=0.768(\text{Tur}_{CA})+49.083$	144	0.990	6.329	0.996
CE	$SS_{CE}=51.652\text{Log}(\text{Tur}_{CE})+30.565$	144	0.954	2.228	0.985

ตารางที่ 4.23 สมการถดถอยเชิงเส้นที่เหมาะสมของเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	สมการ	N	Regression		Validation
			R <sup>2</sup>	RMSE	R
MA	$SS_{MA}=0.705(\text{Tur}_{MA})+82.830$	144	0.981	6.096	0.995
ME	$SS_{ME}=0.874(\text{Tur}_{ME})+19.072$	144	0.948	2.041	0.971
PA	$\text{Log}(SS_{PA})=1.163\text{Log}(\text{Tur}_{PA})+0.114$	144	0.997	0.255	0.987
PE	$SS_{PE}=33.416\text{Log}(\text{Tur}_{PE})+19.055$	144	0.925	2.037	0.942
CA	$SS_{CA}=0.776(\text{Tur}_{CA})+30.936$	144	0.997	4.686	0.998
CE	$SS_{CE}=55.573\text{Log}(\text{Tur}_{CE})+28.285$	144	0.934	2.429	0.968



ตารางที่ 4.24 สมการถดถอยเชิงเส้นที่เหมาะสมของเครื่องวัดความชุ่ม EUTECH รุ่น TN100

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	สมการ	N	Regression		Validation
			R <sup>2</sup>	RMSE	R
MA	SS=1.088(Tur)+37.448	144	0.995	4.329	0.997
ME	SS=0.836(Tur)+18.949	144	0.955	1.976	0.982
PA	Log(SS)=1.127Log(Tur)+0.130	144	0.994	0.298	0.983
PE	SS=36.621Log(Tur)+20.191	144	0.954	1.805	0.966
CA	SS=1.322(Tur)+20.687	144	0.997	4.501	0.998
CE	SS=49.109Log(Tur)+29.819	144	0.922	2.534	0.982

### 4.3.2 ผลการศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์

#### 4.3.2.1 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง

ในที่นี้จะยกตัวอย่างการสร้างแบบจำลองทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยด้วยเครื่องวัดความชุ่มยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครราชสีมาในบ่อเติมอากาศ (MA) และน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว (ME) โดยแบบจำลองทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยที่เหลือนั้นมีวิธีการเดียวกันในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ดังนี้

1) การออกแบบชั้นต้นกำหนดให้โครงข่ายมี 3 ชั้น และมีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนตามค่าดีฟอลท์ของโปรแกรม (Neuroshell®2) ซึ่งคำนวณจากสมการที่ (4.1)

$$\text{จำนวนโหนดในชั้นซ่อน} = \frac{1}{2} (\text{Inputs} + \text{Outputs}) + \sqrt{\text{จำนวนของ Pattern ที่ใช้ในการสอน}} \quad (4.1)$$

ชุดข้อมูลตัวแปรอิสระ (ค่าความชุ่ม) ที่ใช้ในการป้อนเข้า (Input) มีจำนวน 144 ตัวแปร ส่วนผลลัพธ์ (Output) ที่ต้องการ คือ ค่าปริมาณสารแขวนลอย มีจำนวน 1 ตัวแปร และจำนวน Patterns ที่ใช้ในการสอนร้อยละ 60 (Training set) ของจำนวน Patterns ทั้งหมด คือ  $180 \times 60\% = 108$  Patterns ชุดทดสอบร้อยละ 20 (Test set) และชุดตรวจสอบความถูกต้องร้อยละ 20 (Validate set) ดังนั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน คือ  $\frac{1}{2} (1+1) + \sqrt{108} = 12$  โหนด นั่นคือมีจำนวนอินพุต (ตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม) 12 โหนด และจำนวนเอาต์พุต (ตัวแปรตาม) 1 โหนด ให้โครงข่ายมี 3 ชั้น จะได้โครงข่ายที่ออกแบบคือ 1-12-1

2) กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการสร้างโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ คือ อัตราการเรียนรู้ ( $\eta$ ) โมเมนตัม ( $\alpha$ ) และค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น ( $w$ ) โดยมีค่าเริ่มต้น 0.05 0.1 และ 0.2 ตามลำดับ

3) เริ่มสอนโครงข่ายโดยนำชุดสอนที่ได้แบ่งไว้ร้อยละ 60 โดยเลือกมา 1 ชุดข้อมูลต่อการสอน 1 รอบ คำนวณหาค่าเนตของแต่ละโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 จากการใช้ฟังก์ชันผลรวม (Summation function= $\Sigma$ ) และหลังจากนั้นก็ทำการแปลงค่าโดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function= $f$ ) จะทำให้ได้ค่า  $y_1$   $y_2$  ไปจนถึง  $y_{12}$  ของชั้นซ่อนที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณหาค่า  $y_1$  ดังแสดงให้เห็นในสมการที่ (4.2) และ (4.3)

$$(net_1)_h = \sum_{i=1}^1 w_{ij} X_i = \sum_h \quad (4.2)$$

$$y_1 = \frac{1}{1 + \exp((-net_1)_h)} = f_h \quad (4.3)$$

4) คำนวณหาค่าเนตของโหนดในชั้นเอาต์พุต และหลังจากนั้นก็ให้แปลงค่าโดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ ซึ่งจะทำให้ได้ค่า  $Z_1$  ของชั้นเอาต์พุตตัวอย่างการคำนวณหาค่า  $Z_1$  ดังแสดงให้เห็นในการสมการที่ (4.4) และ (4.5)

$$(net_1)_0 = \sum_i^{12} v_j y_j = \sum_o \quad (4.4)$$

$$z_1 = \frac{1}{1 + \exp((-net_1)_0)} = f_0 \quad (4.5)$$

5) จะทำให้ได้โครงข่ายที่มีการเรียนรู้ 1 รอบ จากนั้นนำชุดทดสอบที่ได้แบ่งไว้ร้อยละ 20 มาทดสอบความคลาดเคลื่อน ( $E_{tot}$ ) ดังแสดงในสมการที่ (4.6) หากค่าคลาดเคลื่อนที่ได้ยังไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.005 จึงคำนวณเทอมผิดพลาดในชั้นเอาต์พุต ( $\delta_o$ ) เพื่อนำกลับไปปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ โดยใช้ชุดข้อมูลเดิมที่ได้จากการสอนในรอบนั้นๆ มาคำนวณเทอมผิดพลาด ดังแสดงในสมการที่ (4.7)

$$E_{tot} = \frac{1}{36} \sum_{p=1}^{36} E^p$$

$$\text{โดยที่ } E^p = \frac{1}{2} (t_i - z_i)^2 \quad (4.6)$$

$$\delta_0 = (Z_i - t_i)' f_0((net_i)_0) \quad (4.7)$$

6) ขั้นต่อไปคำนวณเทอมผิดพลาดในชั้นซ้อน ( $\delta_h$ ) โดยเริ่มจากชั้นซ้อนชั้นสุดท้าย ดังแสดงในสมการที่ (4.8) และปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักก่อนที่จะเริ่มทำการสอนในรอบที่ 2 โดยเริ่มปรับแก้จากชั้นเอาต์พุตดังแสดงในสมการที่ (4.9)

$$\delta_h = f_h'((net_i)_h) \sum_{j=1}^{12} \delta_0 v_{jk} \quad (4.8)$$

$$v_{(t+1)} = \alpha v_{(t)} + \eta \delta_0 v_i \quad (4.9)$$

7) ปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นซ้อน Z ดังแสดงในสมการที่ (4.10)

$$w_{(t+1)} = \alpha w_{(t)} + \eta \delta_h x_i \quad (4.10)$$

8) หลังจากการปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นเอาต์พุตและชั้นซ้อนเรียบร้อยแล้วให้กลับไปเริ่มสอนโครงข่ายในรอบต่อไปให้เป็นไปตามขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งค่าคลาดเคลื่อนจากการนำชุดทดสอบในแต่ละรอบของการสอนโครงข่ายมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.005 หรือสอนโครงข่ายได้ 10,000 รอบ แล้วจึงหยุดสอนโครงข่ายหลังจากนั้นสร้างโครงข่ายอีกครั้งโดยใช้ค่ากำหนดพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไปในการปรับเปลี่ยนใช้ในการสอนโครงข่าย คือ อัตราการเรียนรู้ (ปรับค่า 3 ครั้ง) โมเมนตัม (ปรับค่า 4 ครั้ง) และค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น (ปรับค่า 4 ครั้ง) ดังแสดงในตารางที่ 4.25 โหนดในชั้นซ้อนและชั้นซ้อนจะไม่มีการปรับเปลี่ยนค่าในการสอน

โครงข่าย ในการสอนโครงข่ายแต่ละครั้งจะทำการสอนแบบ Error back-propagation algorithm ใช้ Transfer function แบบ Sigmoid function โดยแบ่งข้อมูลออกมาแบบสุ่มจำนวนร้อยละ 60 ของข้อมูลทั้งหมดของแต่ละแห่งเพื่อใช้สอนโครงข่าย และทำการหยุดสอนโครงข่ายเมื่อโครงข่ายเรียนรู้ครบ 10,000 รอบ หรือมีค่าคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 0.005 ซึ่งจะใช้ข้อมูลที่ได้แบ่งไว้เริ่มต้นร้อยละ 20 มาทำการทดสอบ

ตารางที่ 4.25 ค่าพารามิเตอร์ในโครงข่าย

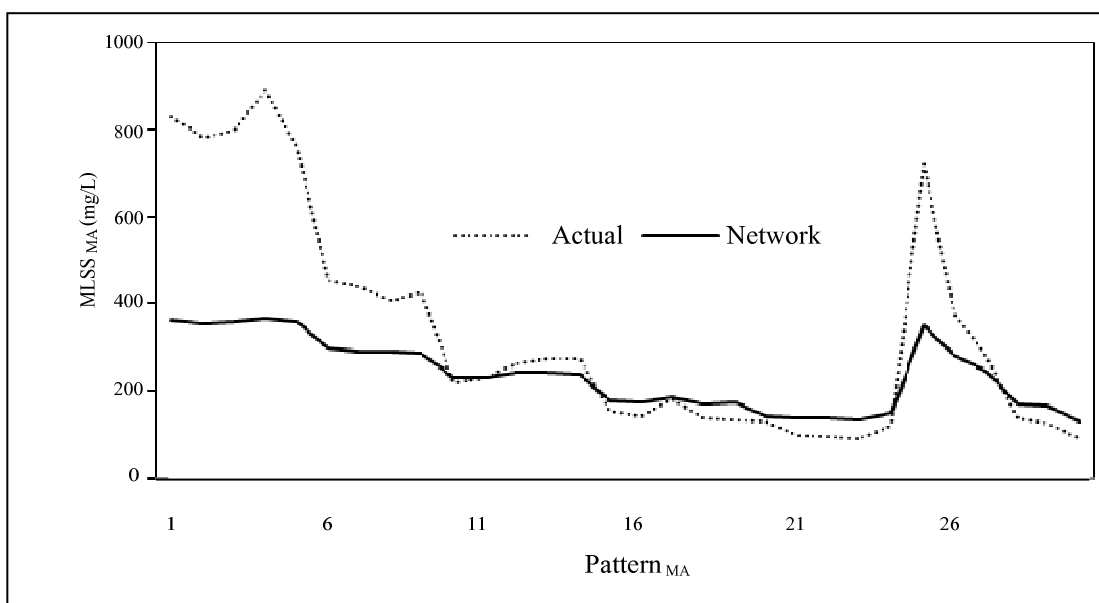
พารามิเตอร์	ค่าเริ่มต้น	ช่วงการปรับเปลี่ยน
อัตราการเรียนรู้ ( $\eta$ )	0.05	0.05 0.1 0.2
โมเมนตัม ( $\alpha$ )	0.1	0.1 0.3 0.5 0.7
ค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น ( $w$ )	0.2	0.2 0.4 0.6 0.8

#### 4.3.2.2 แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทประดิษฐ์

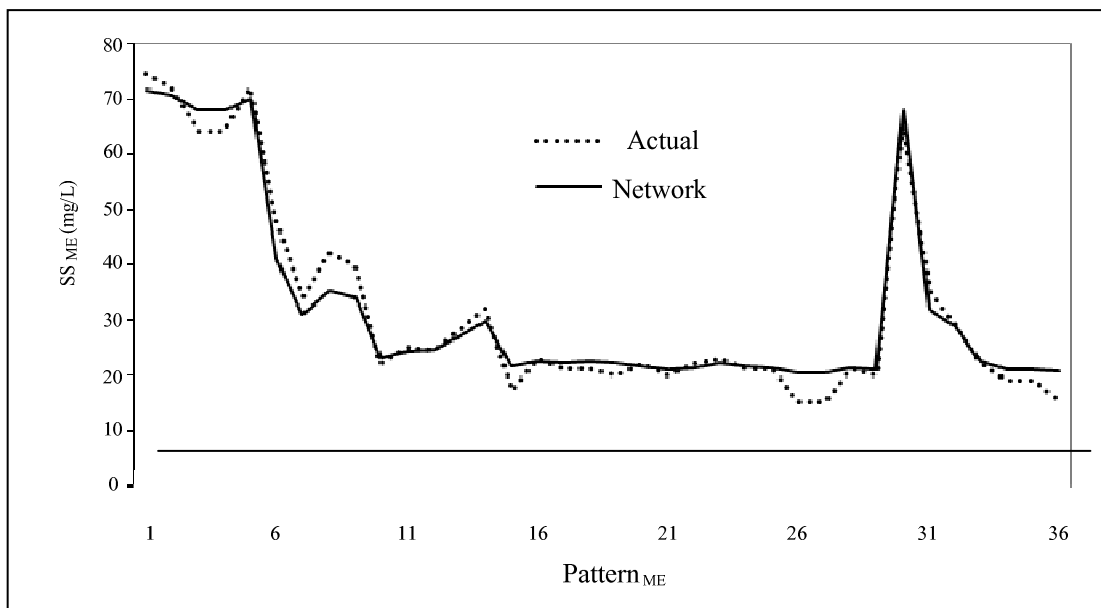
เมื่อทดสอบพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไปในการปรับเปลี่ยนใช้ในการสอนโครงข่าย คือ อัตราการเรียนรู้ โมเมนตัม และค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นแล้ว ข้อมูลที่เหลือจำนวนร้อยละ 20 ให้นำมาตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่าย (Validate Set) ซึ่งใช้ดัชนีตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง คือ Mean Absolute Percentage Error : MAPE ที่มีค่าที่น้อยที่สุด จะได้แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง จากกรณีศึกษาตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA โครงข่ายที่เหมาะสมที่สุดของการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอย คือ โครงข่าย 1-12-1 เป็นโครงข่าย 3 ชั้นที่มีจำนวนป้อนเข้า 1 ตัวแปร และมีจำนวนข้อมูลป้อนออก 1 ตัวแปร มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้นที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อน 12 โหนดจากการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต้องมีความสัมพันธ์กันและเหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน ซึ่งค่าอัตราการเรียนรู้ ( $\eta$ ) โมเมนตัม ( $\alpha$ ) และค่าถ่วงน้ำหนัก ( $w$ ) ที่เหมาะสมสำหรับโครงข่าย MA ของเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N นี้ คือ 0.2 0.5 และ 0.2 ตามลำดับและส่วนโครงข่าย ME เมื่อนำมาสร้างแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทประดิษฐ์ แบบจำลองที่มีโครงข่ายที่เหมาะสมคือ 1-12-1 ซึ่งเป็นโครงข่ายแบบ 3 ชั้นที่มีจำนวนข้อมูลป้อนเข้า 1 ตัวแปร มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้นที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อน 12 โหนด โดยมีค่าอัตราการเรียนรู้ ( $\eta$ ) โมเมนตัม ( $\alpha$ ) และค่าถ่วงน้ำหนัก ( $w$ ) เริ่มต้นคือ 0.05 0.4 และ 0.1 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในโครงข่าย MA และ ME กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงแล้วนั้น พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ของ

โครงข่าย MA มีผลการทำนายใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงอยู่บ้างที่ค่าปริมาณสารแขวนลอยประมาณ 90-300 มก./ล. โดยมีค่า MAPE ร้อยละ 5.928 และมีค่า RMSE เท่ากับ 128.169 มก./ล. ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ส่วนโครงข่าย ME ได้ผลทำนายที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง โดยมีค่า MAPE ร้อยละ 8.802 และมีค่า RMSE เท่ากับ 2.312 มก./ล. ดังแสดงในรูปที่ 4.14 จากนั้นจะได้แบบจำลองโครงข่ายไฮประดิษฐ์ที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยดังแสดงในตารางที่ 4.26-4.28



รูปที่ 4.26 แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยของ MA



รูปที่ 4.27 แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยของME

ตารางที่ 4.26แบบจำลองANN ที่เหมาะสมของโรงพยาบาลมหาราช จ.นครราชสีมา

ด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N

สถานที่	แปลงค่า	โครงสร้าง	โหนดในชั้นซ่อน	N	ค่าพารามิเตอร์			ค่าสถิติ	
					$\eta$	$\alpha$	w	R	MAPE
MA	L-L	1-12-1	12	144	0.2	0.5	0.2	0.992	5.928
ME	N-N	1-12-1	12	144	0.05	0.4	0.1	0.986	8.802
PA	L-L	1-12-1	12	144	0.05	0.1	0.2	0.990	11.804
PE	N-L	1-12-1	12	144	0.2	0.3	0.8	0.964	18.431
CA	N-N	1-12-1	12	144	0.05	0.3	0.2	0.993	289.255
CE	N-L	1-12-1	12	144	0.2	0.7	0.6	0.986	79.631

ตารางที่ 4.27แบบจำลองANN ที่เหมาะสมของโรงพยาบาลมหาราช จ.นครราชสีมา

ด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR

สถานที่	แปลงค่า	โครงสร้าง	โหนดใน ชั้นซ่อน	N	ค่าพารามิเตอร์			ค่าสถิติ	
					$\eta$	$\alpha$	w	R	MAPE
MA	N-N	1-12-1	12	144	0.05	0.3	0.8	0.962	52.682
ME	N-N	1-12-1	12	144	0.1	0.7	0.6	0.983	24.320
PA	L-L	1-12-1	12	144	0.05	0.3	0.8	0.946	40.874
PE	N-L	1-12-1	12	144	0.05	0.1	0.4	0.947	75.852
CA	N-N	1-12-1	12	144	0.2	0.7	0.8	0.996	162.181
CE	N-L	1-12-1	12	144	0.2	0.7	0.4	0.968	80.051

ตารางที่ 4.28แบบจำลอง ANN ที่เหมาะสมของโรงพยาบาลมหาราช จ.นครราชสีมา

ด้วยเครื่องวัดความขุ่น EUTECH รุ่น TN100

สถานที่	แปลงค่า	โครงสร้าง	โหนดใน ชั้นซ่อน	N	ค่าพารามิเตอร์			ค่าสถิติ	
					$\eta$	$\alpha$	w	R	MAPE
MA	N-N	1-12-1	12	144	0.2	0.1	0.8	0.998	47.603
ME	N-N	1-12-1	12	144	0.1	0.7	0.2	0.979	12.860
PA	L-L	1-12-1	12	144	0.1	0.1	0.8	0.994	69.381
PE	N-L	1-12-1	12	144	0.2	0.7	0.8	0.963	65.435
CA	N-N	1-12-1	12	144	0.05	0.5	0.8	0.998	258.062
CE	N-L	1-12-1	12	144	0.2	0.5	0.6	0.980	66.928

### 4.3.3 ผลการศึกษาแบบจำลองฟuzzyลอจิก

การนำฟuzzyลอจิกมาประยุกต์ในการสร้างแบบจำลองนี้ได้กำหนดให้แต่ละตัวแปรเป็นฟuzzyเชิงปริมาณซึ่งตัวแปรแต่ละตัวต้องมีความสำคัญกับระบบด้วย และต้องจำกัดให้มีตัวแปรน้อยที่สุดเพื่อลดความซับซ้อนและเวลาในการประมวลผลแต่ต้องให้มีการครอบคลุมทั้งระบบ โดยหัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการสร้างแบบจำลองและแบบจำลองฟuzzyลอจิกที่เหมาะสม

#### 4.3.3.1 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง

ในที่นี้จะยกตัวอย่างการสร้างแบบจำลองฟuzzyลอจิกทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ของ MA ด้วยโปรแกรม MATLAB ที่ประกอบด้วยเครื่องมือ 2 ชนิด คือ Fuzzy Logic Toolbox ใช้ในการหาค่ากฎควบคุมแบบฟuzzyลอจิก และ Simulink จากนั้นทำการปรับเทียบแบบจำลองและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดย

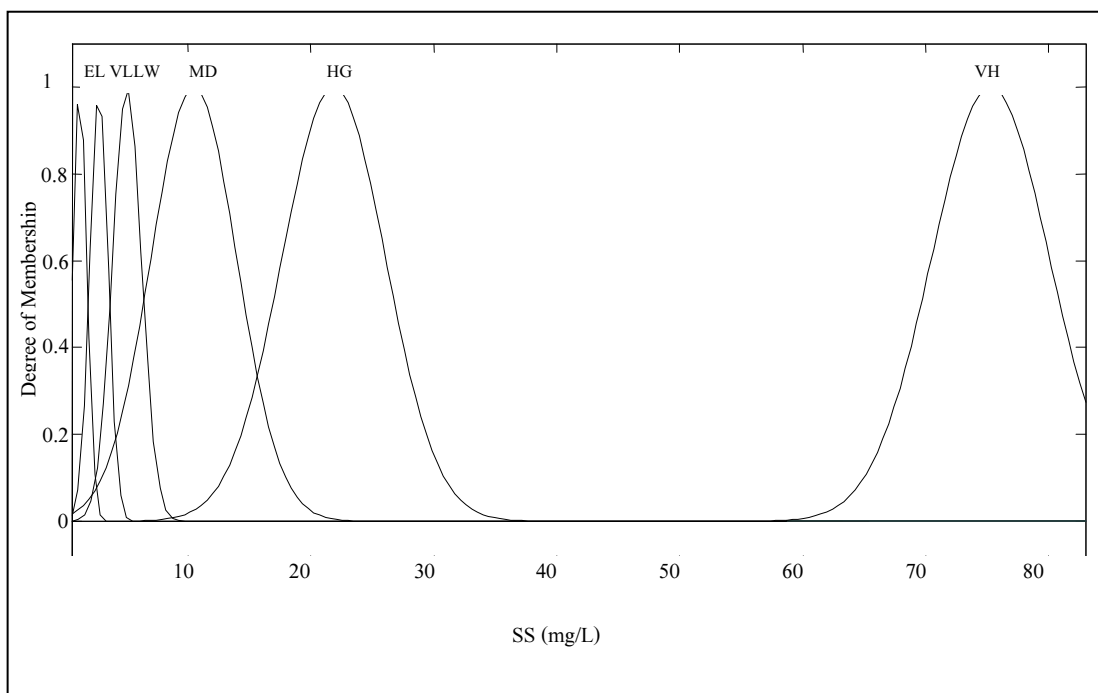
ใช้ชุดข้อมูลร้อยละ 20 โดยแบบจำลองทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยที่เหลือนั้นมีวิธีการเดียวกัน ในการสร้างแบบจำลองฟuzzyลอจิก โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กำหนดอินพุต (Input) และเอาต์พุต (Output) ข้อมูลอินพุตในการสร้างแบบจำลองฟuzzyลอจิก คือค่าความขุ่น ได้แบ่งออกเป็น 7 ระดับ ได้แก่ ต่ำมากที่สุด (Extremely Low) ต่ำมาก (Very Low) ต่ำ (Low) ปานกลาง (Medium) สูง (High) สูงมาก (Very High) และสูงที่สุด (Extremely High) ตามลำดับ ส่วนข้อมูลเอาต์พุต คือค่าปริมาณสารแขวนลอย แบ่งเป็น 7 ระดับเช่นกัน ได้แก่ ต่ำมากที่สุด (Extremely Low) ต่ำมาก (Very Low) ต่ำ (Low) ปานกลาง (Medium) สูง (High) สูงมาก (Very High) และสูงที่สุด (Extremely High) ตามลำดับ

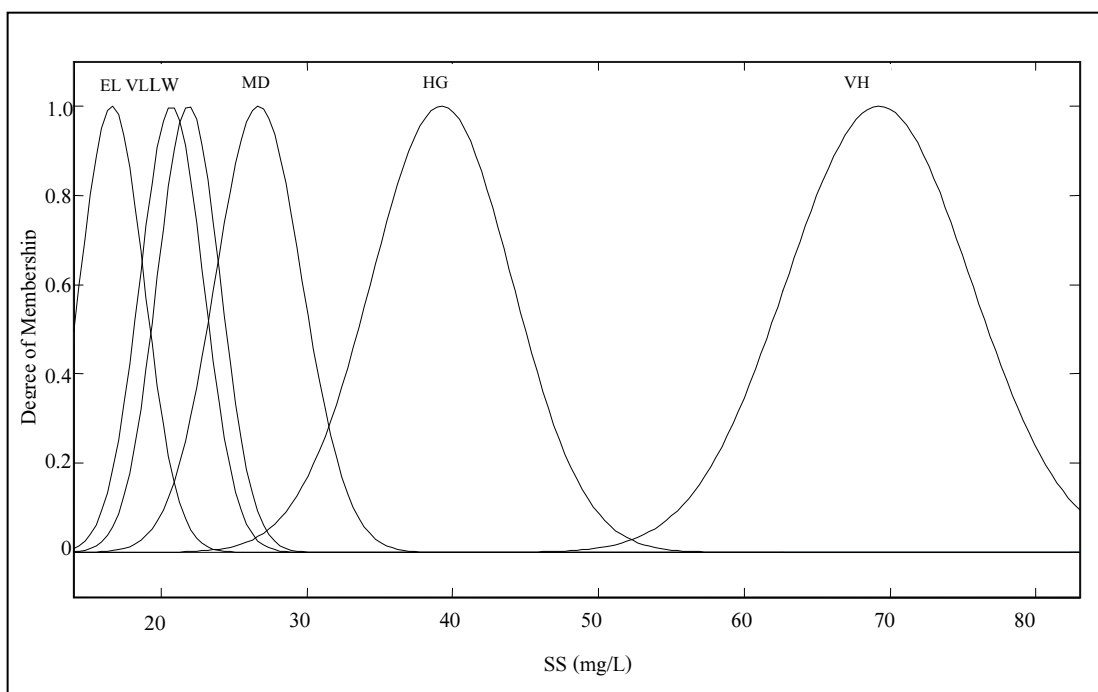
2) กำหนดดีกรีของอินพุต (Input) และเอาต์พุต (Output) ให้สัมพันธ์กับการแบ่งระดับทั้งค่าความขุ่นและค่าปริมาณสารแขวนลอย โดยการแทนตัวแปรเชิงปริมาณเหล่านี้ ด้วยลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function: MF) ในรูปแบบเกาส์เซียน (Gaussian) ดังแสดงในรูป 4.28 แสดงให้เห็นถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าความขุ่น (อินพุต) และในรูปที่ 4.29 เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าปริมาณสารแขวนลอย (เอาต์พุต)

3) กำหนดกฎ (Rules) ของการตัดสินใจในการควบคุมแบบฟuzzyลอจิก โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและผลลัพธ์ด้วยหลักเหตุและผลการให้เหตุผลแบบจำลองฟuzzyในกฎพื้นฐาน IF-THEN (ถ้า-แล้ว) จะประกอบด้วย 2 ส่วน แต่ละส่วนจะมีตัวแปรอินพุตคือค่าความขุ่น และตัวแปรเอาต์พุตคือค่าปริมาณสารแขวนลอย ยกตัวอย่างเช่น ถ้าค่าความขุ่นต่ำมากที่สุด แล้วค่าปริมาณสารแขวนลอยก็ต่ำมากที่สุดด้วย (IF Turbidity is Extremely Low THEN SS is Extremely Low) เป็นต้น โดยจำกัดจำนวนค่าเงื่อนไขในระบบไม่ให้มีมากเกินไป โดยเลือกกฎที่จำเป็นเท่านั้น ซึ่งผลการกำหนดกฎของฟuzzy 2 ตัวแปรมีดังต่อไปนี้





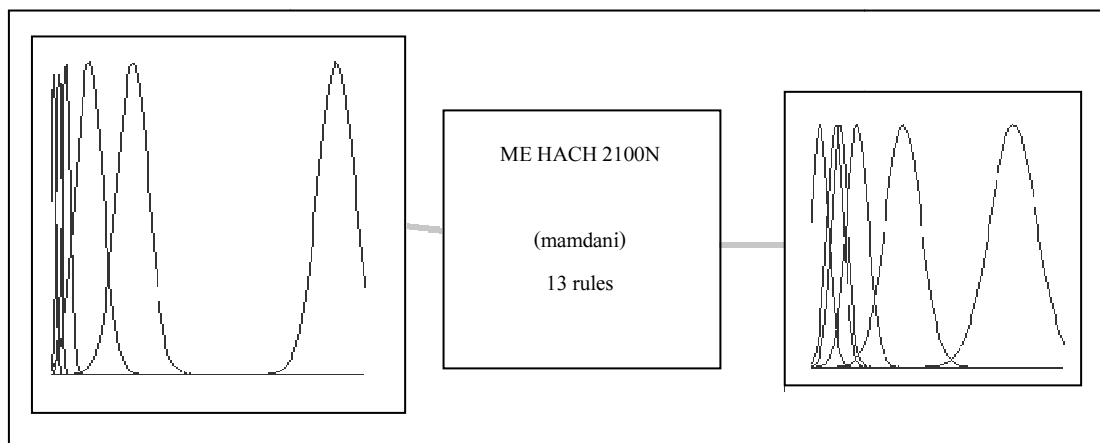
รูปที่ 4.28 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าความขุ่น



รูปที่ 4.29 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าปริมาณสารแขวนลอย

- กฎข้อที่ 1 ถ้ามีค่าความขุ่นต่ำมากที่สุดแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าต่ำที่สุด  
If (Turbidity is EL) then (SS is EL)
- กฎข้อที่ 2 ถ้ามีค่าความขุ่นต่ำมากที่สุดแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าต่ำมาก  
If (Turbidity is EL) then (SS is VL)
- กฎข้อที่ 3 ถ้ามีค่าความขุ่นต่ำมากแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าต่ำมากที่สุด  
If (Turbidity is VL) then (SS is EL)
- กฎข้อที่ 4 ถ้ามีค่าความขุ่นต่ำมากแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าต่ำมาก  
If (Turbidity is VL) then (SS is VL)
- กฎข้อที่ 5 ถ้ามีค่าความขุ่นต่ำมากแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าต่ำ  
If (Turbidity is VL) then (SS is LW)
- กฎข้อที่ 6 ถ้ามีค่าความขุ่นต่ำแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าต่ำมาก  
If (Turbidity is LW) then (SS is VL)
- กฎข้อที่ 7 ถ้ามีค่าความขุ่นต่ำแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าต่ำ  
If (Turbidity is LW) then (SS is LW)
- กฎข้อที่ 8 ถ้ามีค่าความขุ่นต่ำแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าปานกลาง  
If (Turbidity is LW) then (SS is MD)
- กฎข้อที่ 9 ถ้ามีค่าความขุ่นปานกลางแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าต่ำ  
If (Turbidity is MD) then (SS is LW)
- กฎข้อที่ 10 ถ้ามีค่าความขุ่นปานกลางแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าปานกลาง  
If (Turbidity is MD) then (SS is MD)
- กฎข้อที่ 11 ถ้ามีค่าความขุ่นสูงแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าปานกลาง  
If (Turbidity is HG) then (SS is MD)
- กฎข้อที่ 12 ถ้ามีค่าความขุ่นสูงแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าสูง  
If (Turbidity is HG) then (SS is HG)
- กฎข้อที่ 13 ถ้ามีค่าความขุ่นสูงมากแล้วปริมาณสารแขวนลอยจะมีค่าสูงมาก  
If (Turbidity is VH) then (SS is VH)

เมื่อกำหนดค่าดีกรีและกฎพื้นฐานเรียบร้อยแล้วจะได้ระบบ 1 อินพุต 1 เอาต์พุต และ 13 กฎ ซึ่งกำหนดการอนุมานฟัซซีแบบแมนดานิ (Mamdani) ดังแสดงในรูปที่ 4.30



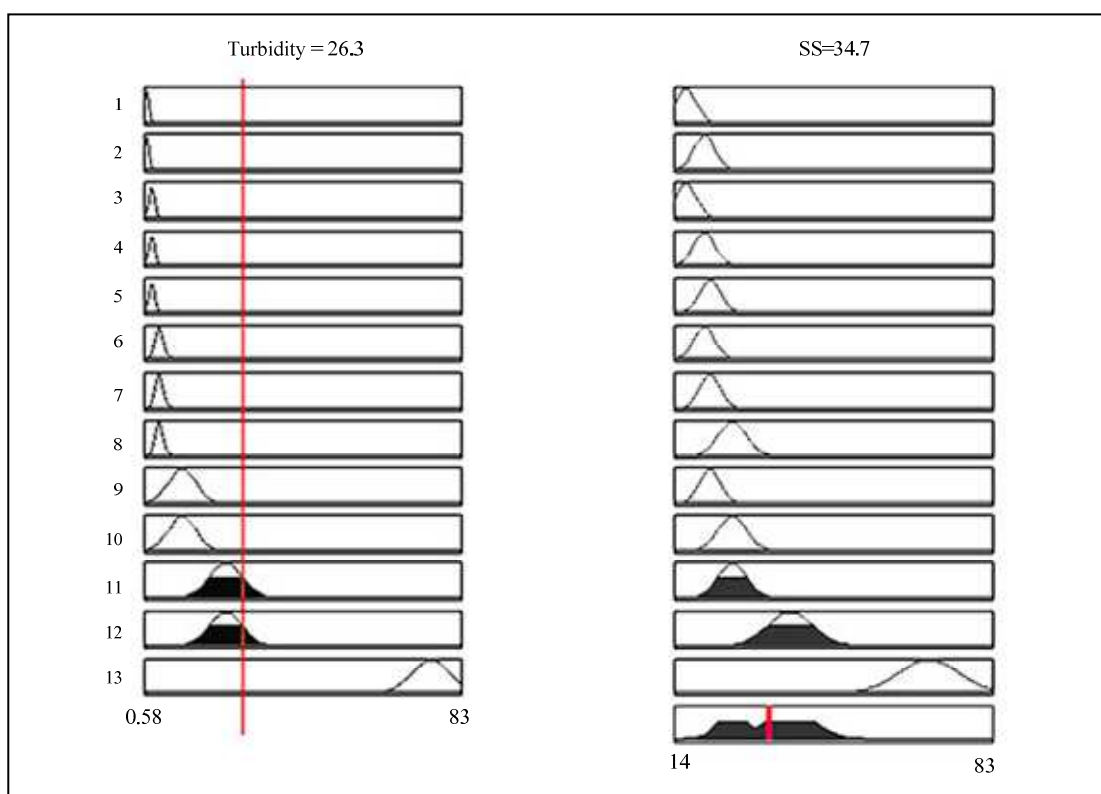
รูปที่ 4.30 ระบบของแบบจำลอง ME ของเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N

4) ทำการฟัซซีอินพุต (Fuzzy Input) นั่นคือหาค่าอินพุตมีค่าเป็นเท่าไร จะได้ดีกรีเท่าใด โดยดูจากกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและกฎพื้นฐานที่ตั้งไว้จากนั้นทำการหาผลลัพธ์ของแต่ละกฎและเมื่อได้ดีกรีตามแต่ละกฎแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการเอาไปเปรียบเทียบกับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของผลลัพธ์ที่คาดการณ์ไว้ ซึ่งจะมีการใช้โอเพอร์เรเตอร์ได้หลายรูปแบบ ที่นิยมกันก็คือ ค่าต่ำสุด (Min) นั่นคือเมื่อเอาดีกรี ไปเทียบกับกราฟผลลัพธ์ทางขวามือผลลัพธ์คือพื้นที่กราฟที่อยู่ใต้ค่าดีกรี ซึ่งเมื่อรวมผลลัพธ์หรือการรวมกฎทั้งหมดเข้าด้วยกัน (Aggregation) กฎต่างๆ จะถูกประเมินค่าได้ผลลัพธ์ของแต่ละกฎในรูปของฟัซซีเซต (Fuzzy Set) (ค่าประมาณในแต่ละกฎว่าผลลัพธ์จะอยู่ในช่วงใด) จากนั้นเราจะรวมผลลัพธ์ทั้งหมดเข้าด้วยกันซึ่งขั้นตอนต่อไปจะนำผลการรวมกฎไปแปลงเป็นค่าตัวเลขเพื่อเอาไปใช้ในการประมวลผลต่อไป

5) ทำการดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification) เพื่อหาผลลัพธ์สุดท้ายในรูปแบบของฟัซซีเซต (Fuzzy Set) คำตอบที่ได้ควรจะอยู่ในพื้นที่ของกราฟที่กำหนด เพื่อที่จะแปลงค่าจากการรวมกฎให้อยู่ในรูปผลลัพธ์ที่ออกมาชัดเจน (Crisp Value) เช่น ค่าปริมาณสารแขวนลอยจะเป็นเท่าไร จำเป็นต้องแปลงค่า การทำดีฟัซซีฟิเคชันในการศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีหาจุดศูนย์กลาง (Centroid หรือ Center of Gravity : COG) ที่เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ค่า COG ของฟัซซีเซต A ในช่วง  $[a,b]$  สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4.11)

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x) x dx}{\int_a^b \mu_A(x) dx} \quad (4.11)$$

เมื่อวิเคราะห์ผลของระบบด้วยการหา COG แล้ว ผลลัพธ์ของระบบจะแสดงด้วยกฎทั้งหมด พร้อมทั้งแสดงว่ากฎใดที่มีผลต่ออินพุตที่ตั้งค่าไว้ เช่น ผลของการทำดีฟัซซี่จะได้ค่าความขุ่นที่ 26.3 ให้ค่าปริมาณสารแขวนลอยที่ควรจะเป็น 34.7mg/L โดยประมาณดังแสดงให้ในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 การวิเคราะห์ผลของระบบจากการทำดีฟัซซี่พีเคชั่น

#### 4.3.3.2 แบบจำลองฟัซซี่ลอจิก

การสร้างกฎการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกเป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (ค่าความขุ่น) และผลลัพธ์ (ค่าปริมาณสารแขวนลอย) สร้างขึ้นจากการเลียนแบบกระบวนการให้เหตุผลและตัดสินใจของมนุษย์ โดยมีกฎการควบคุม 13 ข้อ ผลจากการสร้างกฎ

พีชชีลอจิกเพื่อทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมาที่ได้นี้ จะนำมาตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) โดยใช้ชุดข้อมูลร้อยละ 20 ที่แบ่งไว้มาตรวจสอบหาจุดศูนย์กลาง (Centroid หรือ Center of Gravity : COG) ซึ่งพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยแบบพีชชีลอจิกของ MA และ ME กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงแล้วนั้น พบว่าแบบจำลองพีชชีลอจิก MA มีค่า RMSE เท่ากับ 0.114 มก./ล. และมีค่า R เท่ากับ 0.962 ส่วนแบบจำลองพีชชีลอจิก ME มีค่า RMSE เท่ากับ 2.794 มก./ล. และมีค่า R เท่ากับ 0.983 และแบบจำลองทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) ที่เหมาะสมนั้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 แบบจำลองพีชชีลอจิกที่เหมาะสม

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	HACH 2100N		HACH RARIO/XR		EUTECH TN100	
	R	MAPE	R	MAPE	R	MAPE
MA	0.962	2.581	0.978	22.149	0.949	26.372
ME	0.983	9.505	0.972	11.387	0.974	9.988
PA	0.946	58.132	0.997	24.809	0.996	27.596
PE	0.947	43.795	0.918	90.204	0.931	75.236
CA	0.996	80.828	0.994	40.211	0.995	31.873
CE	0.968	79.847	0.970	100.814	0.981	91.679

#### 4.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

##### 4.4.1 ผลการวิเคราะห์เวลาที่เหมาะสมในการวัดค่าความขุ่น

เวลาในการวัดค่าความขุ่นของแต่ละเครื่องจะมีความสามารถในการใช้งานค่อนข้างแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่เครื่องวัดความขุ่นแบบห้องปฏิบัติการ การทำงานในการประมวลผลของซอฟต์แวร์จะใช้เวลาในการอ่านค่าไม่แน่นอนเท่ากับเครื่องวัดความขุ่นแบบพกพา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำที่ใช้ในการตรวจวัดด้วย ในการศึกษานี้ได้เลือกจุดเก็บน้ำตัวอย่างในระบบ 2 จุด คือ บ่อเติมอากาศ และน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว ซึ่งลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียในบ่อเติมอากาศจะมีลักษณะที่ขุ่นมาก และทึบแสง ส่วนน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วมีความขุ่นแต่แสงสามารถส่องผ่านได้ เมื่อนำมาหาความเหมาะสมต่อการอ่านค่าความขุ่นด้วยการจับเวลาทุก 15 วินาที ตั้งแต่วินาทีที่ 15 ถึงวินาทีที่ 120 จากการศึกษาเมื่อใส่น้ำตัวอย่างลงในหลอดวัดตัวอย่างที่มีการผสมกันของน้ำเสียไว้ในช่องวัดตัวอย่างและอ่านค่า พบว่า เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N วัดค่าความขุ่นในน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศที่เวลา 15 ถึง 120 วินาทีให้ค่าความขุ่นที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่แตกต่างกัน

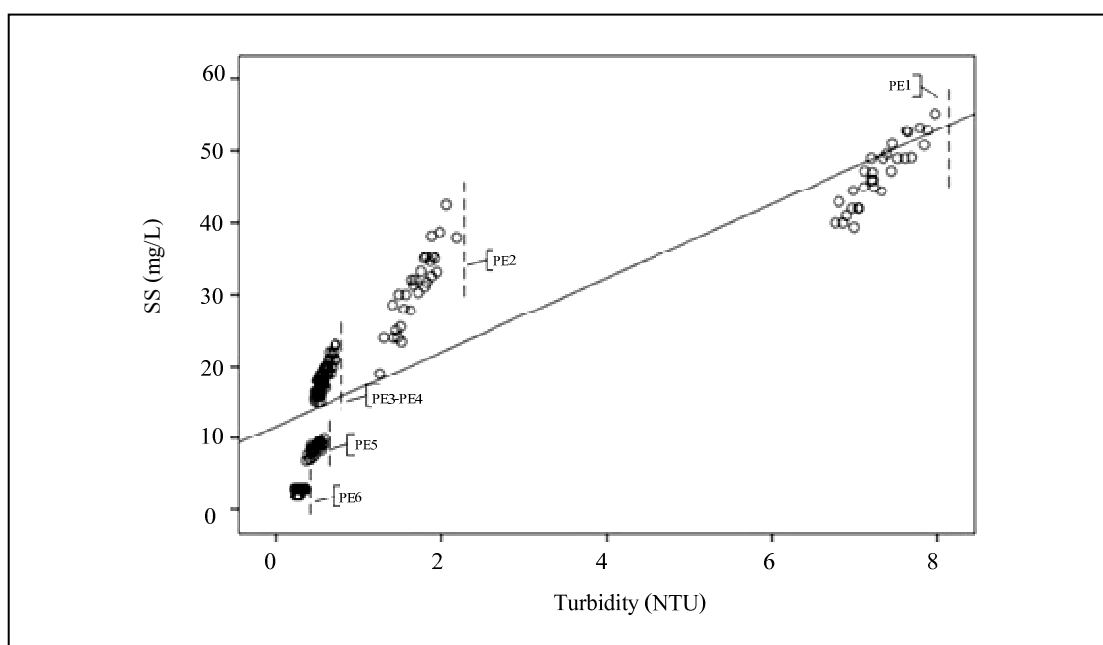
ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ( $\text{Sig}=\text{P}(\text{F}>0.541)=0.802>\alpha=0.05$ ) และในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วที่เวลา 15 ถึง 120 วินาทีให้ค่าความขุ่นที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ( $\text{Sig}=\text{P}(\text{F}>0.976)=0.451>\alpha=0.05$ ) เช่นกัน ส่วนเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR วัดค่าความขุ่นในน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศที่เวลา 15 ถึง 120 วินาทีให้ค่าความขุ่นที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ( $\text{Sig}=\text{P}(\text{F}>0.466)=0.857>\alpha=0.05$ ) แต่ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วที่เวลา 15 ถึง 120 วินาทีให้ค่าความขุ่นที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ( $\text{Sig}=\text{P}(\text{F}>3.077)=0.005<\alpha=0.05$ ) โดยถ้าวัดความขุ่นในเวลาที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ค่าความขุ่นที่แตกต่างกันด้วย จากข้อมูลค่าความขุ่นและเวลาที่เหมาะสมในการวัดค่าความขุ่นนั้นสามารถวัดความขุ่นได้ในช่วง 15 ถึง 30 วินาทีจะให้ค่าความขุ่นที่มีการกระจายตัวของข้อมูลที่ค่อนข้างน้อยที่สุด โดยเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Sadar (2002) ได้ใช้เครื่องวัดความขุ่นอ่านวัดค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่างอุตสาหกรรมโดยมีขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ คือ กำหนดอัตราการเจือจาง การผสมของตัวอย่าง เวลาในการบันทึกในช่วงเวลา 15-45 วินาที ซึ่งให้ผลการทดลองในลักษณะที่คล้ายกันว่าช่วงเวลาดังกล่าวให้ค่าความขุ่นไม่มีความแตกต่างกัน

#### 4.4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น

ผลการศึกษาข้อมูลทางสถิติความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นที่กล่าวมาข้างต้น ในแต่ละแห่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แตกต่างกันไป เมื่อน้ำตัวอย่างที่มีการเจือจางโดยประมาณมากยิ่งขึ้นจะมีค่าสหสัมพันธ์ที่ต่ำลง ซึ่งเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N สามารถตรวจวัดน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศได้ดีกว่า โดยในที่นี้จะกล่าวถึงน้ำตัวอย่างของน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 0.87 และ 0.99 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศมีความสัมพันธ์มากกว่าน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาก่อนหน้านี้ว่า ความสัมพันธ์ที่ดีของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.716-0.999 ซึ่งความสัมพันธ์ของสมการถดถอยจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำและเครื่องวัดความขุ่นที่ใช้ในการศึกษาด้วย (Pavelich, 2002) ไม่เพียงแต่ที่จะใช้กับน้ำตัวอย่างจากลำน้ำดังกล่าว การศึกษาของ Orwin and Smart (2004); Packman et al. (2000); Marquis (2005) แล้วนั้น แต่งานวิจัยนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้หาความสัมพันธ์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งได้เช่นกัน ทั้งนี้ ทัศนความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 (PE1-PE6) ดังแสดงให้เห็นไว้ในรูปที่ 4.32 ในกรณีนี้ช่วงที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกันทั้งในส่วน of ค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น กรณีของโรงพยาบาลศูนย์

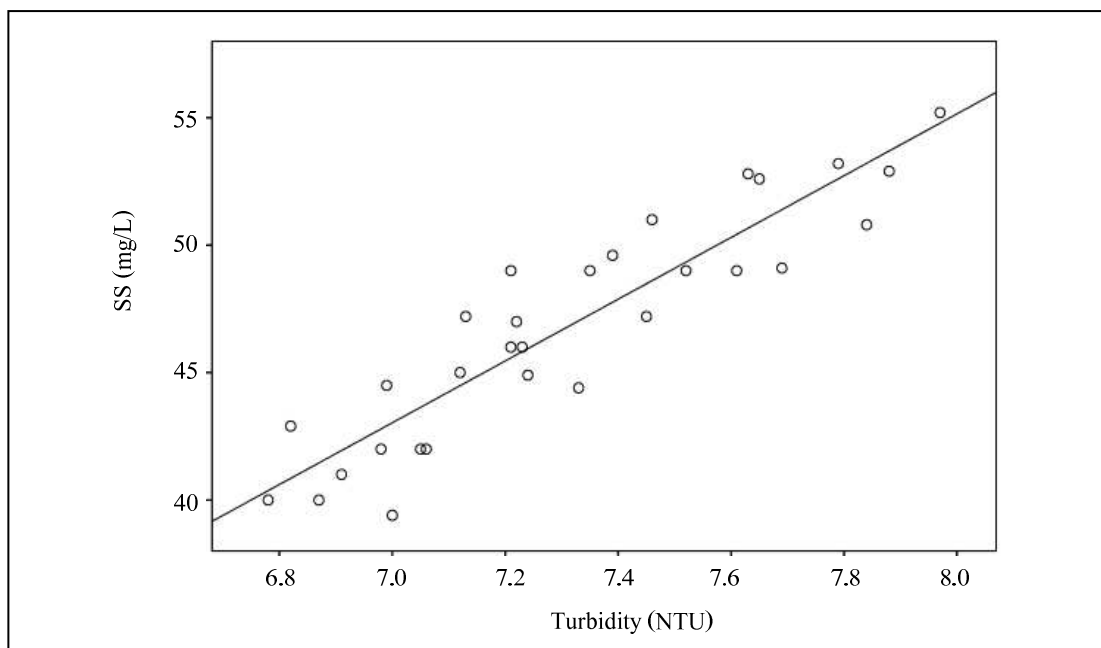
อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา ที่ร้อยละการเจือจางโดยประมาณที่แตกต่างกันให้ค่าที่วัดได้ของค่าปริมาณสารแขวนลอยที่ PE1 PE2 PE3 PE4PE5 และ PE6 มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 39.40-55.20 mg/L 19.00-42.50 mg/L 15.00-23.00 mg/L 15.14-20.04 mg/L 6.86-10.0 mg/L และ 2.00-3.00 mg/L ตามลำดับ ค่าความขุ่นของ PE1 PE2 PE3 PE4 PE5 และ PE6 มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.78-7.97 NTU 1.26-2.18 NTU 0.51-0.73 NTU 0.46-0.63 NTU 0.36-0.58 NTU และ 0.22-0.35 NTU ตามลำดับ

ถึงแม้ว่าจะมีการเจือจางโดยประมาณแล้วค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นไม่สามารถที่จะแยกออกมาเป็นกลุ่มๆ ได้เช่น PE3 PE4 และ PE5 มีค่าความขุ่นที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ PE1 PE2 และ PE6 มีค่าความขุ่นแยกออกเป็นช่วง ๆ ซึ่งในกรณีความสัมพันธ์ของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมาที่มีค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นที่ใกล้เคียงกันหากมีการเจือจางโดยประมาณมากยิ่งขึ้นค่าที่วัดได้จะยิ่งใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้น

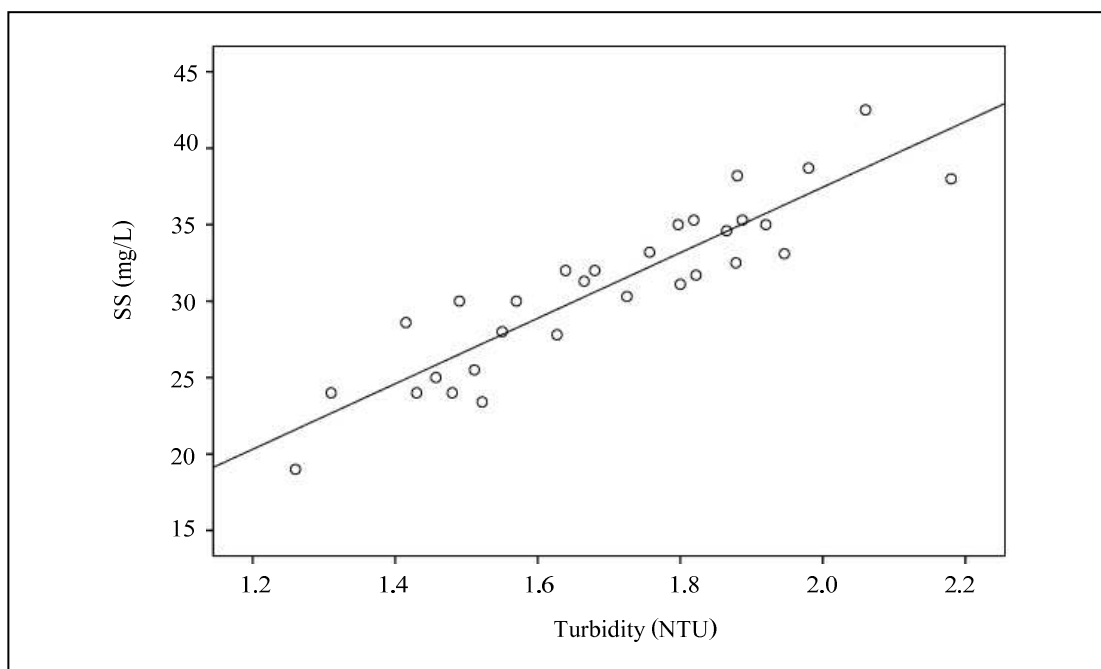


รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา

ส่วนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรจะแยกค่าที่วัดได้ออกมาเป็นกลุ่มด้วยร้อยละการเจือจางโดยประมาณที่แตกต่างกัน ทำให้วัดค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นในช่วงที่แตกต่างกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.33-4.38

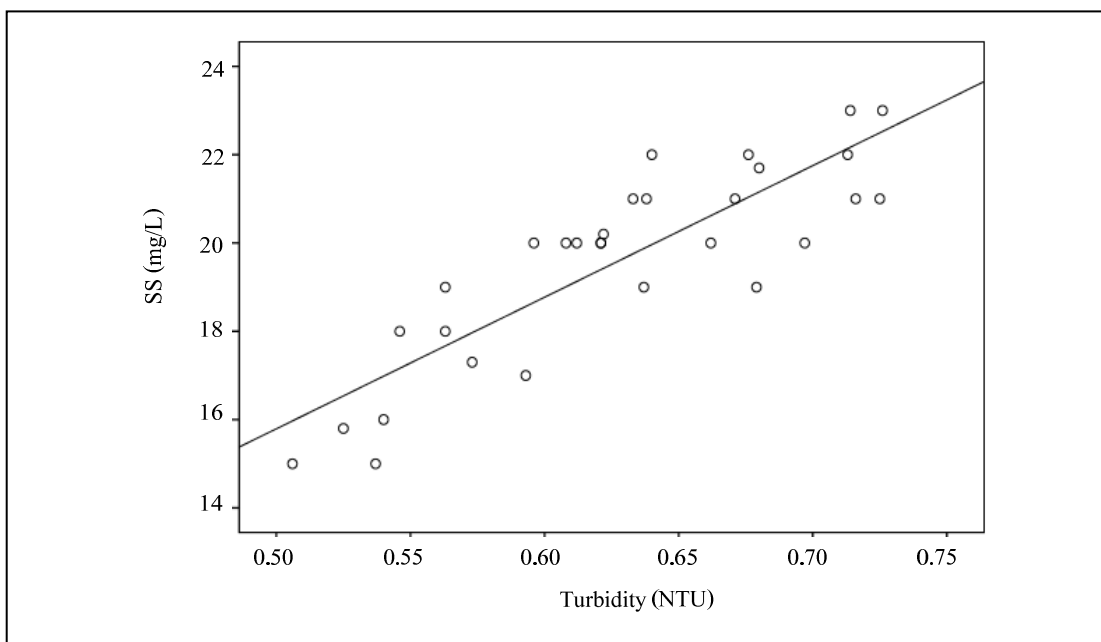


รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นของPE1

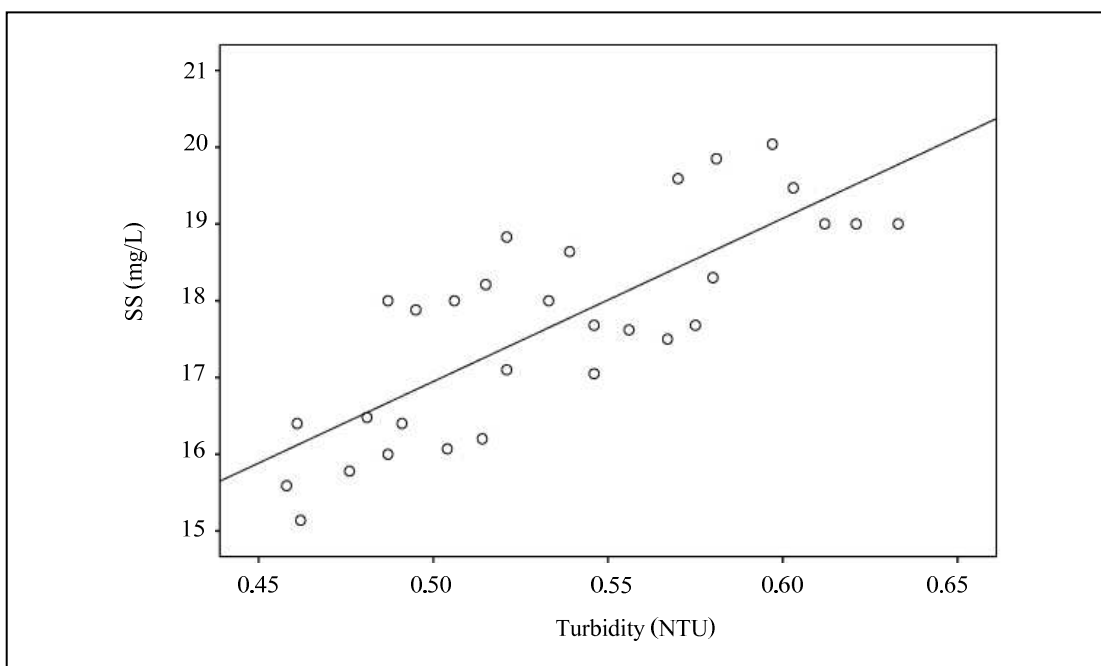


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นของPE2

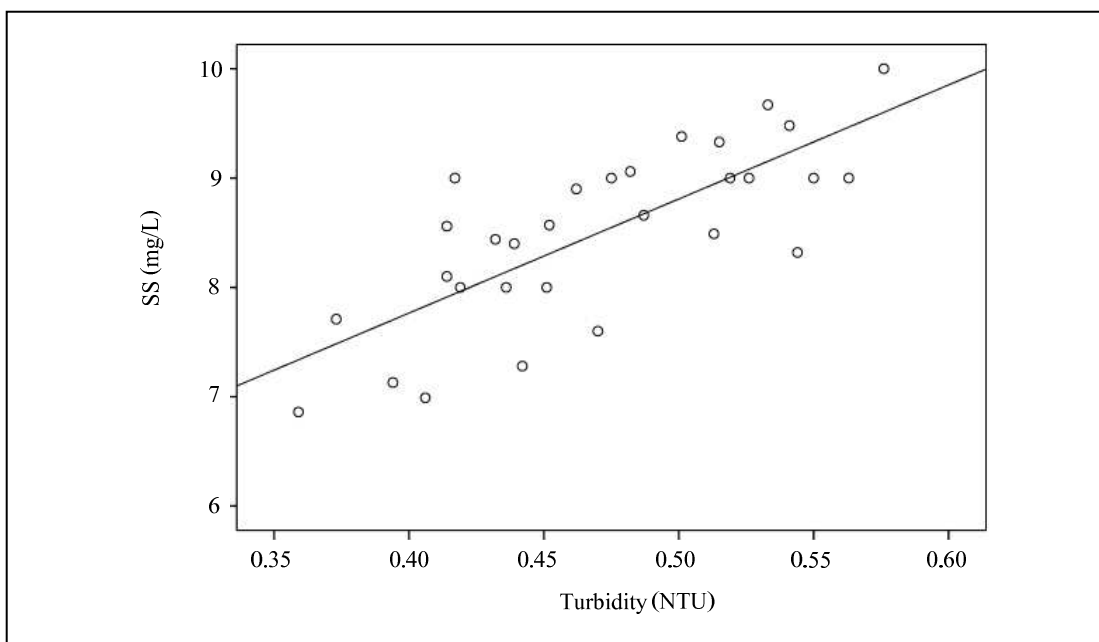




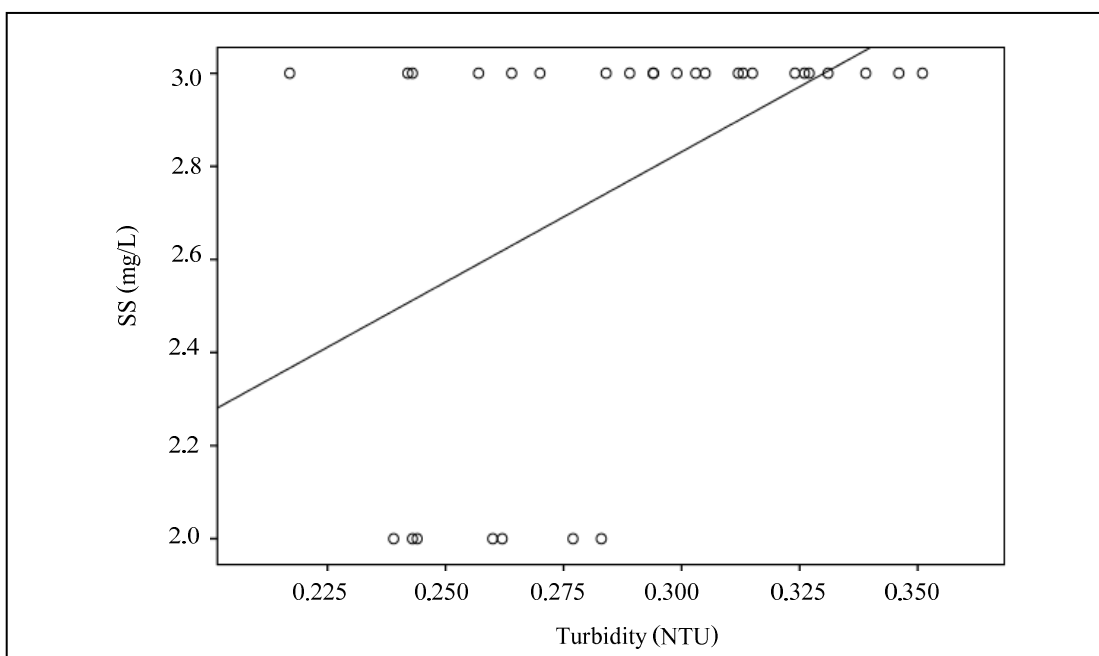
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นของPE3



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นของPE4



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นของ PE5



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นของ PE6

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นมีลักษณะทิศทางเดียวกัน คือเมื่อมีปริมาณสารแขวนลอยเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความขุ่นเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้ว่าจะนำตัวอย่างมีร้อยละการเจือจางโดยประมาณที่แตกต่างกันก็ตาม จากการศึกษาข้อมูลค่าปริมาณสารแขวนลอยของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครราชสีมา โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และบริษัทไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลแบบเบ้ขวา ค่าปริมาณสารแขวนลอยในบ่อเติมอากาศมีการกระจายตัวของข้อมูลมากกว่าน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว ส่วนข้อมูลค่าความขุ่นวัดด้วยเครื่องวัดความขุ่น 3 เครื่อง ได้แก่ (1) เครื่องวัดความขุ่นในห้องปฏิบัติการยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N (2) เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR และ (3) เครื่องวัดความขุ่นแบบพกพายี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลแบบเบ้ขวา และข้อมูลมีการกระจายตัวเล็กน้อย โดยผลจากการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการแปลงค่าตัวแปรให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปลอการิทึมธรรมชาติทั้ง 4 กรณี พบว่าส่วนใหญ่ไม่ส่งผลต่อรูปแบบความสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น ซึ่งสรุปผลจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ดังต่อไปนี้

1) บ่อเติมอากาศของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครราชสีมา (MA) ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN 100 มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่า R อยู่ในช่วง 0.832-0.998 0.806-0.990 และ 0.797-0.997 ตามลำดับ

2) น้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครราชสีมา (ME) ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN 100 มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่า R อยู่ในช่วง 0.924-0.982 0.914-0.974 และ 0.922-0.977 ตามลำดับ

3) บ่อเติมอากาศของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา (PA) ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN 100 มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่า R อยู่ในช่วง 0.705-0.999 0.680-0.998 และ 0.640-0.997 ตามลำดับ

4) น้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา (PE) ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN 100 มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่า R อยู่ในช่วง 0.649-0.969 0.677-0.962 และ 0.727-0.977 ตามลำดับ

5) บ่อเติมอากาศของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) (CA) ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN 100 มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่า R อยู่ในช่วง 0.805-0.995 0.815-0.998 และ 0.829-0.998 ตามลำดับ

6) น้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) (CE) ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN 100 มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่า R อยู่ในช่วง 0.742-0.977 0.725-0.966 และ 0.740-0.960 ตามลำดับ

#### 4.4.3 วิเคราะห์ความแตกต่างของเครื่องวัดความขุ่นและค่าความขุ่น

ผลการศึกษาการวิเคราะห์ความแตกต่างของเครื่องวัดความขุ่นในการวัดค่าความขุ่นจะแบ่งการวิเคราะห์ของน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วด้วยการทดสอบสมมติฐานการทดสอบความแปรปรวนจำแนกเป็น 2 ทาง (Two Way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ว่าเครื่องวัดความขุ่นทั้ง 3 เครื่องสามารถวัดค่าความขุ่นในน้ำเสียบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วแตกต่างกันหรือไม่ และทดสอบสมมติฐานว่าน้ำตัวอย่างจากบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วที่มีการเจือจางโดยประมาณสามารถวัดความขุ่นได้แตกต่างกันหรือไม่ ทั้งนี้ได้เลือกพิจารณาปัจจัย 2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่นต่างกัน ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างซึ่งอาจมีอิทธิพลจากร้อยละการเจือจางโดยประมาณหรือชนิดเครื่องวัดความขุ่นที่ใช้ในการตรวจวัด จากผลการทดสอบสมมติฐาน อธิบายได้ว่า ทั้งในน้ำเสียบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว ผลการทดสอบสมมติฐานอิทธิพลของเครื่องวัดความขุ่นโดย  $H_0$  : ไม่มีอิทธิพลของเครื่องวัดความขุ่นต่อค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างและ  $H_1$  : มีอิทธิพลของเครื่องวัดความขุ่นต่อค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างทั้งนี้ได้ใช้สถิติทดสอบ F-Test จากการทดสอบพบว่า เครื่องวัดความขุ่นมีผลต่อการวัดค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งจุดเก็บน้ำต่างๆ (Sig=0.00< $\alpha$ =0.05) นั่นคือ การเก็บน้ำตัวอย่าง ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างจะทำให้การวัดค่าความขุ่นเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยอีกทั้งอธิบายเพิ่มเติมได้อีกว่าเครื่องวัดความขุ่นและตำแหน่งจุดเก็บน้ำมีอิทธิพลร่วมกันต่อการวัดค่าความขุ่น และผลการทดสอบสมมติฐานทดสอบอิทธิพลของร้อยละการเจือจางโดยประมาณ โดย  $H_0$  : ไม่มีอิทธิพลร้อยละการเจือจางโดยประมาณต่อค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างและ  $H_1$  : มีอิทธิพลร้อยละการเจือจางโดยประมาณต่อค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างทั้งนี้ได้ใช้สถิติทดสอบ F-Test ในการทดสอบจากการทดสอบพบว่าร้อยละการเจือจางโดยประมาณที่แตกต่างกันมีผลต่อการวัดค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (Sig=0.00< $\alpha$ =0.05) นั่นคือ ร้อยละการเจือจางโดยประมาณที่แตกต่างกันและตำแหน่งเก็บตัวอย่างต่างกันมีอิทธิพลร่วมกันต่อการวัดค่าความขุ่นด้วยเช่นกัน

#### 4.4.4 วิเคราะห์อิทธิพลของสีต่อการวัดค่าความขุ่น

ผลการศึกษารวบรวมวิเคราะห์อิทธิพลของสีจริงและสีปรากฏต่อการวัดค่าความขุ่นในน้ำตัวอย่าง ซึ่งได้แบ่งการวิเคราะห์ของน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วด้วยการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $\rho$ ) เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของสีและค่าความขุ่นว่ามีอิทธิพลต่อกันหรือไม่ และทดสอบความแปรปรวนจำแนกเป็น 1 ทาง (1 Way ANOVA) ในการทดสอบสมมติฐานว่าน้ำตัวอย่างจากบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วที่มีการเจือจางโดยประมาณให้ค่าสีแตกต่างกันหรือไม่ จากผลการทดสอบสมมติฐาน อธิบายได้ดังนี้

1) ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว ผลการทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของสีกับค่าความขุ่น โดย  $H_0$  : สีไม่มีความสัมพันธ์ต่อค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งจุดเก็บต่างๆ และ  $H_1$  : สีมีความสัมพันธ์ต่อค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งจุดเก็บต่างๆ จากการทดสอบสมมติฐาน พบว่า สีไม่มีความสัมพันธ์ต่อการวัดค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (Sig=0.131 >  $\alpha$ =0.05) หรือสีไม่มีอิทธิพลต่อการวัดค่าความขุ่นในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วและผลการทดสอบสมมติฐานของสีและการเจือจางโดยประมาณด้วยการทดสอบความแปรปรวนจำแนกเป็น 1 ทาง โดย  $H_0$  : ไม่มีอิทธิพลร้อยละการเจือจางโดยประมาณต่อการวัดค่าสี ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และ  $H_1$  : มีอิทธิพลร้อยละการเจือจางโดยประมาณต่อการวัดค่าสี ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง จากการทดสอบสมมติฐาน พบว่าร้อยละการเจือจางโดยประมาณที่แตกต่างกันมีผลต่อการวัดค่าสี ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (Sig=0.00 <  $\alpha$ =0.05)

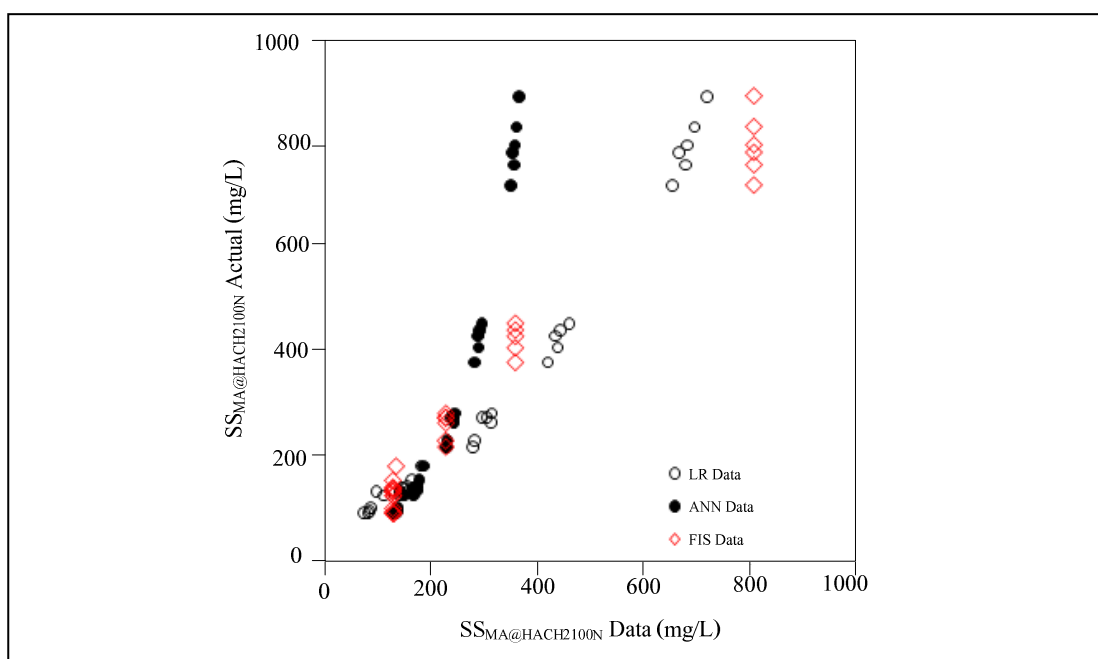
2) ในบ่อเติมอากาศผลการทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของสีกับค่าความขุ่น โดย  $H_0$  : สีไม่มีความสัมพันธ์ต่อค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งจุดเก็บต่างๆ และ  $H_1$  : สีมีความสัมพันธ์ต่อค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งจุดเก็บต่างๆ จากการทดสอบสมมติฐาน พบว่าสีไม่มีความสัมพันธ์ต่อการวัดค่าความขุ่น ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (Sig=0.074 >  $\alpha$ =0.05) หรือสีไม่มีอิทธิพลต่อการวัดค่าความขุ่นในน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศ และผลการทดสอบสมมติฐานของสีและการเจือจางโดยประมาณด้วยการทดสอบความแปรปรวนจำแนกเป็น 1 ทาง โดย  $H_0$  : ไม่มีอิทธิพลร้อยละการเจือจางโดยประมาณต่อการวัดค่าสี ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และ  $H_1$  : มีอิทธิพลร้อยละการเจือจางโดยประมาณต่อการวัดค่าสี ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง จากการทดสอบสมมติฐาน พบว่าร้อยละการเจือจางโดยประมาณที่แตกต่างกันมีผลต่อการวัดค่าสี ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (Sig=0.00 <  $\alpha$ =0.05)

#### 4.4.5 วิเคราะห์ความแตกต่างของแบบจำลองที่สร้างขึ้น

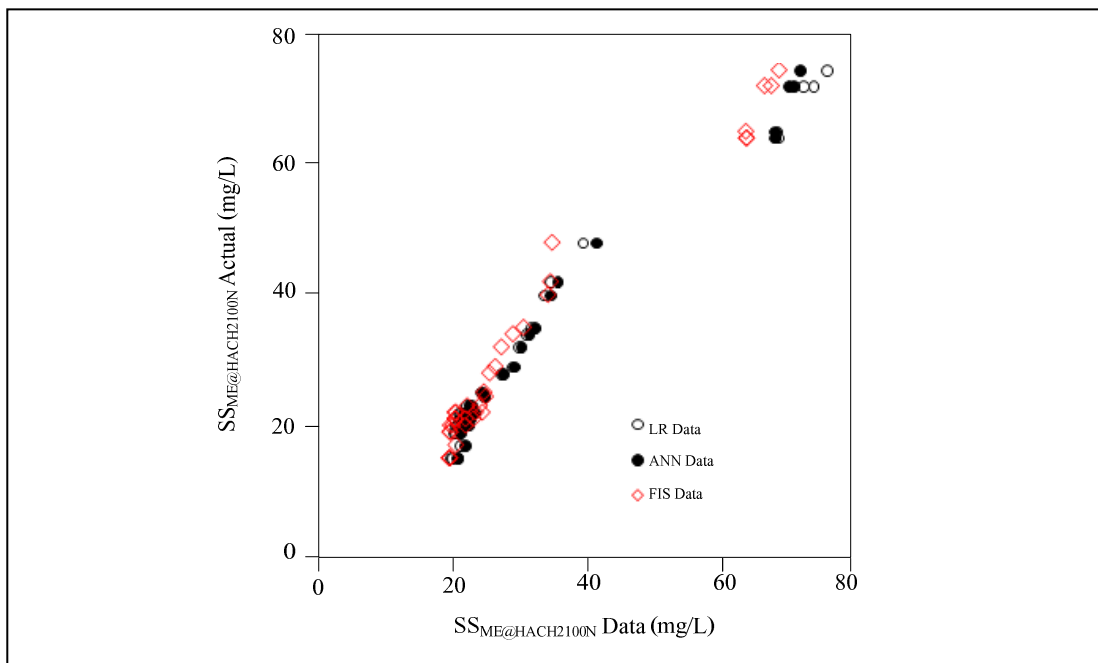
ผลการเปรียบเทียบการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยแต่ละแห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และ บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด(มหาชน) ทั้งในบ่อเดิมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว ซึ่งใช้ชุดข้อมูลที่ได้แบ่งไว้เพื่อทดสอบความถูกต้องร้อยละ 20 พบว่า เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N สามารถนำไปใช้ในการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยของ MA ด้วยแบบจำลองพีชชีลอจิก (FIS) โดยมีค่าร้อยละสัมบูรณ์ความผิดพลาดเฉลี่ย (MAPE) น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 2.581 และมีค่า R เท่ากับ 0.962 ส่วนแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (ANN) และแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (LR) มีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 5.928 และ 7.857 ตามลำดับ ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ME พบว่า แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายให้ค่า MAPE ที่น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 2.172 ส่วนแบบจำลอง ANN และ FIS มีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 8.802 และ 9.505 ตามลำดับ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PA พบว่า แบบจำลอง LR ให้ค่า MAPE น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 8.657 ส่วนแบบจำลอง ANN และ FIS มีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 11.804 และ 58.132 ตามลำดับตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PE พบว่า แบบจำลอง ANN ให้ค่า MAPE น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 18.431 โดยที่แบบจำลอง LR และ FIS ให้ค่า MAPE ที่มากกว่าเท่ากับร้อยละ 35.826 และ 43.795 ตามลำดับ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CA พบว่า แบบจำลอง LR ให้ค่า MAPE น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 60.274 โดยที่แบบจำลอง ANN และ FIS ให้ค่า MAPE ที่สูงกว่ามากเท่ากับร้อยละ 289.255 และ 80.828 ตามลำดับ และตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CE พบว่า แบบจำลอง ANN ให้ค่า MAPE น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 79.631 ส่วนแบบจำลอง LR และ FIS มีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 96.836 และ 79.847 ซึ่งมีความผิดพลาดเฉลี่ยในร้อยละที่สูงมาก แต่เมื่อดูค่า R ของแบบจำลอง LR ANN และ FIS ของทุกตำแหน่งเก็บตัวอย่างถือว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นมีความสัมพันธ์มาก โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.946-0.996 ทั้งนี้ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่างๆ ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.30และแสดงให้เห็นถึงการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายในแกนนอนและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงของแบบจำลองในแกนตั้ง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ดังแสดงในรูปที่ 4.39-4.44

ตารางที่ 4.30 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N

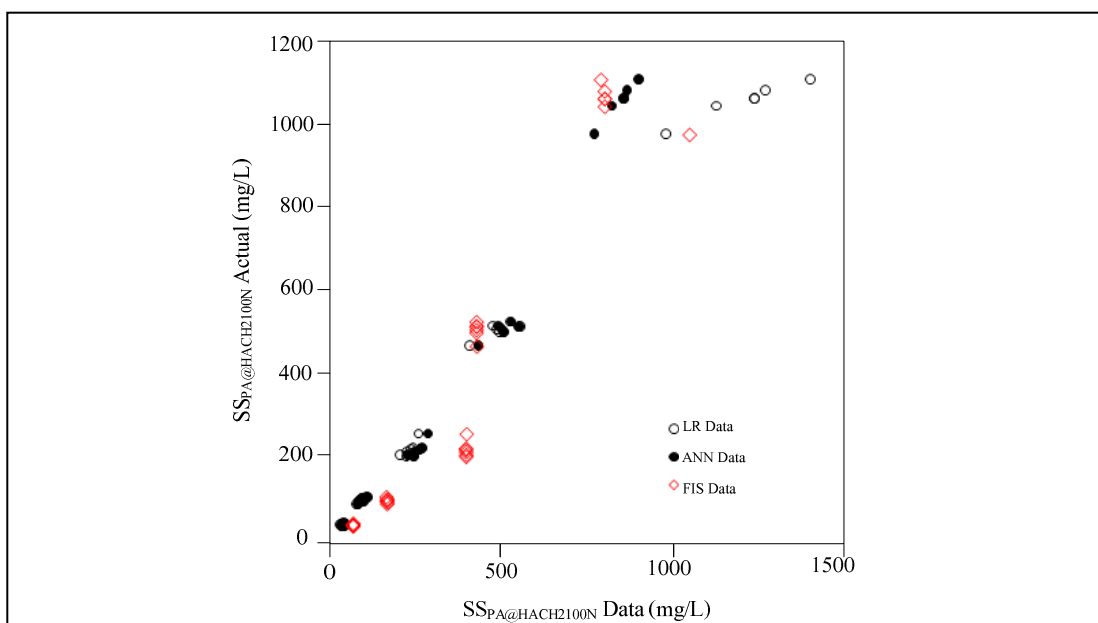
ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	MAPE			R		
	LR	ANN	FIS	LR	ANN	FIS
MA	7.857	5.928	2.581	0.986	0.992	0.962
ME	2.172	8.802	9.505	0.985	0.986	0.983
PA	8.657	11.804	58.132	0.993	0.990	0.946
PE	35.826	18.431	43.795	0.956	0.964	0.947
CA	60.274	289.255	80.828	0.996	0.993	0.996
CE	96.836	79.631	79.847	0.985	0.986	0.968



รูปที่ 4.39 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA

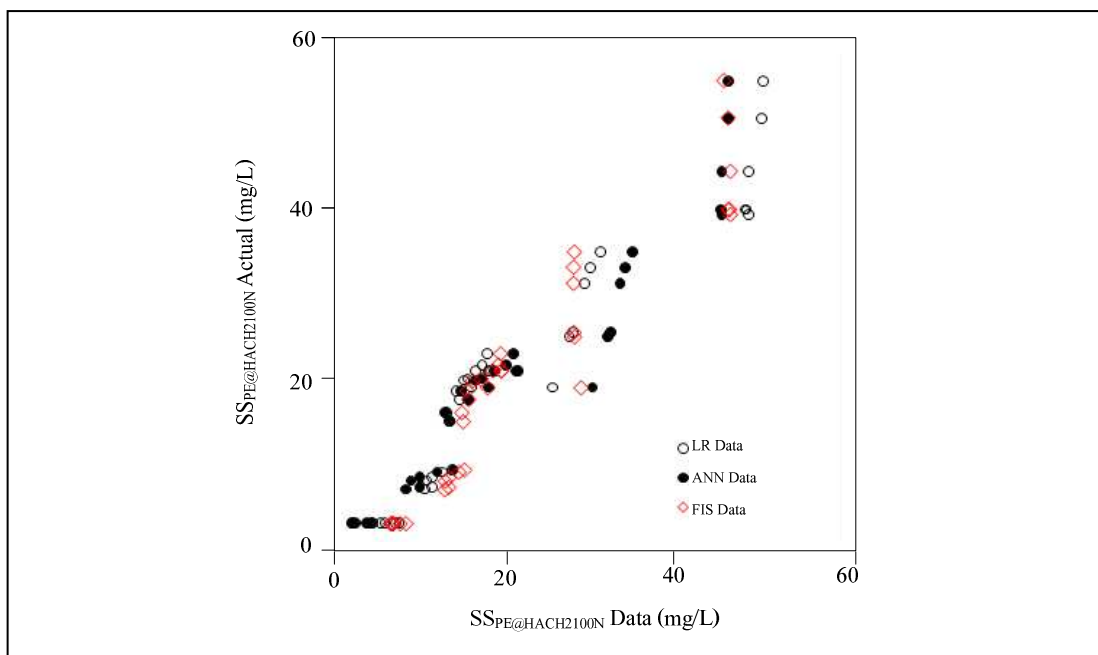


รูปที่ 4.40 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง  
ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ME

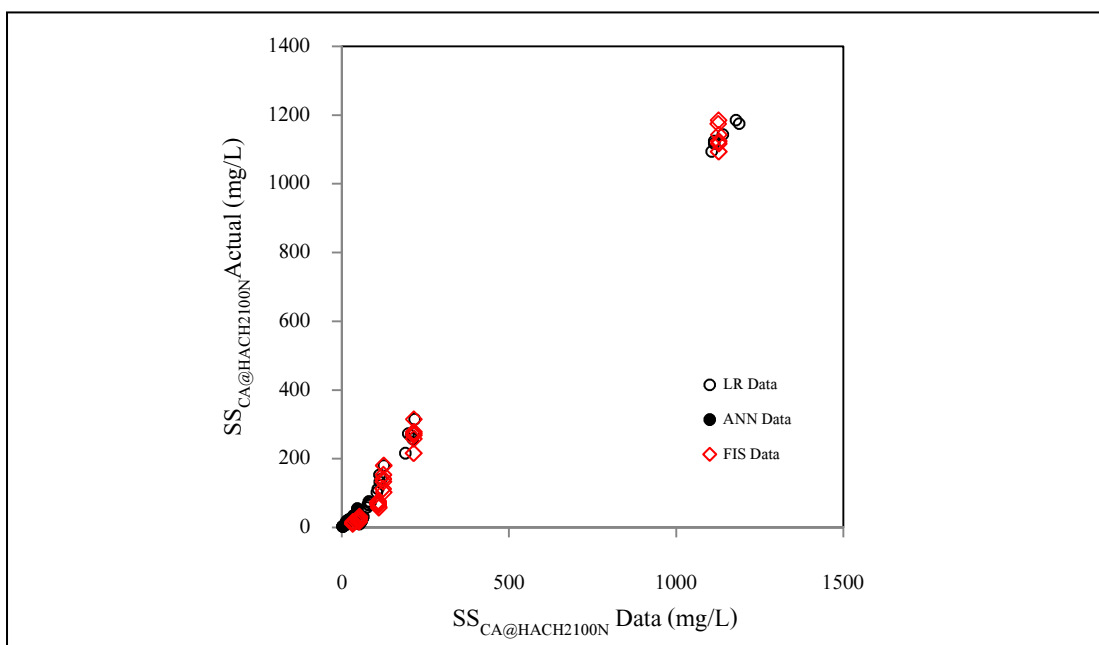


รูปที่ 4.41 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงด้วย  
เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PA

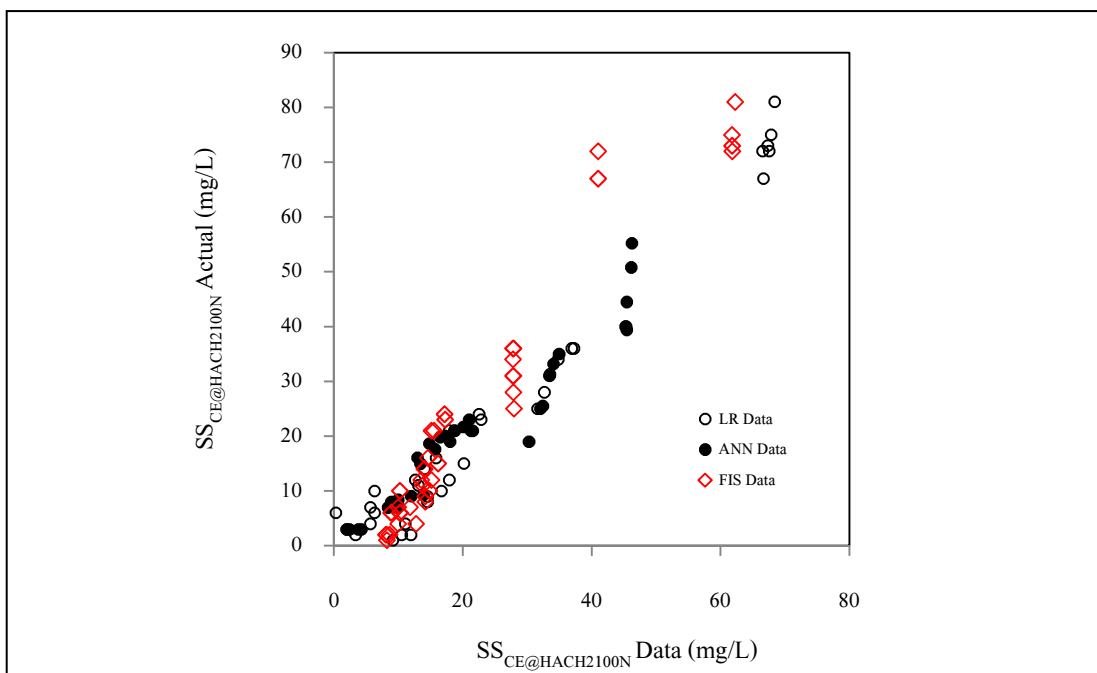




รูปที่ 4.42 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PE



รูปที่ 4.43 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CA



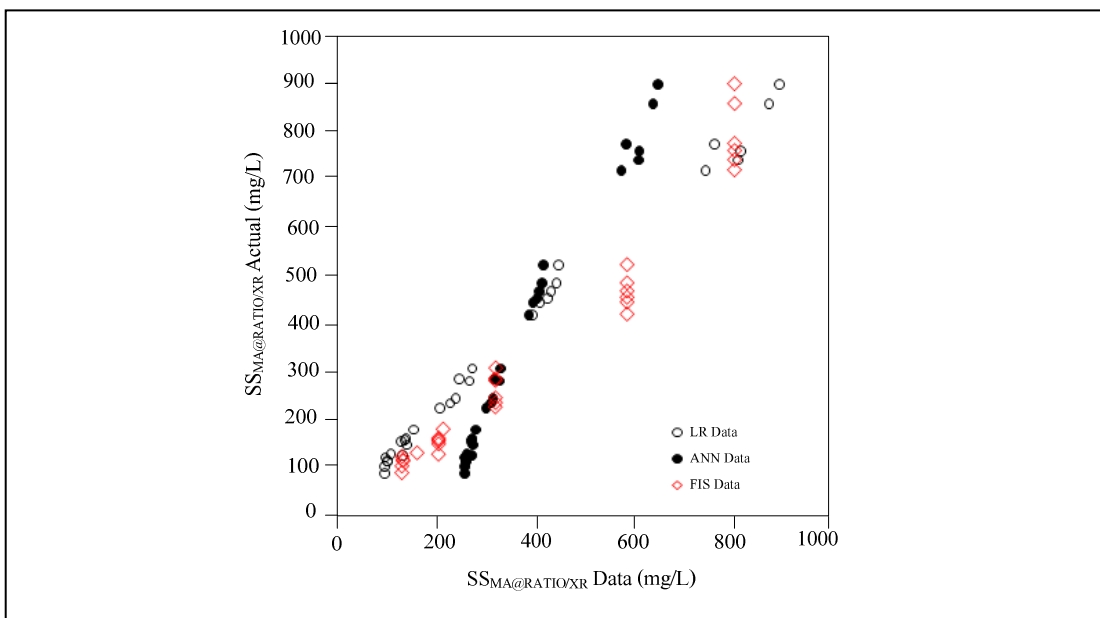
รูปที่ 4.44 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง  
ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CE

เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR สามารถนำไปใช้ในการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยของตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (LR) โดยมีค่าร้อยละสัมบูรณ์ความผิดพลาดเฉลี่ย (MAPE) น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 8.898 และมีค่า R เท่ากับ 0.995 ส่วนแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (ANN) และจำลองฟuzzyลอจิก (FIS) มีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 52.682 และ 22.149 ตามลำดับ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ME พบว่า แบบจำลอง FIS มีค่า MAPE น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 11.387 โดยแบบจำลอง LR และ ANN มีค่า MAPE ที่สูง FIS เท่ากับร้อยละ 12.104 และ 24.320 ตามลำดับ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PA พบว่า แบบจำลอง LR มีค่า MAPE น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 14.061 และมีค่า R เท่ากับ 0.987 โดยที่แบบจำลอง ANN และ FIS มีค่า MAPE สูงกว่าตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PA เท่ากับร้อยละ 40.874 และ 24.809 ตามลำดับ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PE พบว่า แบบจำลอง LR มีค่า MAPE น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 50.467 ส่วนแบบจำลอง ANN และ FIS มีค่า MAPE สูงกว่ามาก มีค่าเท่ากับร้อยละ 75.852 และ 90.204 ตามลำดับ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CA พบว่า แบบจำลอง LR มีค่า MAPE น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 38.853 และมีค่า R เท่ากับ 0.998 ส่วนตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CE พบว่า แบบจำลอง ANN มีค่า MAPE น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 80.051 ซึ่งผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองนี้สามารถอธิบายถึงค่าความสัมพันธ์

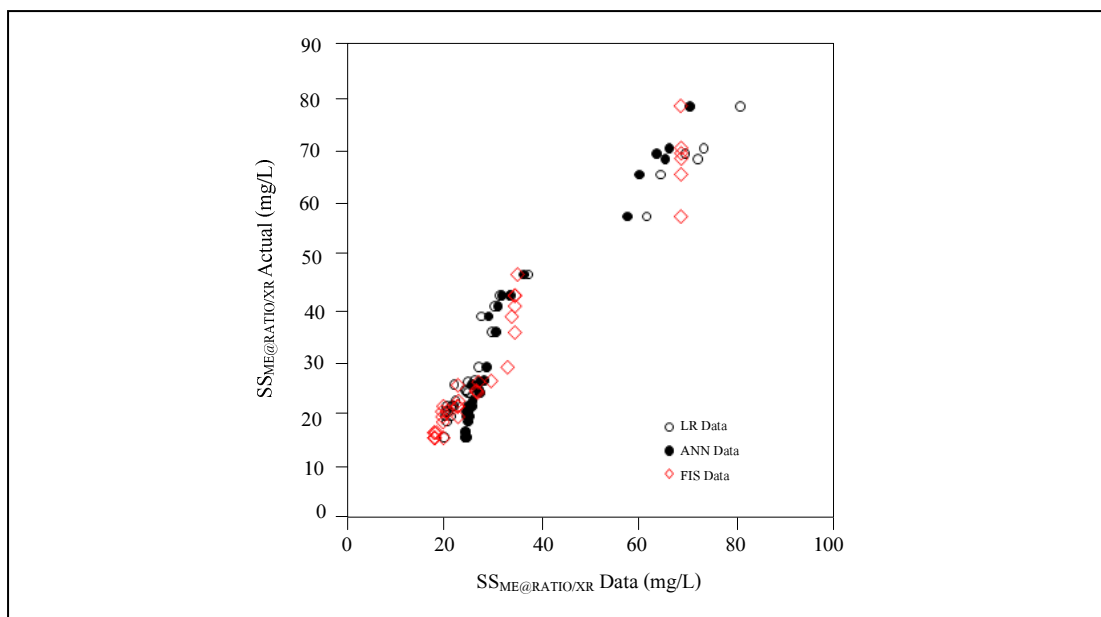
ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ในรูปค่า R โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.918-0.998 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.31 และจากรูปที่ 4.45-4.50 แสดงให้เห็นถึงการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายในแกนนอนและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงของแบบจำลองในแกนตั้งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR

ตารางที่ 4.31 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR

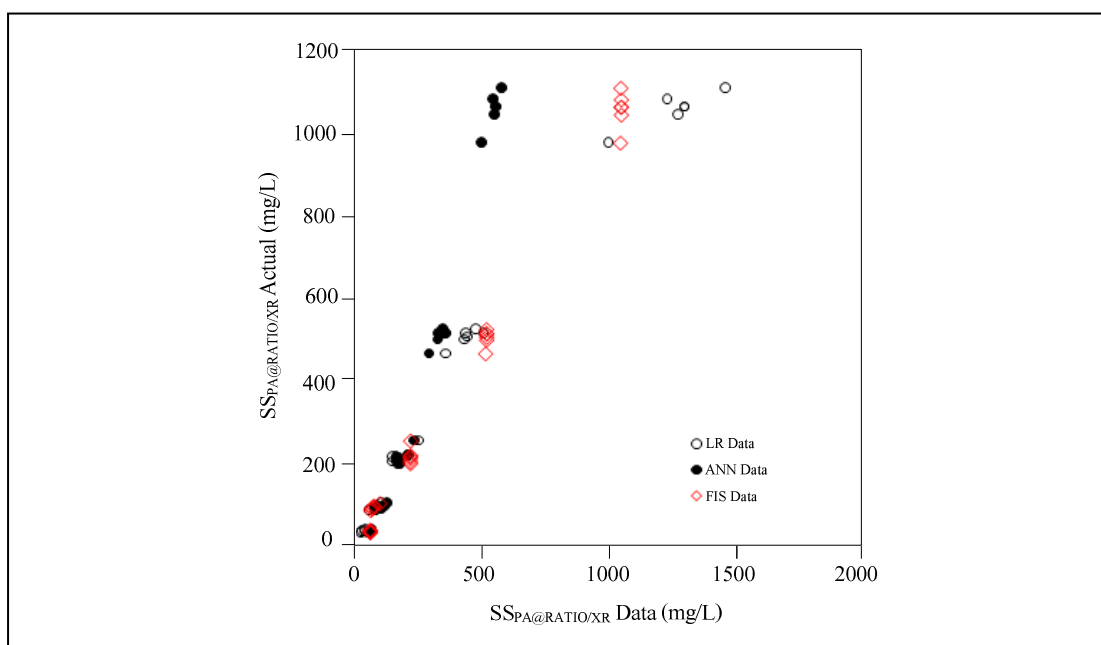
ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	MAPE			R		
	LR	ANN	FIS	LR	ANN	FIS
MA	8.898	52.682	22.149	0.995	0.962	0.978
ME	12.104	24.320	11.387	0.971	0.983	0.972
PA	14.061	40.874	24.809	0.987	0.946	0.997
PE	50.467	75.852	90.204	0.942	0.947	0.918
CA	38.853	162.181	40.211	0.998	0.996	0.994
CE	88.431	80.051	100.814	0.968	0.968	0.970



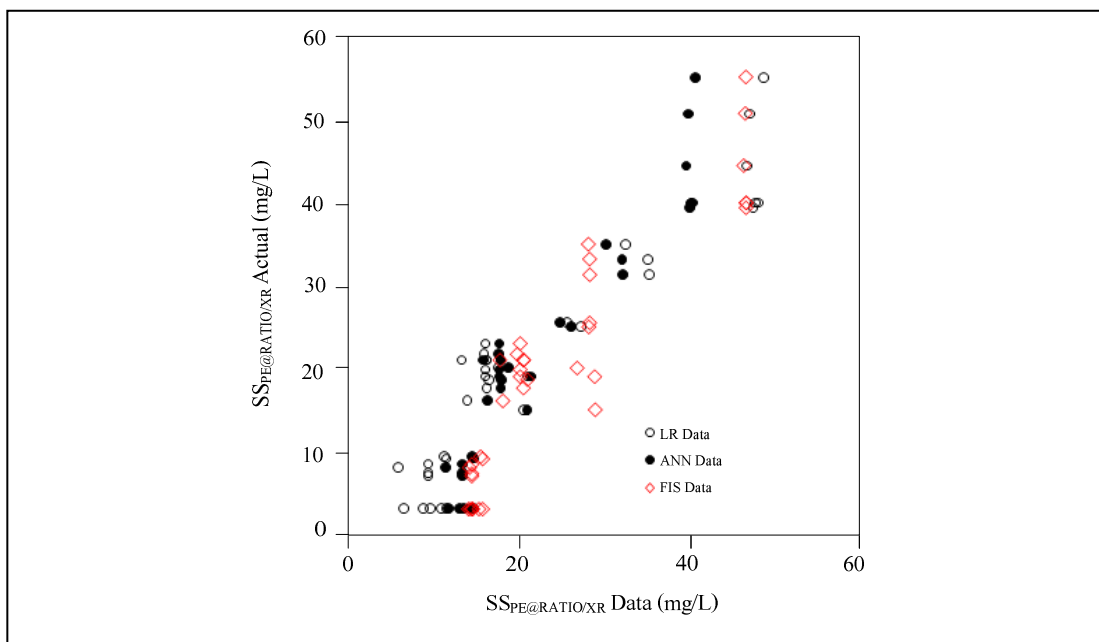
รูปที่ 4.45 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA



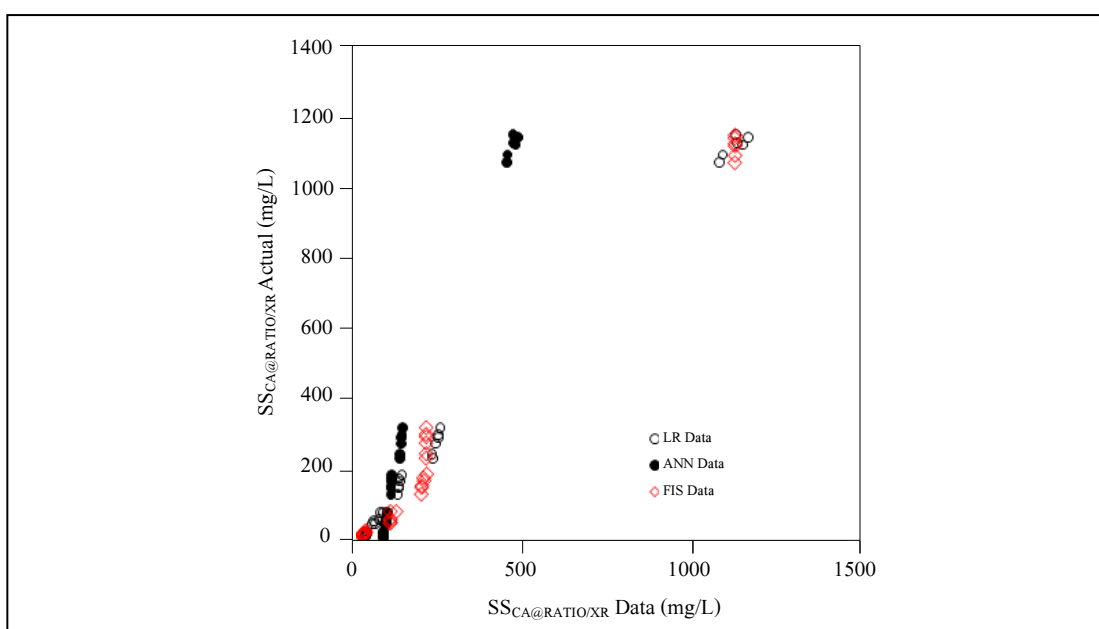
รูปที่ 4.46 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ME



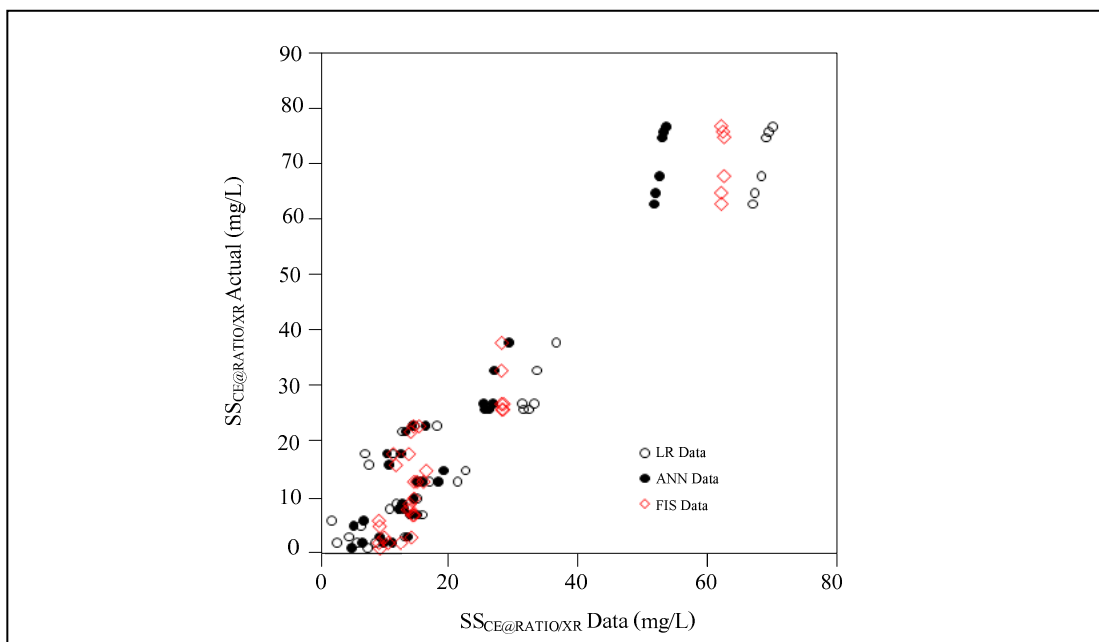
รูปที่ 4.47 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PA



รูปที่ 4.48 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PE



รูปที่ 4.49 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CA

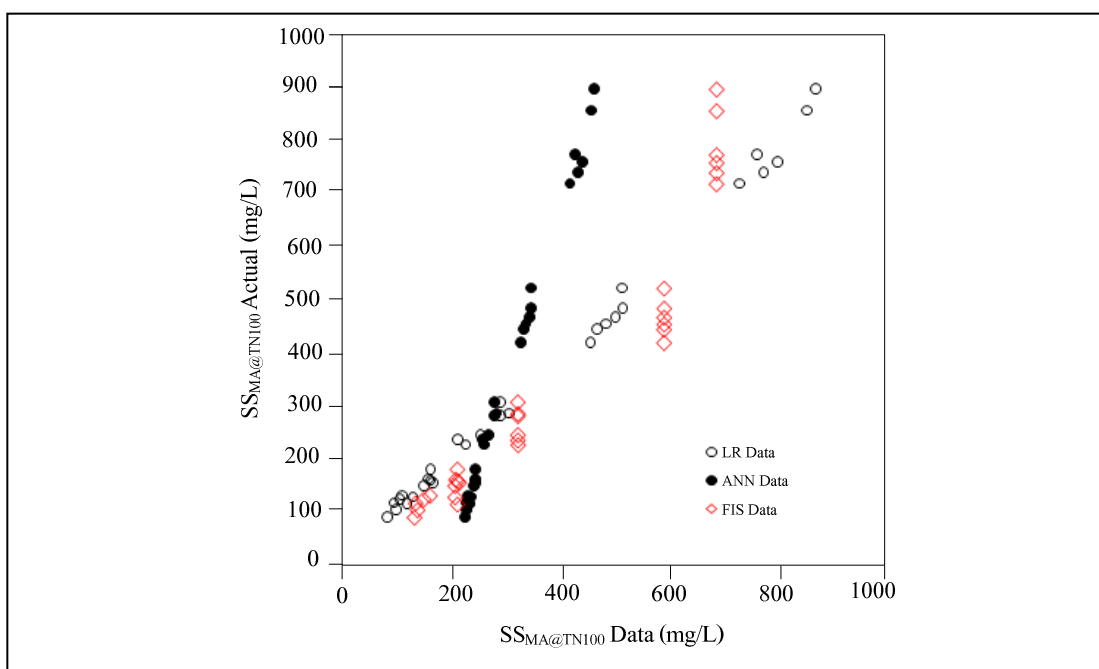


รูปที่ 4.50 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CE

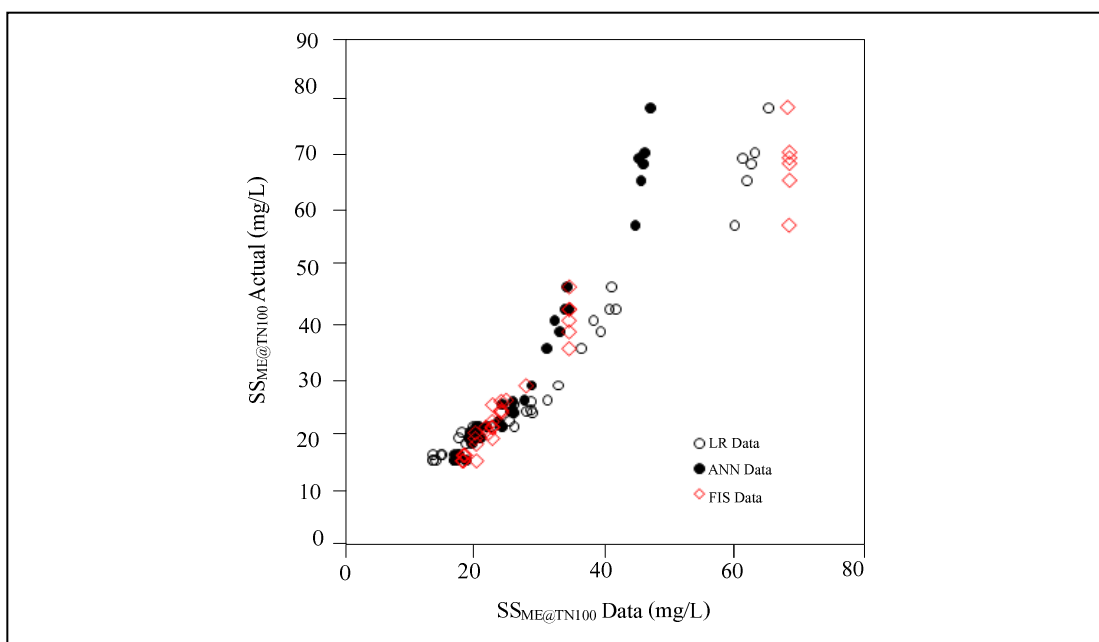
เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 สามารถนำไปใช้ในการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยของตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (LR) โดยมีค่าร้อยละสัมบูรณ์ความผิดพลาดเฉลี่ย (MAPE) น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 6.075 และมีค่า R เท่ากับ 0.997 ส่วนแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (ANN) และจำลองพีชชีลอจิก (FIS) มีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 47.603 และ 26.372 ตามลำดับตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ME PA PE และ CA แบบจำลอง LR มีค่า MAPE น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 9.693 17.667 36.452 และ 24.988 ตามลำดับ และแบบจำลอง ANN ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CE มีค่า MAPE น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 66.928 โดยที่แบบจำลองทั้งสามมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยเครื่องวัดความขุ่น EUTECH รุ่น TN100 ที่มีค่า R อยู่ในช่วงระหว่าง 0.931-0.998 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นที่สูงมาก ทั้งนี้ได้แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.32 และจากรูปที่ 4.51-4.56 แสดงให้เห็นถึงการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายในแกนนอนและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงของแบบจำลองในแกนตั้งด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100

ตารางที่ 4.32 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100

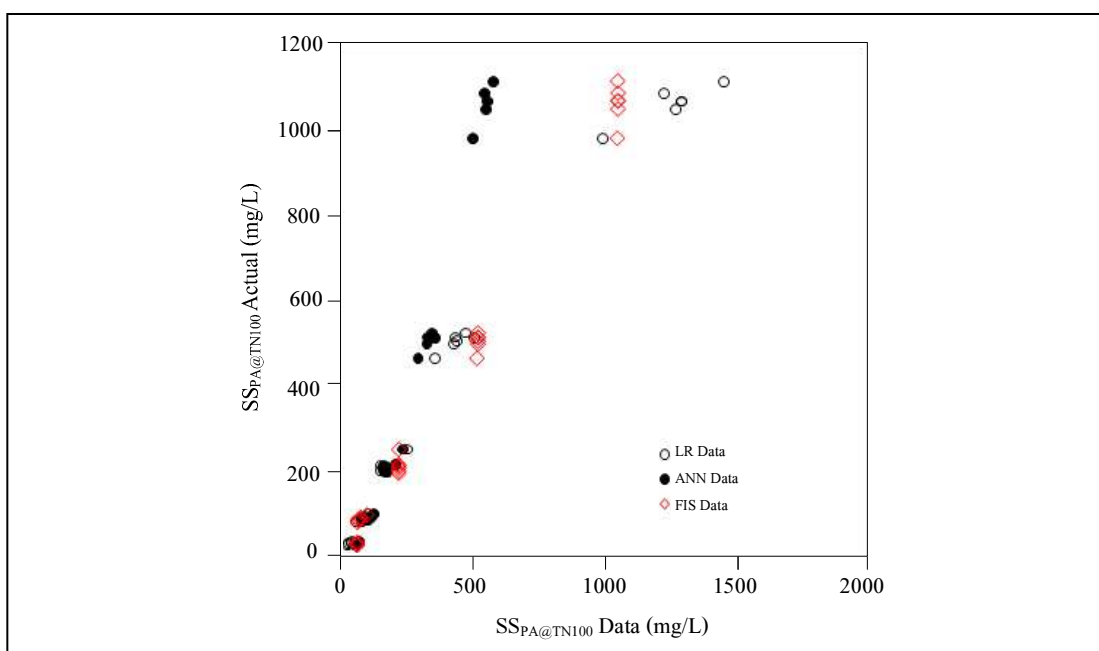
ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	MAPE			R		
	LR	ANN	FIS	LR	ANN	FIS
MA	6.075	47.603	26.372	0.997	0.998	0.949
ME	9.693	12.860	9.988	0.982	0.979	0.974
PA	17.667	69.381	27.596	0.983	0.994	0.996
PE	36.452	65.435	75.236	0.966	0.963	0.931
CA	24.988	258.062	31.873	0.998	0.998	0.995
CE	136.153	66.928	91.679	0.982	0.980	0.981



รูปที่ 4.51 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA

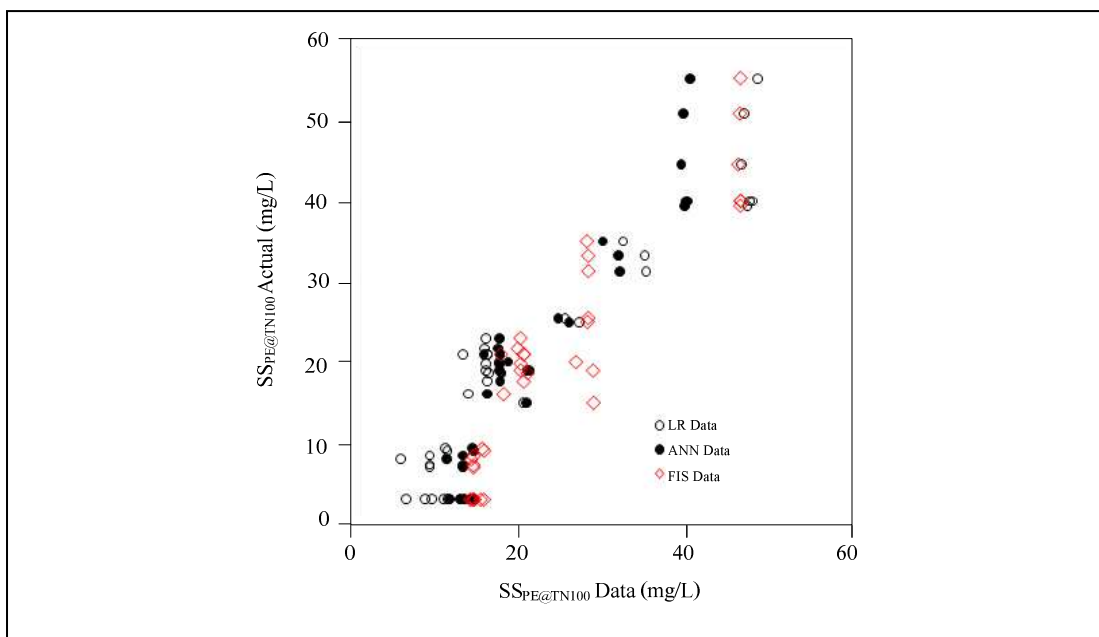


รูปที่ 4.52 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ME

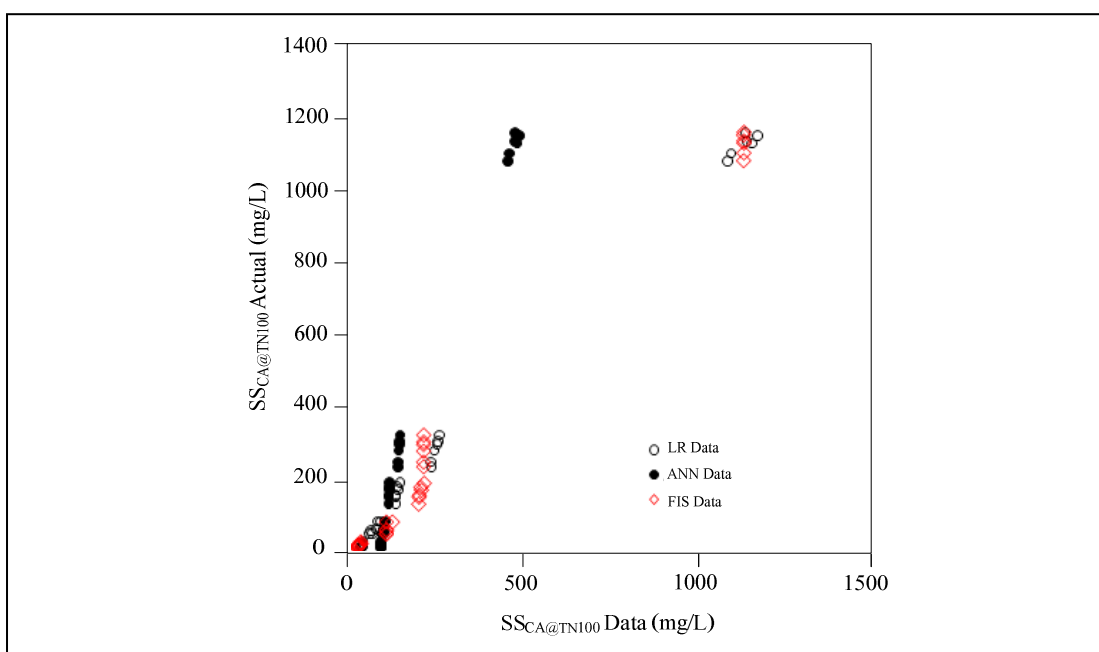


รูปที่ 4.53 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PA

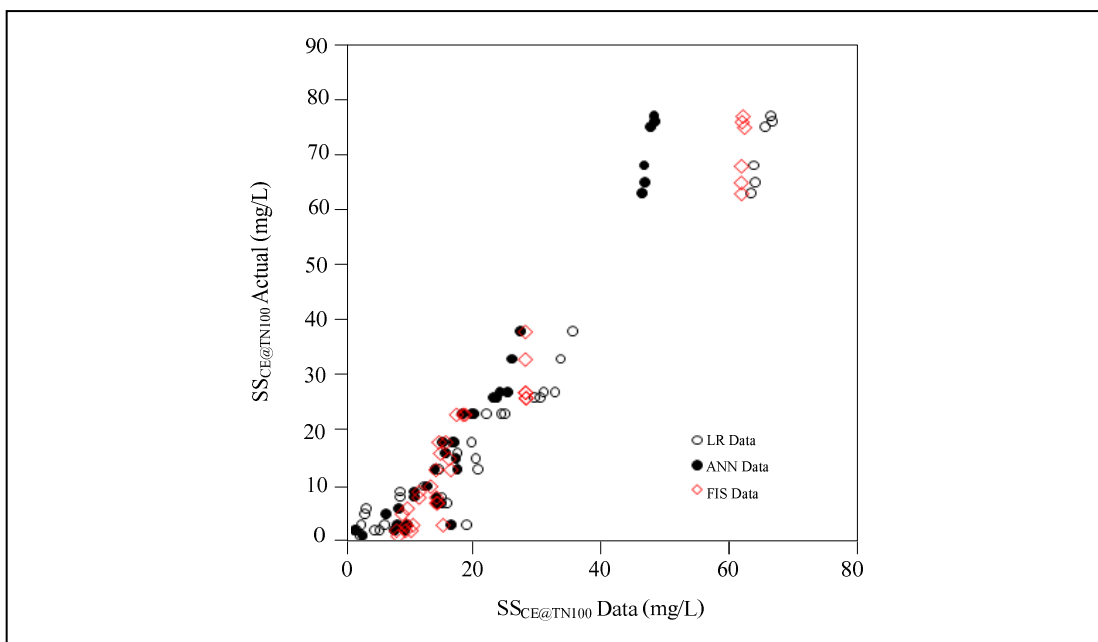




รูปที่ 4.54 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง PE



รูปที่ 4.55 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CA



รูปที่ 4.56 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าจากการทำนายและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง CE

#### 4.4.5.1 ผลการศึกษาแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

ผลการศึกษาแบบจำลองเพื่อทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจากโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครราชสีมา โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) โดยใช้วิธีความถดถอยเชิงเส้นสรุปได้ว่า แต่ละแห่งให้ความสัมพันธ์ที่ไม่แน่นอนเมื่อมีการแปลงค่าตัวแปรและไม่มีการแปลงค่าตัวแปรให้อยู่ในรูปลอการิทึมธรรมชาติ ซึ่งตัวแปรค่าปริมาณสารแขวนลอยมีความสัมพันธ์กับตัวแปรค่าความขุ่นในรูปเชิงเส้น แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ME PA PE CE และ CA มีค่า R เท่ากับ 0.986 0.985 0.993 0.956 0.996 และ 0.985 ตามลำดับ ส่วนเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ME PA PE CE และ CA มีค่า R เท่ากับ 0.995 0.971 0.987 0.942 0.998 และ 0.968 ตามลำดับ และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ME PA PE CE และ CA มีค่า R เท่ากับ 0.997 0.982 0.983 0.966 0.998 และ 0.982 ตามลำดับ

#### 4.4.5.2 ผลการศึกษาแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทประดิษฐ์

ผลการศึกษาแบบจำลองเพื่อทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจากโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา โรงพยาบาลศูนย์นวมัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) โดยใช้วิธีโครงข่ายใยประสาทประดิษฐ์ พบว่า แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ME PA PE CE และ CA มีค่าร้อยละสัมบูรณ์ความผิดพลาดเฉลี่ย (MAPE) เท่ากับ 5.928 8.802 11.804 18.431 289.265 และ 79.631 ตามลำดับ ส่วนเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ME PA PE CE และ CA มีค่า MAPE ร้อยละเท่ากับ 52.682 24.320 40.874 75.852 162.181 และ 80.051 ตามลำดับ และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN 100 ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ME PA PE CE และ CA มีค่า MAPE ร้อยละเท่ากับ 47.603 12.860 69.381 65.435 258.062 และ 66.928 ตามลำดับ

#### 4.4.5.3 ผลการศึกษาแบบจำลองฟuzzyลอจิก

ผลการศึกษาแบบจำลองฟuzzyลอจิกต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและผลลัพธ์ด้วยหลักและเหตุผล การทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจากโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา โรงพยาบาลศูนย์นวมัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา และบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) โดยใช้วิธีฟuzzyลอจิก พบว่า แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ME PA PE CE และ CA โดยมีค่า R เท่ากับ 0.962 0.983 0.946 0.947 0.996 และ 0.968 ตามลำดับ ส่วนเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ME PA PE CE และ CA มีค่า R เท่ากับ 0.978 0.972 0.997 0.918 0.994 และ 0.970 ตามลำดับ และเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN 100 ในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง MA ME PA PE CE และ CA มีค่า R เท่ากับ 0.949 0.974 0.996 0.931 0.995 และ 0.981 ตามลำดับ

#### 4.4.6 วิเคราะห์ความแตกต่างของเครื่องวัดความขุ่นและแบบจำลอง

ผลการศึกษาการวิเคราะห์ความแตกต่างของเครื่องวัดความขุ่นและแบบจำลองทั้ง 3 แบบด้วยการทดสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบหาค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน (Multiple Comparison) โดยใช้วิธีที่นิยม คือ Fisher's LSD โดยการทดสอบความแปรปรวนจำแนกเป็น 2 ทาง (All 2 Way ANOVA) ทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ว่าเครื่องวัดความขุ่นทั้ง 3 เครื่องสามารถทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยได้เท่ากันหรือไม่ และทดสอบสมมติฐานว่าแบบจำลองทั้งสาม ซึ่งได้แก่ (1) แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (2) แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทประดิษฐ์ และ (3) แบบจำลองฟuzzyลอจิกสามารถทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยได้เท่ากันหรือไม่ จากผลการทดสอบสมมติฐาน อธิบายได้ดังนี้

1) ตำแหน่งเก็บตัวอย่างMA ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยในการทำนายค่า SS และการใช้แบบจำลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ( $Sig=0.74>\alpha=0.05$ ) แต่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ SS ในการทำนายค่า SS ด้วยเครื่องวัดความชุ่มอย่างน้อย 1 คู่ คือ เครื่องวัดความชุ่มนี้ห้อ HACH รุ่น 2100N และ เครื่องวัดความชุ่มนี้ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ( $Sig=0.28<\alpha=0.05$ )

2) ตำแหน่งเก็บตัวอย่างME ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยในการทำนายค่า SS และการใช้แบบจำลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ( $Sig=0.939>\alpha=0.05$ )และไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยของ SS ในการทำนายค่า SS ด้วยเครื่องวัดความชุ่ม( $Sig=0.599>\alpha=0.05$ )

3) ตำแหน่งเก็บตัวอย่างPA ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยในการทำนายค่า SS และการใช้แบบจำลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ( $Sig=0.064>\alpha=0.05$ )และไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยของ SS ในการทำนายค่าด้วยเครื่องวัดความชุ่ม ( $Sig=0.804>\alpha=0.05$ )

4) ตำแหน่งเก็บตัวอย่างPE ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยในการทำนายค่า SS และการใช้แบบจำลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ( $Sig=0.130>\alpha=0.05$ )และไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยของ SS ในการทำนายค่าด้วยเครื่องวัดความชุ่ม ( $Sig=0.441>\alpha=0.05$ )

5) ตำแหน่งเก็บตัวอย่างCA มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยในการทำนายค่า SS และการใช้แบบจำลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05( $Sig=0.016<\alpha=0.05$ )โดยพบว่า แบบจำลองที่มีความแตกต่างกันในการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอย ได้แก่ แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย แบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ และแบบจำลองฟิชชี่ลอจิกและไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยของ SS ในการทำนายค่าด้วยเครื่องวัดความชุ่ม ( $Sig=0.930>\alpha=0.05$ )

6) ตำแหน่งเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยในการทำนายค่า SS และการใช้แบบจำลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ( $Sig=0.299>\alpha=0.05$ )และไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยของ SS ในการทำนายค่าด้วยเครื่องวัดความชุ่ม ( $Sig=0.984>\alpha=0.05$ )

จึงสรุปได้ว่าในแต่ละตำแหน่งเก็บตัวอย่างโดยส่วนใหญ่แล้ว ไม่มีความแตกต่างกันในการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยและแบบจำลองทั้งสามแบบ ได้แก่ แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย แบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ และแบบจำลองฟิชชี่ลอจิก ทั้งนี้ความเหมาะสมต่อการนำเครื่องวัดความชุ่มและแบบจำลองไปใช้งานต้องพิจารณาด้วยว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นควรมีค่าร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ย (MAPE) ที่มีค่าน้อยที่สุดจึงจะให้ความแม่นยำและเหมาะสมต่อการนำไปทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งในแต่ละตำแหน่งเก็บตัวอย่างได้

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

ความขุ่นถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการนำไปใช้เพื่อตรวจติดตามควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งในระบบประปา น้ำดี น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ และแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งจะใช้หลักการตรวจวัดด้วยหลักการวิธีเนเฟโลเมตริก (Nephelometric Method) การใช้เครื่องวัดความขุ่นด้วยหลักการเนเฟโลเมตริกนี้เป็นวิธีการที่วัดความขุ่นได้อย่างสะดวก รวดเร็ว โดยอาศัยหลักการให้แสงส่องไปยังอนุภาค จากงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องวัดความขุ่นในการตรวจวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง เริ่มจากการศึกษาเลือกสถานที่เก็บน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยเลือกน้ำเสียที่เป็นตัวแทนของน้ำเสียชุมชนคือ น้ำเสียจากโรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมา และน้ำเสียจากโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากจังหวัดนครราชสีมายังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และเลือกน้ำเสียที่เป็นตัวแทนของน้ำเสียอุตสาหกรรม คือ น้ำเสียจากบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด(มหาชน) ทั้งนี้ในแต่ละแห่งที่เป็นตัวแทนนั้นจะมีจุดเก็บน้ำตัวอย่าง 2 จุด ได้แก่ น้ำเสียในบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว สาเหตุในการเลือกตัวแทนน้ำเสียในบ่อเติมอากาศเนื่องจากค่าปริมาณสารแขวนลอย (MLSS) มีผลต่อการด้านควบคุมระบบ ส่วนการเลือกตัวแทนน้ำเสียในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วมีความสำคัญในเรื่องของการตรวจวัดคุณภาพน้ำทิ้งให้เป็นไปตามมาตรฐาน โดยในแต่ละจุดเก็บได้วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าความขุ่น ค่าปริมาณสารแขวนลอย สีจริง และสีปรากฏ ทั้งนี้ได้ควบคุมปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยควบคุมน้ำตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง และใช้เวลาในการตรวจวัดค่าความขุ่นในช่วง 15-120 วินาที จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์สถิติพรรณนา และสหสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตัวแปร และนำผลการศึกษาไปใช้สร้างแบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) แบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (ANN) และแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) เพื่อทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง และสามารถนำไปศึกษาความเป็นไปได้ต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการเดินระบบและการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียประเมินคุณภาพน้ำเสียรายวันได้ และช่วยให้การตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยได้ผลการวิเคราะห์

ที่รวดเร็วกว่าการกรองด้วยวิธีวัดด้วยกระดาษกรองตามวิธีมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปและยังได้กระบวนการและวิธีการในการใช้แบบจำลองในการพัฒนาเครื่องมือวัดในขั้นต่อไปด้วย ทั้งนี้สามารถสรุปผลการศึกษาที่สำคัญตามวัตถุประสงค์และขั้นตอนการศึกษาได้ดังนี้

1) การอ่านค่าความขุ่นสามารถอ่านค่าในช่วง 15-120 วินาทีได้ เนื่องจากผลการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ไม่ว่าจะอ่านค่าความขุ่นในช่วงเวลาใดค่าความขุ่นที่ได้จะไม่แตกต่างกันมากนักทั้งในน้ำตัวอย่างจากบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัด แต่มีข้อจำกัดสำหรับเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว เนื่องจากลักษณะของน้ำที่ใช้ในการตรวจวัดค่อนข้างขุ่นน้อยเพราะเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัด ดังนั้นในการประมวลผลซอฟต์แวร์ของเครื่องวัดจะใช้เวลาในการอ่านค่าไม่แน่นอนเท่ากับเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N

2) จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย แบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ และแบบจำลองฟuzzy logic โดยนำข้อมูลที่ได้สุ่มแยกออกไว้ร้อยละ 20 มาประเมินเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพในการทำนายค่าของแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองทั้งสามแบบ ให้ผลการทำนายว่าแต่ละตำแหน่งเก็บตัวอย่างโดยส่วนใหญ่แล้วไม่มีความแตกต่างกันในการทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอย ทั้งนี้ความเหมาะสมต่อการนำเครื่องวัดความขุ่นและแบบจำลองไปใช้งานต้องพิจารณาด้วยว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นควรมีค่าร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ย (MAPE) ที่มีค่าน้อยที่สุด จึงจะให้ความแม่นยำและเหมาะสมต่อการนำไปทำนายค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งในแต่ละตำแหน่งเก็บตัวอย่างได้

3) สถิติจริงและสถิติปรากฏในบ่อเติมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วไม่มีอิทธิพลต่อการวัดค่าความขุ่น แต่การเจือจางโดยประมาณที่ร้อยละแตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อค่าสถิติที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95

## 5.2 ข้อจำกัด

1) การนำไปใช้งานจริงเพื่อหาค่าปริมาณสารแขวนลอยในแต่ละแห่งต้องมีการสร้างแบบจำลองขึ้นมาก่อนเพราะในแต่ละแห่งจะมีแบบจำลองที่แตกต่างกัน

2) กรณีตำแหน่งเก็บตัวอย่างในบ่อเติมอากาศ เมื่อนำมาวัดค่าความขุ่นจำเป็นต้องมีการเจือจางน้ำตัวอย่างก่อน ไม่เช่นนั้นเครื่องวัดความขุ่นจะไม่สามารถอ่านค่าความขุ่นได้

3) ความแตกต่างระหว่างเครื่องวัดความชุ่มชื้นในห้องปฏิบัติการและเครื่องวัดความชุ่มชื้นขนาดพกพาจะใช้เวลาในการประมวลผลอ่านค่าความชุ่มชื้นแตกต่างกัน โดยเครื่องวัดความชุ่มชื้นขนาดพกพาสามารถประมวลผลออกมาอัตโนมัติภายในช่วงเวลา 10 วินาที จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ไม่สามารถนำเครื่องวัดความชุ่มชื้นยี่ห้อ EUTECH รุ่น TN100 ไปใช้ในการศึกษาในเรื่องของเวลาและการอ่านค่าความชุ่มชื้น นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างในด้านของฮาร์ดแวร์ที่อยู่ในตัวเครื่องวัด เช่น อุปกรณ์รับแสงมีจำนวนไม่เท่ากัน แหล่งกำเนิดแสงแตกต่างกัน เป็นต้น ความแตกต่างนี้ค่อนข้างจะไม่มีผลต่อการตรวจวัดเนื่องจากเครื่องวัดความชุ่มชื้นได้ใช้หลักการเนฟโลเมตริกเหมือนกัน และในการศึกษาวิจัยนำตัวอย่างได้มีการควบคุมปัจจัยให้อยู่ในสภาวะเดียวกันเพื่อให้ง่ายต่อการทดลอง

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความชุ่มชื้นมีความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้จริง สามารถนำหลักการที่ได้ศึกษานั้นนำมาใช้ได้ดังต่อไปนี้

1) แบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกันใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 4 เดือน โดยถ้าจะนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความชุ่มชื้นไปใช้งานจริง ต้องมีการเปรียบเทียบระยะเวลาว่าความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นมาแต่แห่งให้ความสัมพันธ์ที่มากหรือน้อย

2) ความเหมาะสมของการนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปใช้งานได้จริงควรใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจึงจะได้ประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีที่สุดที่ความผิดพลาดร้อยละ 0.05 หากจะนำไปใช้กับน้ำตัวอย่างอื่นๆ ต้องสร้างแบบจำลองขึ้นมาใหม่ให้เหมาะสมกับการใช้งานเสียก่อน

3) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความชุ่มชื้น สามารถพัฒนาได้เองด้วยการใช้หลักการของโครงข่ายประสาทประดิษฐ์และหลักการฟuzzyลอจิก ให้มีการเรียนรู้และสามารถนำไปใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

4) ควรมีการวิจัยขั้นต่อไปเพื่อเป็นการต่อยอดงานวิจัยในการนำหลักการโครงข่ายประสาทประดิษฐ์และฟuzzyลอจิกไปใช้สร้างและพัฒนาเครื่องมือ ได้แก่ เครื่องวัดความชุ่มชื้น เครื่องวัดดีไอ เครื่องตรวจวัดต่างๆ เป็นต้น

## รายการอ้างอิง

- กรณีการ สิริสิงห. (2549). **เคมีของน้ำ น้ำโคลโรก และการวิเคราะห์**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ  
กระทรวงอุตสาหกรรม (2549). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549)  
**เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์  
คุณภาพ และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก.217-2549).**
- เกียรติสุดา ศรีสุข. (2006). การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย. **Journal of Measurement  
and Research in Education**, 21 (1) 2006
- ชนาวุฒิ ส่งแสง (2546). ผลของคุณลักษณะน้ำเสียต่อการอุดตันของไมโครฟิวเตอร์ชั้นเมมเบรนในกระ  
บวนการแอ็คติเวสเต็ดสลัดจ์สำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชน. **วิทยานิพนธ์  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**
- นิตยารักศรีและคณะ (2548)การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณเชื้อแบคทีเรีย  
***Pasteurellamultocida*ในวัคซีนอหิวาต์เป็ดไก่.**
- มันสินตัญฑุลเวศม์ และ มันรัชตัญฑุลเวศม์ (2547). **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 2.  
กรุงเทพฯ โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มันสินตัญฑุลเวศม์ (2543). **เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ โรง  
พิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ยุทธ ไกยวรรณ (2546). สถิติเพื่อการวิจัย. **ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพ**, กรุงเทพฯ
- รังสรรค์ รักษากุลวิทยา และ วิวัฒน์ ชัยชนะศิริวิทยา (2549). ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ  
เชื้อ ความขุ่น น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ PVC ในแบคทีเรียบรอกแบคเทอร์น.  
**วารสารชีวผลิตภัณฑ์**. ปีที่ 16 ฉ.1, 37-44, 8 หน้า
- สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2540). **คำกำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย**.  
พิมพ์ครั้งที่ 1. หน้า 8-17
- สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2549)ระบบบำบัดน้ำเสีย การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุม และ  
การแก้ปัญหา. สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2549, 560 หน้า



- Ackcorn, P.D. (2003). Clarifying Turbidity- The Potential and Limitations of Turbidity as A Surrogate for Water-Quality Monitoring. **Proceeding of the 2003 Georgia WaterResources Conference**, Institute of Ecology, The University of Georgia, Athens, Georgia.
- APHA, AWWA, and WEF (1990).**Standard methods for the examination of water and wastewaters (17th Ed.)**.American Public Health Association- American Water Works Association-Water Pollution Control Federation.
- APHA, AWWA, and WEF(1998).**Standard methods for the examination of water and wastewaters (20th Ed.)**. American Public Health Association, Washington, D.C., pp. 2-8 to 2-11.Fibers' Diploma Thesis, Dept. Chem. Eng., Aristotle Univ. of Thessaloniki (in greek).
- Barter, P.J., and Deas, T. (2003). Comparison of portable nephelometric turbidimeters on natural waters and effluents, New Zealand.**Journal of Marine and Freshwater Research 2003**, Vol. 37: 485–492.
- Brown, T.E., Lemay, H.E., and Bursten, T.E. (2005). Chemistry: The Central Science. Prentice Hall.
- Downing, J. (2008). **Comparison of Suspended Solids Concentration (SSC) and Turbidity**.Campbell Scientific, Inc. Application note.
- Ebie, K., Yamaguchi, D., Hoshikawa, H., andShirozu, T. (2006).New Measurement Principle and Basic Performance of High-Sensitivity Turbidimeter with Two Optical Systems in Series.**Water Research**,40: 683-691.
- Fleet, F.C., and Siebert, J.K. (2005).**Effect of Illumination Intensity on Visual Perception of Turbidity**.
- García, A., Pérez, M.A., Grillo, G.J., and Tejerina, J. (2005).A New Design of Low-Cost Four-Beam Turbidity by Using Optical Fibers.**Instrumentation and Measurement Technology Conference**, Ottawa, Canada.592-596.
- GLI, Inc. (1992).**Turbidity Measurement**. Milwaukee, WI, Technical Bulletin Number T1 rev 2-193.
- Hach company (1991). **Ratio/XR Turbidimeter Instruction Manual**, 1-38.
- Hachcompany (1995). **Model 2100N Laboratory Turbidimeter Instruction Manual**, 1-79.
- Hach Corporation (1995). **Excellence in Turbidity Measurement**.Hach Corporation.

- Holliday, C.P., Todd, C.R., and Miller, W.P. (2003). **Establish the Relationship Between Turbidity and Total Suspended Sediment Concentration.**
- Hongve, D., and Åkesson, G. (1998). Comparison of Nephelometric Turbidity Measurements Using Wavelengths 400—600 and 860nm. **Water Research** 32(10):3143-3145.
- ISO1999 (1999). Water Quality-Determination of Turbidity, **Method 7027.**
- Katznelson, R. (2004). Measuring Suspended Solids and Water Column Turbidity. **DQM Information** , 1-5.
- Lewis, J. (2003). Turbidity-controlled sampling for suspended sediment load estimation. In: Bogen, J. Tharan Fergus and Des Walling (eds.), *Erosion and Sediment Transport Measurement in Rivers: Technological and Methodological Advances (Proc. Oslo Workshop, 19-20 June 2002)*. IAHS Publ. 283: 13-20.
- Marquis, P. (2005). **Turbidity and Suspended Sediment as Measures of Water Quality.**
- Masashi, T., Yoshikazu, O., Ryuichi, T., and Shinjiro, K. (1999) Functional Improvements in MLSS Analysers. **Yokogawa Technical Report English Edition**, No.27: 25-29.
- Orwin, J.F. and Smart, C.C. (2005). An Inexpensive Turbidimeter for Monitoring Suspended Sediment. **Geomorphology**. V.68, 3-15.
- Packman, J., Jame, Karen, J.C., and Boot, B.D. (2000). **Using Turbidity of Determine Total Suspended Solids in Urbanizing Steams in The Puget Lowlands.**
- Papadopoulou, A.A. (1998). **Design and Construction of Measuring Devices Using Optical**
- Pavelich, M.P (2002). Turbidity Studies at The National Water Quality Laboratory. **Turbidity and Other Surrogates Workshop**, April 30–May2,2002, Reno, Nv.
- Pérez, M.A., Vega, R.M., Fernández, C.García, A., Baro, J.A., and Cárcel, L.M. (2008). Full-range, True On-line Turbidimeter Based Upon Optical Fibers for Application in The Wine Industry. **Instrumentation and Measurement Technology Conference**, Victoria, Vancouver Island, Canada.
- Sadar, M.J. (1996). Determining Correlation of Nephelometric Turbidity Measurement to Suspended Solids in Industrial Samples. Hach Inc. **Technical Information 1996.** Sadar, M.J. (1998). *Turbidity Science*. HACH, **Technical Information Series-Booklet**. No. 11. Accessed March 25, 2002, at URL [www.hach.com/ASP/categories.asp](http://www.hach.com/ASP/categories.asp).

- Sadar, M.J. (1999). Turbidimeter instrument comparison: low-level sample measurements. Hach Inc. **Technical Information Series Literature** No. 7063: 1–55.
- Sadar, M.J. (2002). **Turbidity instrumentation** – an over-view of today's available technology. Turbidity and Other Surrogates Workshop, April 30–May 2, 2002, Reno, Nev.
- Suk, N.S., Guo, Q., and Psuty, N.P. (1998). Feasibility of using a Turbidimeter to Quantify Suspended Solids concentration in a Tidal saltmarsh Creek. **Estuarine Coastal and shelf science.**, 46, 383-391.
- Sun, M.J., Sun, X.H., Zhou, J., Song, X.C., Zhang, T., and Zhang, X.J. (2006). Design of Portable Turbidimeter Based on Cygnal Microcomputer. **Journal of Physics: Conference Series** 48 (2006) 1152–1156.
- USEPA (1979). **Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes**. 600/4/79/020, 180.1-1 to 180.1-3.
- USEPA (1993). Determination of Turbidity by Nephelometry (Method 180.1). **Methods for the Determination of Inorganic Substances in Environmental Samples**. Washington, D.C., United States, United States Environmental Protection Authority.
- USEPA (1999). Chapter 3. Turbidity Methods and Measurement. **EPA Guidance Manual Turbidity Provisions**. Washington, D.C., United States, United States Environmental Protection Authority.
- USEPA (2004). Long Term Enhanced Surface Water Treatment Rule : **Turbidity Provisions: Technical Guidance Manual**. EPA 816-12-04-007. Office of Water.
- WHO, World Health Organization (2006). **Guidelines for Drinking-water Quality** : First Addendum to Third Edition: Volume 1 Recommendations, 3<sup>rd</sup> Ed.
- Wijenayake, N.A.J., and Alahakoon, P.M.K. (2005). Development of a Cost-Effective Turbidimeter. **Water Resources Research** in Sri Lanka 2005.
- YSI Environmental. (2001). The YSI Wiped Turbidity Sensor: **An Overview of Turbidity, Nephelometry and an Advancement in In Situ Measurement of Turbidity**
- Zhang, C., Sui, J., Zheng, G., Muirhead, L.D., and Jackson, W.A. (2002). The Colour of Total Suspended Solids: A New Tool for Remote Sensing and Environmental Monitoring of

Surface Water Quality. University of Houston-Clear Lake, **Water Resource Center**, Texas Tech University, 32-33.

Ziegler, A.C. (2002). Issue Related to Use of Turbidity Measurements as a Surrogate for Suspended Sediment. **Turbidity and Other Surrogates Workshop**, Reno, Nev. (URL: <http://water.usgs.gov/osw/techniques/TSS/ZieglerT.pdf>.)

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความขุ่นที่เวลาต่าง ๆ (HACH 2100N)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความขุ่นเฉลี่ย ( $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
MA2	15	709.00 ( $\pm 4.36$ )	707.00	706.00	714.00	2.52
	30	714.33 ( $\pm 4.04$ )	715.00	710.00	718.00	2.33
	45	710.67 ( $\pm 1.15$ )	710.00	710.00	712.00	0.67
	60	704.00 ( $\pm 2.00$ )	704.00	702.00	706.00	1.15
	75	703.33 ( $\pm 1.53$ )	703.00	702.00	705.00	0.88
	90	697.33 ( $\pm 0.58$ )	697.00	697.00	698.00	0.33
	105	696.67 ( $\pm 2.89$ )	695.00	695.00	700.00	1.67
	120	695.33 ( $\pm 4.51$ )	695.00	691.00	700.00	2.60
MA3	15	333.67 ( $\pm 1.53$ )	334.00	332.00	335.00	0.88
	30	331.33 ( $\pm 2.52$ )	331.00	329.00	334.00	1.45
	45	326.00 ( $\pm 2.00$ )	326.00	324.00	328.00	1.15
	60	325.00 ( $\pm 4.00$ )	325.00	321.00	329.00	2.31
	75	323.33 ( $\pm 2.31$ )	322.00	322.00	326.00	1.33
	90	322.67 ( $\pm 3.06$ )	322.00	320.00	326.00	1.76
	105	324.33 ( $\pm 3.79$ )	326.00	320.00	327.00	2.19
	120	323.33 ( $\pm 4.04$ )	321.00	321.00	328.00	2.33
MA4	15	173.33 ( $\pm 1.53$ )	173.00	172.00	175.00	0.88
	30	171.33 ( $\pm 1.15$ )	172.00	170.00	172.00	0.67
	45	171.00 ( $\pm 0.00$ )	171.00	171.00	171.00	0.00
	60	167.67 ( $\pm 1.53$ )	168.00	166.00	169.00	0.88
	75	163.33 ( $\pm 3.21$ )	162.00	161.00	167.00	1.86
	90	164.67 ( $\pm 3.06$ )	164.00	162.00	168.00	1.76
	105	172.67 ( $\pm 2.52$ )	173.00	170.00	175.00	1.45
	120	168.00 ( $\pm 4.36$ )	170.00	163.00	171.00	2.52
MA5	15	67.00 ( $\pm 2.00$ )	67.00	65.00	69.00	1.15
	30	65.47 ( $\pm 0.50$ )	65.40	65.00	66.00	0.29
	45	63.93 ( $\pm 0.90$ )	64.00	63.00	64.80	0.52
	60	62.93 ( $\pm 0.12$ )	63.00	62.80	63.00	0.07
	75	63.67 ( $\pm 0.58$ )	64.00	63.00	64.00	0.33
	90	61.87 ( $\pm 0.51$ )	62.00	61.30	62.30	0.30
	105	62.40 ( $\pm 1.44$ )	62.00	61.20	64.00	0.83
	120	63.10 ( $\pm 0.85$ )	63.00	62.30	64.00	0.49
MA6	15	35.43 ( $\pm 1.50$ )	35.30	34.00	37.00	0.87
	30	34.37 ( $\pm 2.51$ )	34.10	32.00	37.00	1.45
	45	31.90 ( $\pm 0.85$ )	32.00	31.00	32.70	0.49

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (HACH 2100N) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย ( $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
MA6	60	31.33 ( $\pm 0.58$ )	31.00	31.00	32.00	0.33
	75	31.93 ( $\pm 0.12$ )	32.00	31.80	32.00	0.07
	90	32.33 ( $\pm 0.58$ )	32.00	32.00	33.00	0.33
	105	32.43 ( $\pm 0.51$ )	32.30	32.00	33.00	0.30
	120	32.57 ( $\pm 0.38$ )	32.40	32.30	33.00	0.22
ME1	15	19.67 ( $\pm 0.15$ )	19.70	19.50	19.80	0.09
	30	19.37 ( $\pm 0.06$ )	19.40	19.30	19.40	0.03
	45	19.40 ( $\pm 0.10$ )	19.40	19.30	19.50	0.06
	60	19.13 ( $\pm 0.15$ )	19.10	19.00	19.30	0.09
	75	19.27 ( $\pm 0.12$ )	19.20	19.20	19.40	0.07
	90	19.43 ( $\pm 0.06$ )	19.40	19.40	19.50	0.03
	105	19.50 ( $\pm 0.10$ )	19.50	19.40	19.60	0.06
	120	19.50 ( $\pm 0.10$ )	19.50	19.40	19.60	0.06
ME2	15	4.15 ( $\pm 0.02$ )	4.15	4.14	4.17	0.01
	30	4.26 ( $\pm 0.01$ )	4.25	4.25	4.27	0.01
	45	3.96 ( $\pm 0.01$ )	3.96	3.96	3.97	0.00
	60	3.91 ( $\pm 0.02$ )	3.91	3.90	3.93	0.01
	75	3.93 ( $\pm 0.02$ )	3.92	3.91	3.95	0.01
	90	4.03 ( $\pm 0.02$ )	4.03	4.02	4.05	0.01
	105	4.06 ( $\pm 0.02$ )	4.07	4.04	4.08	0.01
	120	3.96 ( $\pm 0.03$ )	3.95	3.94	3.99	0.02
ME3	15	4.35 ( $\pm 0.02$ )	4.35	4.34	4.37	0.01
	30	4.16 ( $\pm 0.01$ )	4.16	4.15	4.16	0.00
	45	4.15 ( $\pm 0.01$ )	4.15	4.14	4.16	0.01
	60	4.40 ( $\pm 0.20$ )	4.40	4.20	4.60	0.12
	75	4.16 ( $\pm 0.02$ )	4.15	4.14	4.18	0.01
	90	4.17 ( $\pm 0.02$ )	4.17	4.16	4.19	0.01
	105	4.14 ( $\pm 0.01$ )	4.14	4.13	4.15	0.01
	120	4.06 ( $\pm 0.02$ )	4.06	4.04	4.07	0.01
ME4	15	1.33 ( $\pm 0.02$ )	1.32	1.32	1.35	0.01
	30	1.22 ( $\pm 0.02$ )	1.23	1.20	1.24	0.01
	45	1.15 ( $\pm 0.02$ )	1.15	1.13	1.16	0.01
	60	1.18 ( $\pm 0.01$ )	1.18	1.17	1.19	0.01
	75	1.25 ( $\pm 0.03$ )	1.25	1.22	1.27	0.01
	90	1.23 ( $\pm 0.03$ )	1.22	1.21	1.26	0.02

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (HACH 2100N) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย (± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
ME4	105	1.23 (±0.03)	1.23	1.20	1.25	0.01
	120	1.13 (±0.03)	1.13	1.10	1.16	0.02
ME5	15	0.83 (±0.02)	0.83	0.81	0.84	0.01
	30	0.75 (±0.01)	0.75	0.75	0.76	0.00
	45	0.65 (±0.01)	0.66	0.64	0.66	0.01
	60	0.63 (±0.01)	0.63	0.62	0.64	0.01
	75	0.66 (±0.03)	0.65	0.64	0.69	0.02
	90	0.55 (±0.03)	0.55	0.52	0.58	0.02
	105	0.56 (±0.03)	0.57	0.53	0.58	0.01
	120	0.55 (±0.02)	0.54	0.54	0.57	0.01
ME6	15	0.45 (±0.01)	0.45	0.44	0.47	0.01
	30	0.42 (±0.01)	0.42	0.41	0.43	0.01
	45	0.39 (±0.02)	0.39	0.37	0.41	0.01
	60	0.36 (±0.03)	0.35	0.34	0.39	0.01
	75	0.36 (±0.01)	0.36	0.35	0.37	0.01
	90	0.37 (±0.02)	0.38	0.35	0.39	0.01
	105	0.33 (±0.01)	0.33	0.32	0.34	0.01
	120	0.33 (±0.02)	0.34	0.31	0.35	0.01
PA1	15	770.00 (±4.58)	771.00	765.00	774.00	2.65
	30	795.33 (±4.51)	795.00	791.00	800.00	2.60
	45	783.33 (±12.06)	782.00	772.00	796.00	6.96
	60	771.33 (±8.62)	773.00	762.00	779.00	4.98
	75	763.67 (±3.79)	762.00	761.00	768.00	2.19
	90	764.00 (±4.58)	763.00	760.00	769.00	2.65
	105	766.00 (±4.58)	765.00	762.00	771.00	2.65
	120	781.67 (±9.45)	785.00	771.00	789.00	5.46
PA2	15	122.33 (±6.03)	123.00	116.00	128.00	3.48
	30	116.33 (±4.04)	117.00	112.00	120.00	2.33
	45	122.67 (±2.89)	121.00	121.00	126.00	1.67
	60	112.33 (±3.51)	112.00	109.00	116.00	2.03
	75	125.00 (±4.58)	126.00	120.00	129.00	2.65
	90	126.00 (±2.00)	126.00	124.00	128.00	1.15
	105	116.33 (±3.06)	117.00	113.00	119.00	1.76
	120	115.33 (±7.57)	112.00	110.00	124.00	4.37
PA3	15	57.60 (±1.51)	57.80	56.00	59.00	0.87



ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความขุ่นที่เวลาต่าง ๆ (HACH 2100N) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความขุ่นเฉลี่ย ( $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
PA3	30	56.20 ( $\pm 0.35$ )	56.00	56.00	56.60	0.20
	45	56.50 ( $\pm 0.50$ )	56.50	56.00	57.00	0.29
	60	52.33 ( $\pm 2.08$ )	53.00	50.00	54.00	1.20
	75	54.10 ( $\pm 4.29$ )	52.30	51.00	59.00	2.48
	90	45.50 ( $\pm 3.97$ )	47.00	41.00	48.50	2.29
	105	43.80 ( $\pm 4.95$ )	42.00	40.00	49.40	2.86
	120	45.77 ( $\pm 3.22$ )	45.00	43.00	49.30	1.86
PA4	15	35.93 ( $\pm 1.01$ )	35.80	35.00	37.00	0.58
	30	35.80 ( $\pm 0.72$ )	36.00	35.00	36.40	0.42
	45	34.80 ( $\pm 0.72$ )	35.00	34.00	35.40	0.42
	60	33.00 ( $\pm 1.73$ )	34.00	31.00	34.00	1.00
	75	32.60 ( $\pm 0.53$ )	32.80	32.00	33.00	0.31
	90	32.63 ( $\pm 0.55$ )	32.90	32.00	33.00	0.32
	105	33.40 ( $\pm 0.53$ )	33.20	33.00	34.00	0.31
	120	33.33 ( $\pm 0.58$ )	33.00	33.00	34.00	0.33
PA5	15	11.50 ( $\pm 0.46$ )	11.40	31.00	37.00	0.31
	30	10.97 ( $\pm 0.06$ )	11.00	11.10	12.00	0.26
	45	10.93 ( $\pm 0.12$ )	11.00	10.90	11.00	0.03
	60	10.13 ( $\pm 0.23$ )	10.00	10.80	11.00	0.07
	75	10.03 ( $\pm 0.06$ )	10.00	10.00	10.40	0.13
	90	10.37 ( $\pm 0.55$ )	10.10	10.00	10.10	0.03
	105	10.70 ( $\pm 0.52$ )	11.00	10.00	11.00	0.32
	120	9.83 ( $\pm 0.16$ )	9.80	10.10	11.00	0.30
PA6	15	5.32 ( $\pm 0.02$ )	5.31	9.69	10.00	0.09
	30	4.78 ( $\pm 0.07$ )	4.80	5.30	5.34	0.01
	45	5.03 ( $\pm 0.06$ )	5.00	4.70	4.83	0.04
	60	4.67 ( $\pm 0.11$ )	4.62	5.00	5.10	0.03
	75	4.63 ( $\pm 0.03$ )	4.63	4.60	4.80	0.06
	90	4.58 ( $\pm 0.06$ )	4.61	4.61	4.66	0.01
	105	4.53 ( $\pm 0.04$ )	4.51	4.52	4.62	0.03
	120	4.31 ( $\pm 0.09$ )	4.33	4.50	4.57	0.02
PE1	15	5.67 ( $\pm 0.01$ )	5.66	4.21	4.39	0.05
	30	5.62 ( $\pm 0.01$ )	5.62	5.66	5.68	0.01
	45	5.52 ( $\pm 0.02$ )	5.52	5.61	5.63	0.01
	60	5.35 ( $\pm 0.02$ )	5.36	5.50	5.54	0.01

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (HACH 2100N) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย ( $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
PE1	75	5.52 ( $\pm 0.02$ )	5.51	5.33	5.36	0.01
	90	5.44 ( $\pm 0.02$ )	5.43	5.50	5.54	0.01
	105	5.22 ( $\pm 0.01$ )	5.23	5.43	5.46	0.01
	120	5.44 ( $\pm 0.29$ )	5.28	5.21	5.23	0.01
PE2	15	1.43 ( $\pm 0.01$ )	1.43	5.26	5.78	0.17
	30	1.28 ( $\pm 0.02$ )	1.29	1.42	1.44	0.01
	45	1.25 ( $\pm 0.01$ )	1.25	1.26	1.29	0.01
	60	1.16 ( $\pm 0.03$ )	1.17	1.25	1.26	0.00
	75	1.14 ( $\pm 0.02$ )	1.14	1.13	1.18	0.02
	90	1.13 ( $\pm 0.02$ )	1.12	1.12	1.16	0.01
	105	1.24 ( $\pm 0.02$ )	1.23	1.11	1.15	0.01
	120	1.14 ( $\pm 0.02$ )	1.13	1.22	1.26	0.01
PE3	15	0.75 ( $\pm 0.01$ )	0.75	1.12	1.16	0.01
	30	0.72 ( $\pm 0.02$ )	0.72	0.75	0.76	0.00
	45	0.65 ( $\pm 0.02$ )	0.65	0.71	0.74	0.01
	60	0.62 ( $\pm 0.01$ )	0.62	0.64	0.67	0.01
	75	0.63 ( $\pm 0.02$ )	0.64	0.62	0.63	0.00
	90	0.64 ( $\pm 0.02$ )	0.65	0.61	0.64	0.01
	105	0.63 ( $\pm 0.01$ )	0.63	0.62	0.65	0.01
	120	0.63 ( $\pm 0.01$ )	0.63	0.63	0.64	0.00
PE4	15	0.48 ( $\pm 0.01$ )	0.48	0.63	0.64	0.00
	30	0.47 ( $\pm 0.01$ )	0.47	0.47	0.48	0.00
	45	0.47 ( $\pm 0.01$ )	0.48	0.46	0.48	0.01
	60	0.50 ( $\pm 0.01$ )	0.50	0.46	0.48	0.01
	75	0.49 ( $\pm 0.01$ )	0.49	0.49	0.51	0.01
	90	0.47 ( $\pm 0.01$ )	0.47	0.48	0.49	0.00
	105	0.44 ( $\pm 0.01$ )	0.44	0.46	0.49	0.01
	120	0.43 ( $\pm 0.01$ )	0.44	0.43	0.45	0.00
PE5	15	0.59 ( $\pm 0.02$ )	0.59	0.42	0.44	0.01
	30	0.36 ( $\pm 0.01$ )	0.36	0.57	0.61	0.01
	45	0.37 ( $\pm 0.01$ )	0.37	0.35	0.37	0.00
	60	0.36 ( $\pm 0.00$ )	0.36	0.36	0.37	0.00
	75	0.40 ( $\pm 0.02$ )	0.39	0.36	0.37	0.00
	90	0.33 ( $\pm 0.01$ )	0.33	0.38	0.42	0.01
	105	0.32 ( $\pm 0.01$ )	0.32	0.32	0.34	0.01

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (HACH 2100N) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย (± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
PE5	120	0.32 (±0.00)	0.32	0.31	0.32	0.00
PE6	15	0.51 (±0.01)	0.51	0.32	0.32	0.00
	30	0.49 (±0.00)	0.49	0.50	0.51	0.00
	45	0.51 (±0.01)	0.51	0.49	0.50	0.00
	60	0.49 (±0.01)	0.49	0.50	0.52	0.00
	75	0.51 (±0.01)	0.51	0.48	0.50	0.01
	90	0.55 (±0.02)	0.54	0.50	0.53	0.01
	105	0.53 (±0.01)	0.53	0.54	0.57	0.01
	120	0.48 (±0.01)	0.47	0.52	0.54	0.01
CA1	15	514.67 (±1.53)	515.00	0.47	0.49	0.01
	30	516.33 (±0.58)	516.00	513.00	516.00	0.88
	45	517.00 (±0.00)	517.00	516.00	517.00	0.33
	60	517.33 (±0.58)	517.00	517.00	517.00	0.00
	75	516.33 (±0.58)	516.00	517.00	518.00	0.33
	90	519.67 (±1.15)	519.00	516.00	517.00	0.33
	105	520.33 (±0.58)	520.00	519.00	521.00	0.67
	120	521.33 (±1.53)	521.00	520.00	521.00	0.33
CA2	15	77.77 (±1.76)	77.60	520.00	523.00	0.88
	30	80.37 (±0.55)	80.10	76.10	79.60	1.01
	45	79.27 (±0.46)	79.00	80.00	81.00	0.32
	60	78.67 (±0.58)	79.00	79.00	79.80	0.27
	75	78.67 (±0.58)	79.00	78.00	79.00	0.33
	90	78.80 (±0.70)	79.10	78.00	79.00	0.33
	105	78.13 (±1.21)	78.00	78.00	79.30	0.40
	120	75.47 (±1.75)	75.00	77.00	79.40	0.70
CA3	15	36.30 (±1.47)	36.00	74.00	77.40	1.01
	30	37.33 (±0.58)	37.00	35.00	37.90	0.85
	45	35.40 (±1.22)	36.00	37.00	38.00	0.33
	60	36.00 (±1.00)	36.00	34.00	36.20	0.70
	75	36.73 (±0.64)	37.00	35.00	37.00	0.58
	90	36.87 (±2.01)	36.60	36.00	37.20	0.37
	105	35.27 (±1.10)	35.80	35.00	39.00	1.16
	120	35.63 (±2.10)	34.90	34.00	36.00	0.64
CA4	15	21.87 (±1.03)	21.60	34.00	38.00	1.21
	30	22.77 (±1.37)	23.00	21.00	23.00	0.59

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความขุ่นที่เวลาต่าง ๆ (HACH 2100N) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความขุ่นเฉลี่ย ( $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
CA4	45	21.27 ( $\pm 0.64$ )	21.00	21.30	24.00	0.79
	60	17.80 ( $\pm 1.71$ )	18.00	20.80	22.00	0.37
	75	18.47 ( $\pm 1.29$ )	19.00	16.00	19.40	0.99
	90	17.43 ( $\pm 1.69$ )	17.00	17.00	19.40	0.74
	105	18.27 ( $\pm 1.10$ )	18.80	16.00	19.30	0.98
	120	17.57 ( $\pm 1.40$ )	18.00	17.00	19.00	0.64
CA5	15	8.70 ( $\pm 0.10$ )	8.70	16.00	18.70	0.81
	30	8.20 ( $\pm 0.10$ )	8.20	8.60	8.80	0.06
	45	8.34 ( $\pm 0.05$ )	8.32	8.10	8.30	0.06
	60	8.12 ( $\pm 0.07$ )	8.10	8.30	8.40	0.03
	75	8.04 ( $\pm 0.06$ )	8.01	8.06	8.20	0.04
	90	8.04 ( $\pm 0.05$ )	8.02	8.00	8.10	0.03
	105	7.93 ( $\pm 0.01$ )	7.92	8.00	8.10	0.03
	120	7.72 ( $\pm 0.02$ )	7.72	7.92	7.94	0.01
CA6	15	5.38 ( $\pm 0.06$ )	5.36	7.70	7.74	0.01
	30	4.63 ( $\pm 0.03$ )	4.62	5.34	5.45	0.03
	45	4.46 ( $\pm 0.03$ )	4.46	4.61	4.67	0.02
	60	4.48 ( $\pm 0.01$ )	4.48	4.43	4.49	0.02
	75	4.50 ( $\pm 0.01$ )	4.50	4.48	4.49	0.00
	90	4.43 ( $\pm 0.01$ )	4.43	4.49	4.51	0.01
	105	4.42 ( $\pm 0.02$ )	4.42	4.42	4.44	0.01
	120	4.38 ( $\pm 0.02$ )	4.38	4.40	4.44	0.01
CE1	15	8.56 ( $\pm 0.03$ )	8.57	4.36	4.40	0.01
	30	8.45 ( $\pm 0.02$ )	8.46	8.53	8.58	0.02
	45	8.44 ( $\pm 0.03$ )	8.43	8.42	8.46	0.01
	60	8.24 ( $\pm 0.02$ )	8.23	8.42	8.47	0.02
	75	8.37 ( $\pm 0.02$ )	8.36	8.22	8.26	0.01
	90	8.25 ( $\pm 0.03$ )	8.24	8.35	8.39	0.01
	105	8.19 ( $\pm 0.05$ )	8.21	8.23	8.28	0.02
	120	8.20 ( $\pm 0.09$ )	8.24	8.13	8.23	0.03
CE2	15	2.04 ( $\pm 0.03$ )	2.04	8.10	8.27	0.05
	30	2.05 ( $\pm 0.01$ )	2.05	2.01	2.06	0.01
	45	1.96 ( $\pm 0.02$ )	1.95	2.04	2.05	0.00
	60	2.03 ( $\pm 0.01$ )	2.03	1.95	1.98	0.01
	75	1.94 ( $\pm 0.03$ )	1.93	2.03	2.04	0.00

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (HACH 2100N) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย ( $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
CE2	90	1.95 ( $\pm 0.03$ )	1.95	1.91	1.97	0.02
	105	1.97 ( $\pm 0.02$ )	1.97	1.92	1.97	0.01
	120	1.96 ( $\pm 0.01$ )	1.96	1.95	1.98	0.01
CE3	15	1.14 ( $\pm 0.02$ )	1.14	1.95	1.97	0.01
	30	1.11 ( $\pm 0.01$ )	1.12	1.12	1.16	0.01
	45	1.06 ( $\pm 0.02$ )	1.06	1.10	1.12	0.01
	60	1.08 ( $\pm 0.02$ )	1.09	1.05	1.08	0.01
	75	1.04 ( $\pm 0.02$ )	1.04	1.06	1.10	0.01
	90	1.02 ( $\pm 0.01$ )	1.01	1.03	1.06	0.01
	105	1.03 ( $\pm 0.01$ )	1.03	1.01	1.03	0.01
	120	1.04 ( $\pm 0.03$ )	1.05	1.02	1.03	0.00
CE4	15	0.62 ( $\pm 0.05$ )	0.60	1.01	1.06	0.02
	30	0.66 ( $\pm 0.03$ )	0.65	0.59	0.68	0.03
	45	0.66 ( $\pm 0.02$ )	0.67	0.64	0.69	0.02
	60	0.63 ( $\pm 0.01$ )	0.63	0.64	0.67	0.01
	75	0.65 ( $\pm 0.03$ )	0.65	0.62	0.64	0.01
	90	0.61 ( $\pm 0.01$ )	0.61	0.62	0.68	0.02
	105	0.54 ( $\pm 0.04$ )	0.53	0.61	0.62	0.00
	120	0.55 ( $\pm 0.03$ )	0.56	0.51	0.58	0.02
CE5	15	0.47 ( $\pm 0.02$ )	8.57	0.51	0.58	0.02
	30	0.53 ( $\pm 0.03$ )	8.46	0.46	0.49	0.01
	45	0.46 ( $\pm 0.03$ )	8.43	0.51	0.56	0.02
	60	0.44 ( $\pm 0.02$ )	8.23	0.43	0.50	0.02
	75	0.44 ( $\pm 0.04$ )	8.36	0.42	0.46	0.01
	90	0.45 ( $\pm 0.03$ )	8.24	0.41	0.49	0.02
	105	0.52 ( $\pm 0.01$ )	8.21	0.42	0.48	0.02
	120	0.48 ( $\pm 0.01$ )	8.24	0.51	0.53	0.01
CE6	15	0.34 ( $\pm 0.02$ )	2.04	0.48	0.49	0.00
	30	0.36 ( $\pm 0.02$ )	2.05	0.31	0.36	0.01
	45	0.36 ( $\pm 0.02$ )	1.95	0.33	0.38	0.01
	60	0.34 ( $\pm 0.04$ )	2.03	0.35	0.38	0.01
	75	0.32 ( $\pm 0.01$ )	1.93	0.31	0.38	0.02
	90	0.31 ( $\pm 0.01$ )	1.95	0.31	0.33	0.01
	105	0.34 ( $\pm 0.03$ )	1.97	0.31	0.32	0.00
	120	0.33 ( $\pm 0.04$ )	1.96	0.31	0.37	0.02

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (RATIO/XR)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย ( $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
ME1	15	22.60 ( $\pm 0.21$ )	22.70	22.36	22.75	0.12
	30	22.41 ( $\pm 0.03$ )	22.40	22.39	22.46	0.02
	45	22.75 ( $\pm 0.05$ )	22.75	22.70	22.81	0.03
	60	22.89 ( $\pm 0.06$ )	22.90	22.83	22.96	0.04
	75	21.56 ( $\pm 0.12$ )	21.54	21.46	21.70	0.07
	90	22.57 ( $\pm 0.06$ )	22.59	22.50	22.62	0.04
	105	22.78 ( $\pm 0.05$ )	22.80	22.72	22.83	0.03
	120	22.51 ( $\pm 0.15$ )	22.60	22.34	22.61	0.09
ME2	15	5.15 ( $\pm 0.03$ )	5.14	5.13	5.19	0.01
	30	5.13 ( $\pm 0.01$ )	5.13	5.12	5.15	0.00
	45	4.89 ( $\pm 0.08$ )	4.87	4.83	4.99	0.04
	60	5.16 ( $\pm 0.05$ )	5.16	5.11	5.21	0.02
	75	5.06 ( $\pm 0.06$ )	5.06	5.00	5.13	0.03
	90	5.20 ( $\pm 0.06$ )	5.22	5.13	5.26	0.03
	105	5.06 ( $\pm 0.05$ )	5.06	5.01	5.11	0.02
	120	4.76 ( $\pm 0.04$ )	4.76	4.73	4.81	0.02
ME3	15	4.54 ( $\pm 0.03$ )	4.55	4.51	4.56	0.01
	30	4.52 ( $\pm 0.01$ )	4.52	4.51	4.53	0.00
	45	4.67 ( $\pm 0.07$ )	4.65	4.61	4.76	0.04
	60	5.07 ( $\pm 0.06$ )	5.09	5.01	5.13	0.03
	75	4.61 ( $\pm 0.02$ )	4.62	4.59	4.63	0.01
	90	4.77 ( $\pm 0.03$ )	4.79	4.74	4.80	0.01
	105	4.66 ( $\pm 0.05$ )	4.66	4.61	4.71	0.02
	120	4.64 ( $\pm 0.06$ )	4.62	4.60	4.72	0.03
ME4	15	1.51 ( $\pm 0.01$ )	1.52	1.50	1.53	0.00
	30	1.44 ( $\pm 0.02$ )	1.43	1.43	1.48	0.01
	45	1.47 ( $\pm 0.03$ )	1.47	1.45	1.51	0.01
	60	1.54 ( $\pm 0.03$ )	1.53	1.52	1.59	0.02
	75	1.45 ( $\pm 0.04$ )	1.44	1.42	1.50	0.02
	90	1.44 ( $\pm 0.03$ )	1.43	1.42	1.48	0.01
	105	1.41 ( $\pm 0.02$ )	1.41	1.39	1.43	0.01
	120	1.56 ( $\pm 0.04$ )	1.56	1.52	1.60	0.02

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชื้นที่เวลาต่าง ๆ (RATIO/XR) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชื้นเฉลี่ย ( $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
ME5	15	1.16 ( $\pm 0.03$ )	1.18	1.12	1.19	0.02
	30	0.84 ( $\pm 0.01$ )	0.84	0.83	0.86	0.00
	45	0.81 ( $\pm 0.02$ )	0.83	0.79	0.84	0.01
	60	0.74 ( $\pm 0.03$ )	0.76	0.71	0.77	0.01
	75	0.74 ( $\pm 0.05$ )	0.73	0.70	0.80	0.02
	90	0.75 ( $\pm 0.04$ )	0.73	0.72	0.80	0.02
	105	0.84 ( $\pm 0.03$ )	0.83	0.82	0.89	0.02
	120	0.79 ( $\pm 0.04$ )	0.80	0.74	0.83	0.02
ME6	15	0.96 ( $\pm 0.01$ )	0.97	0.94	0.98	0.01
	30	1.02 ( $\pm 0.03$ )	1.01	1.00	1.06	0.01
	45	1.06 ( $\pm 0.03$ )	1.05	1.03	1.10	0.02
	60	1.26 ( $\pm 0.03$ )	1.26	1.23	1.31	0.02
	75	1.08 ( $\pm 0.04$ )	1.07	1.05	1.13	0.02
	90	1.18 ( $\pm 0.03$ )	1.17	1.17	1.23	0.02
	105	1.10 ( $\pm 0.08$ )	1.14	1.02	1.17	0.04
	120	0.91 ( $\pm 0.07$ )	0.94	0.83	0.98	0.04
MA2	15	744.33 ( $\pm 1.52$ )	744.00	743.00	746.00	0.88
	30	752.67 ( $\pm 3.05$ )	752.00	750.00	756.00	1.76
	45	734.00 ( $\pm 2.64$ )	735.00	731.00	736.00	1.52
	60	734.00 ( $\pm 2.64$ )	735.00	731.00	736.00	1.52
	75	740.67 ( $\pm 2.08$ )	740.00	739.00	743.00	1.20
	90	727.00 ( $\pm 5.29$ )	729.00	721.00	731.00	3.05
	105	736.33 ( $\pm 5.50$ )	736.00	731.00	742.00	3.17
	120	722.33 ( $\pm 5.50$ )	725.00	716.00	726.00	3.17
MA3	15	330.66 ( $\pm 2.51$ )	331.00	328.00	333.00	1.45
	30	333.00 ( $\pm 1.73$ )	332.00	332.00	335.00	1.00
	45	331.66 ( $\pm 6.65$ )	330.00	326.00	339.00	3.84
	60	328.66 ( $\pm 5.50$ )	326.00	325.00	335.00	3.17
	75	325.00 ( $\pm 3.60$ )	326.00	321.00	328.00	2.08
	90	329.33 ( $\pm 4.16$ )	328.00	326.00	334.00	2.40
	105	329.00 ( $\pm 4.35$ )	327.00	326.00	334.00	2.51
	120	325.66 ( $\pm 2.88$ )	324.00	324.00	329.00	1.66

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชื้นที่เวลาต่าง ๆ (RATIO/XR) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชื้นเฉลี่ย ( $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
MA4	15	156.46 ( $\pm 0.90$ )	156.40	155.60	157.40	0.52
	30	157.53 ( $\pm 2.85$ )	158.60	154.30	159.70	1.64
	45	155.66 ( $\pm 2.91$ )	157.30	152.30	157.40	1.68
	60	159.56 ( $\pm 1.55$ )	159.10	158.30	161.30	0.89
	75	153.90 ( $\pm 2.40$ )	154.10	151.40	156.20	1.38
	90	155.66 ( $\pm 3.17$ )	154.30	153.40	159.30	1.83
	105	158.36 ( $\pm 5.28$ )	157.30	153.70	164.10	3.04
	120	155.43 ( $\pm 4.04$ )	153.30	152.90	160.10	2.33
MA5	15	78.30 ( $\pm 0.91$ )	78.50	77.30	79.10	0.52
	30	66.06 ( $\pm 0.70$ )	66.66.20	65.30	66.70	0.40
	45	67.76 ( $\pm 1.25$ )	67.20	66.90	69.20	0.72
	60	68.21 ( $\pm 3.12$ )	68.20	65.10	71.35	1.80
	75	70.26 ( $\pm 2.35$ )	70.30	67.90	72.60	1.35
	90	66.53 ( $\pm 2.40$ )	65.40	64.90	69.30	1.39
	105	63.20 ( $\pm 2.32$ )	62.80	61.10	65.70	1.34
	120	68.73 ( $\pm 2.82$ )	69.20	65.70	71.30	1.63
MA6	15	34.66 ( $\pm 0.40$ )	34.60	34.30	35.10	0.23
	30	33.66 ( $\pm 0.37$ )	33.50	33.40	34.10	0.21
	45	33.46 ( $\pm 1.11$ )	33.90	32.20	34.30	0.64
	60	35.46 ( $\pm 1.06$ )	35.70	34.30	36.40	0.61
	75	36.23 ( $\pm 2.84$ )	34.90	34.30	39.50	1.64
	90	35.24 ( $\pm 0.90$ )	35.34	34.30	36.10	0.52
	105	36.36 ( $\pm 2.66$ )	35.30	34.40	39.40	1.53
	120	33.86 ( $\pm 2.23$ )	34.90	31.30	35.40	1.29
PE1	15	6.44 ( $\pm 0.02$ )	6.44	6.43	6.46	0.01
	30	6.73 ( $\pm 0.02$ )	6.73	6.71	6.74	0.01
	45	6.53 ( $\pm 0.02$ )	6.53	6.51	6.55	0.01
	60	6.47 ( $\pm 0.03$ )	6.47	6.44	6.49	0.01
	75	6.86 ( $\pm 0.01$ )	6.86	6.85	6.87	0.01
	90	7.17 ( $\pm 0.01$ )	7.17	7.16	7.17	0.00
	105	6.27 ( $\pm 0.02$ )	6.28	6.25	6.29	0.01
	120	6.26 ( $\pm 0.06$ )	6.24	6.21	6.32	0.03



ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (RATIO/XR) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย (± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
PE2	15	1.51 (±0.01)	1.51	1.50	1.53	0.01
	30	1.60 (±0.01)	1.59	1.59	1.61	0.01
	45	1.62 (±0.02)	1.62	1.60	1.63	0.01
	60	1.38 (±0.03)	1.37	1.35	1.40	0.01
	75	1.58 (±0.02)	1.58	1.55	1.60	0.01
	90	1.45 (±0.03)	1.46	1.42	1.47	0.02
	105	1.48 (±0.06)	1.51	1.41	1.53	0.04
	120	1.58 (±0.03)	1.59	1.54	1.60	0.02
PE3	15	1.04 (±0.03)	1.05	1.01	1.06	0.02
	30	0.96 (±0.01)	0.96	0.94	0.97	0.01
	45	0.97 (±0.05)	0.97	0.92	1.02	0.03
	60	1.02 (±0.03)	1.03	0.99	1.05	0.02
	75	0.94 (±0.03)	0.95	0.91	0.96	0.01
	90	0.94 (±0.03)	0.93	0.92	0.97	0.02
	105	0.95 (±0.03)	0.94	0.93	0.98	0.02
	120	0.96 (±0.03)	0.96	0.93	0.99	0.02
PE4	15	0.81 (±0.01)	0.81	0.80	0.82	0.00
	30	0.77 (±0.01)	0.77	0.75	0.78	0.01
	45	0.77 (±0.03)	0.76	0.75	0.80	0.02
	60	0.84 (±0.02)	0.84	0.82	0.86	0.01
	75	0.78 (±0.02)	0.77	0.76	0.80	0.01
	90	0.76 (±0.04)	0.75	0.72	0.79	0.02
	105	0.74 (±0.03)	0.73	0.71	0.76	0.01
	120	0.84 (±0.03)	0.84	0.81	0.86	0.01
PE5	15	0.64 (±0.02)	0.64	0.62	0.65	0.01
	30	0.62 (±0.02)	0.62	0.60	0.63	0.01
	45	0.65 (±0.02)	0.65	0.64	0.67	0.01
	60	0.65 (±0.04)	0.64	0.61	0.69	0.02
	75	0.65 (±0.04)	0.64	0.62	0.69	0.02
	90	0.53 (±0.03)	0.52	0.51	0.57	0.02
	105	0.56 (±0.04)	0.58	0.51	0.59	0.03
	120	0.84 (±0.01)	0.84	0.83	0.86	0.01

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (RATIO/XR) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย (± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
PE6	15	0.38 (±0.01)	0.38	0.36	0.39	0.01
	30	0.34 (±0.02)	0.34	0.32	0.35	0.01
	45	0.25 (±0.03)	0.25	0.23	0.28	0.02
	60	0.27 (±0.03)	0.26	0.25	0.30	0.02
	75	0.25 (±0.05)	0.25	0.21	0.30	0.03
	90	0.26 (±0.04)	0.26	0.23	0.30	0.02
	105	0.26 (±0.03)	0.25	0.24	0.29	0.01
	120	0.31 (±0.03)	0.30	0.28	0.34	0.02
PA1	15	847.00 (±8.54)	846.00	839.00	856.00	4.93
	30	865.67 (±10.60)	864.00	856.00	877.00	6.12
	45	965.00 (±4.58)	964.00	961.00	970.00	2.65
	60	974.67 (±8.02)	974.00	967.00	983.00	4.63
	75	1048.00 (±6.25)	1046.00	1043.00	1055.00	3.61
	90	1048.33 (±6.03)	1049.00	1042.00	1054.00	3.48
	105	1046.00 (±5.00)	1046.00	1041.00	1051.00	2.89
	120	1022.00 (±3.61)	1021.00	1019.00	1026.00	2.08
PA2	15	113.97 (±1.95)	113.10	112.60	116.20	1.13
	30	102.65 (±1.05)	102.64	101.60	103.70	0.61
	45	99.73 (±1.45)	99.70	98.30	101.20	0.84
	60	116.54 (±2.62)	116.20	114.10	119.31	1.51
	75	113.03 (±7.38)	110.70	107.10	121.30	4.26
	90	67.73 (±1.87)	68.50	65.60	69.10	1.08
	105	54.77 (±4.08)	53.60	51.40	59.30	2.35
	120	42.13 (±3.23)	41.60	39.20	45.60	1.87
PA3	15	64.63 (±1.25)	64.60	63.40	65.90	0.72
	30	58.67 (±0.55)	58.40	58.30	59.30	0.32
	45	55.70 (±3.50)	55.50	52.30	59.30	2.02
	60	56.47 (±2.21)	55.90	54.60	58.90	1.27
	75	57.80 (±0.35)	57.60	57.60	58.20	0.20
	90	50.88 (±0.63)	50.60	50.43	51.60	0.36
	105	56.40 (±3.84)	57.60	52.10	59.50	2.22
	120	45.33 (±2.79)	45.90	42.30	47.80	1.61

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (RATIO/XR) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย (± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
PA4	15	37.80 (±2.19)	38.30	35.40	39.70	1.27
	30	37.50 (±1.90)	37.50	35.60	39.40	1.10
	45	35.40 (±1.41)	35.20	34.10	36.90	0.81
	60	32.83 (±1.86)	32.30	31.30	34.90	1.07
	75	33.32 (±0.37)	33.46	32.90	33.60	0.21
	90	36.33 (±2.68)	35.60	34.10	39.30	1.55
	105	36.10 (±1.67)	36.40	34.30	37.60	0.96
	120	35.33 (±1.02)	34.90	34.60	36.50	0.59
PA5	15	12.64 (±0.44)	12.54	12.25	13.12	0.26
	30	12.02 (±0.57)	11.69	11.69	12.67	0.33
	45	12.40 (±0.97)	11.98	11.71	13.51	0.56
	60	13.29 (±1.23)	13.42	12.00	14.45	0.71
	75	13.17 (±0.65)	13.45	12.42	13.63	0.38
	90	12.15 (±1.33)	11.68	11.12	13.65	0.77
	105	12.01 (±1.58)	12.31	10.30	13.42	0.91
	120	11.95 (±0.79)	12.10	11.10	12.65	0.45
PA6	15	5.57 (±0.10)	5.55	5.48	5.68	0.06
	30	5.56 (±0.19)	5.65	5.34	5.69	0.11
	45	4.90 (±0.08)	4.93	4.81	4.97	0.05
	60	4.79 (±0.09)	4.76	4.72	4.89	0.05
	75	4.72 (±0.04)	4.72	4.69	4.76	0.02
	90	4.62 (±0.09)	4.66	4.52	4.69	0.05
	105	5.41 (±0.09)	5.41	5.32	5.49	0.05
	120	5.38 (±0.16)	5.32	5.27	5.56	0.09
CE1	15	8.86 (±0.01)	8.86	8.85	8.87	0.01
	30	9.03 (±0.03)	9.03	9.00	9.05	0.01
	45	9.16 (±0.05)	9.17	9.11	9.20	0.03
	60	8.91 (±0.06)	8.92	8.85	8.96	0.03
	75	9.60 (±0.07)	9.61	9.53	9.67	0.04
	90	9.18 (±0.06)	9.16	9.13	9.24	0.03
	105	9.08 (±0.06)	9.09	9.01	9.13	0.04
	120	8.86 (±0.05)	8.86	8.81	8.91	0.03

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (RATIO/XR) (ต่อ)

ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย ( $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
CE2	15	2.43 ( $\pm 0.03$ )	2.43	2.41	2.46	0.01
	30	2.76 ( $\pm 0.03$ )	2.76	2.73	2.78	0.01
	45	2.58 ( $\pm 0.07$ )	2.59	2.50	2.64	0.04
	60	2.50 ( $\pm 0.04$ )	2.51	2.46	2.54	0.02
	75	2.32 ( $\pm 0.10$ )	2.37	2.20	2.38	0.06
	90	3.24 ( $\pm 0.08$ )	3.24	3.16	3.31	0.04
	105	2.47 ( $\pm 0.07$ )	2.46	2.41	2.54	0.04
	120	2.49 ( $\pm 0.09$ )	2.46	2.43	2.59	0.05
CE3	15	1.26 ( $\pm 0.03$ )	1.26	1.24	1.29	0.01
	30	1.26 ( $\pm 0.02$ )	1.26	1.24	1.27	0.01
	45	1.34 ( $\pm 0.04$ )	1.35	1.29	1.37	0.02
	60	1.35 ( $\pm 0.03$ )	1.34	1.32	1.38	0.02
	75	1.31 ( $\pm 0.03$ )	1.31	1.28	1.34	0.02
	90	1.26 ( $\pm 0.05$ )	1.26	1.21	1.30	0.03
	105	1.27 ( $\pm 0.04$ )	1.26	1.23	1.31	0.02
	120	1.28 ( $\pm 0.04$ )	1.29	1.24	1.31	0.02
CE4	15	0.85 ( $\pm 0.03$ )	0.84	0.83	0.88	0.02
	30	0.76 ( $\pm 0.03$ )	0.76	0.74	0.79	0.01
	45	0.81 ( $\pm 0.09$ )	0.82	0.72	0.89	0.05
	60	0.82 ( $\pm 0.06$ )	0.81	0.76	0.88	0.03
	75	1.08 ( $\pm 0.05$ )	1.09	1.02	1.12	0.03
	90	1.18 ( $\pm 0.05$ )	1.17	1.14	1.23	0.03
	105	0.87 ( $\pm 0.06$ )	0.88	0.81	0.93	0.03
	120	0.86 ( $\pm 0.06$ )	0.86	0.81	0.92	0.03
CE5	15	1.15 ( $\pm 0.05$ )	1.13	1.11	1.21	0.03
	30	0.85 ( $\pm 0.02$ )	0.85	0.83	0.86	0.01
	45	0.91 ( $\pm 0.09$ )	0.93	0.81	0.99	0.05
	60	0.77 ( $\pm 0.06$ )	0.78	0.71	0.83	0.03
	75	0.81 ( $\pm 0.06$ )	0.84	0.74	0.86	0.04
	90	0.76 ( $\pm 0.05$ )	0.75	0.72	0.81	0.03
	105	0.89 ( $\pm 0.06$ )	0.91	0.82	0.93	0.03
	120	0.74 ( $\pm 0.04$ )	0.73	0.70	0.78	0.02

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (RATIO/XR) (ต่อ)

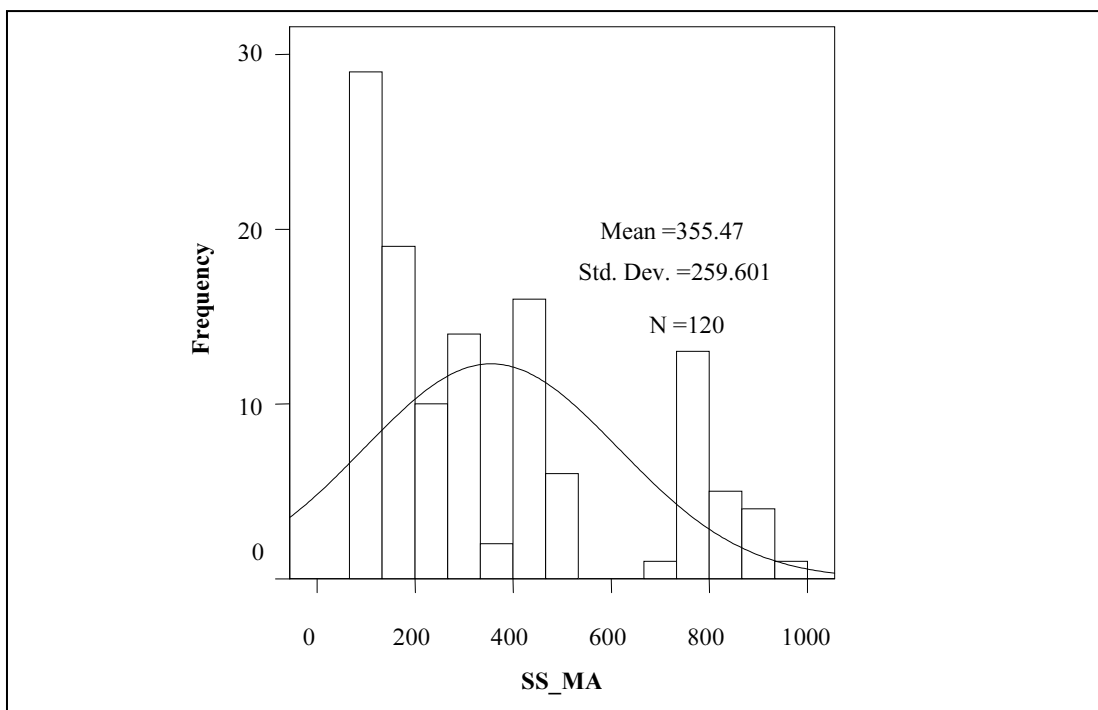
ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย (± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
CE6	15	0.63 (±0.03)	0.63	0.61	0.66	0.01
	30	0.53 (±0.02)	0.53	0.51	0.54	0.01
	45	0.59 (±0.07)	0.56	0.55	0.67	0.04
	60	0.65 (±0.09)	0.69	0.55	0.71	0.05
	75	0.51 (±0.07)	0.49	0.46	0.59	0.04
	90	0.55 (±0.06)	0.53	0.50	0.61	0.03
	105	0.50 (±0.05)	0.48	0.46	0.56	0.03
	120	0.56 (±0.08)	0.57	0.48	0.63	0.04
CA1	15	550.33 (±0.58)	550.00	550.00	551.00	0.33
	30	551.00 (±0.00)	551.00	551.00	551.00	0.00
	45	551.33 (±0.58)	551.00	551.00	552.00	0.33
	60	550.67 (±0.58)	551.00	550.00	551.00	0.33
	75	551.33 (±0.58)	551.00	551.00	552.00	0.33
	90	551.33 (±0.58)	551.00	551.00	552.00	0.33
	105	550.67 (±0.58)	551.00	550.00	551.00	0.33
	120	550.00 (±0.00)	550.00	550.00	550.00	0.00
CA2	15	76.68 (±0.93)	77.12	75.61	77.30	0.54
	30	81.70 (±0.53)	81.91	81.10	82.10	0.31
	45	83.22 (±0.97)	82.90	82.45	84.31	0.56
	60	76.00 (±1.74)	75.86	74.33	77.80	1.00
	75	75.65 (±1.52)	75.36	74.30	77.30	0.88
	90	75.57 (±0.66)	75.61	74.90	76.21	0.38
	105	79.24 (±0.90)	79.30	78.31	80.11	0.52
	120	75.01 (±1.12)	74.38	74.35	76.30	0.65
CA3	15	36.45 (±1.35)	36.45	35.11	37.80	0.78
	30	38.31 (±1.14)	38.40	37.13	39.40	0.66
	45	43.03 (±2.00)	42.30	41.50	45.30	1.16
	60	40.02 (±2.06)	39.45	38.30	42.30	1.19
	75	38.13 (±1.65)	38.60	36.30	39.50	0.95
	90	38.37 (±0.71)	38.50	37.60	39.00	0.41
	105	35.83 (±3.36)	35.60	32.60	39.30	1.94
	120	38.70 (±0.80)	38.70	37.90	39.50	0.46

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของค่าความชุ่มที่เวลาต่าง ๆ (RATIO/XR) (ต่อ)

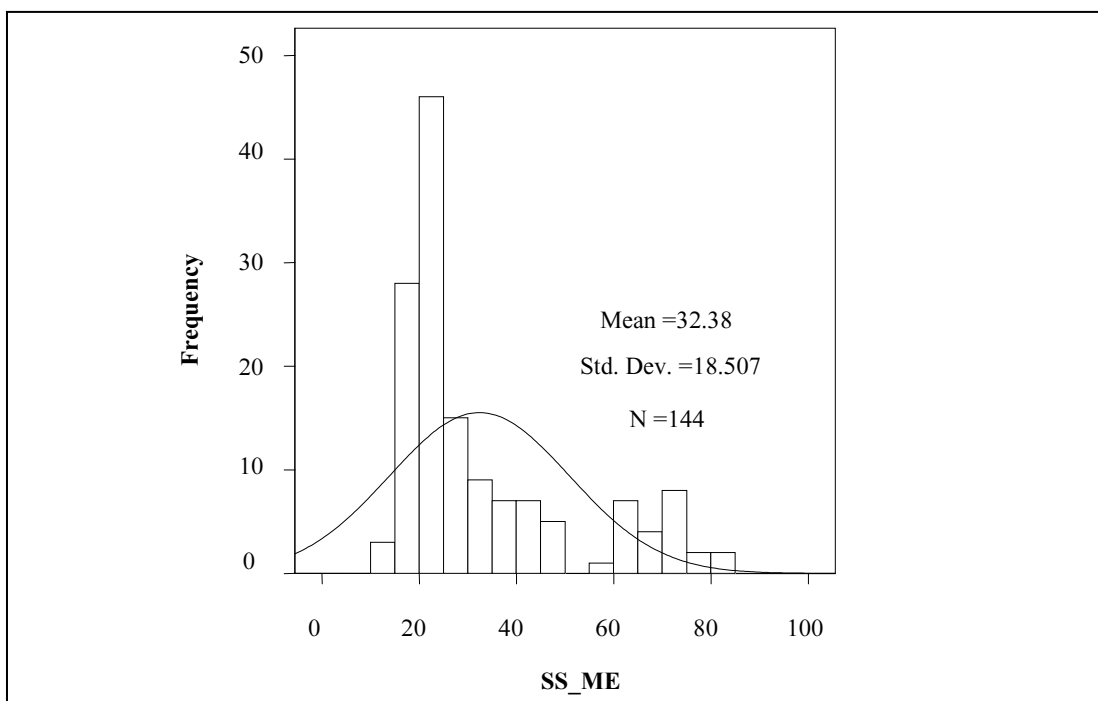
ตัวแปร	เวลา (วินาที)	ค่าความชุ่มเฉลี่ย (± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่ามากที่สุด	ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน
CA4	15	20.83 (±0.67)	20.50	20.40	21.60	0.38
	30	21.30 (±0.70)	21.60	20.50	21.80	0.40
	45	22.37 (±1.00)	22.30	21.40	23.40	0.58
	60	21.80 (±1.10)	21.80	20.70	22.90	0.64
	75	20.87 (±0.45)	20.90	20.40	21.30	0.26
	90	19.87 (±0.55)	19.60	19.50	20.50	0.32
	105	21.37 (±1.17)	21.60	20.10	22.40	0.67
	120	20.07 (±1.17)	19.60	19.20	21.40	0.68
CA5	15	8.75 (±0.12)	8.72	8.65	8.88	0.07
	30	8.88 (±0.06)	8.90	8.81	8.92	0.03
	45	8.35 (±0.11)	8.36	8.24	8.46	0.06
	60	8.82 (±0.09)	8.83	8.73	8.91	0.05
	75	8.26 (±0.14)	8.23	8.13	8.41	0.08
	90	8.31 (±0.18)	8.36	8.11	8.45	0.10
	105	8.75 (±0.13)	8.70	8.65	8.89	0.07
	120	8.48 (±0.23)	8.54	8.23	8.67	0.13
CA6	15	5.37 (±0.04)	5.36	5.34	5.42	0.02
	30	5.09 (±0.08)	5.10	5.00	5.16	0.05
	45	4.74 (±0.10)	4.73	4.65	4.85	0.06
	60	5.40 (±0.03)	5.41	5.37	5.43	0.02
	75	4.65 (±0.20)	4.65	4.45	4.85	0.12
	90	5.36 (±0.05)	5.36	5.31	5.41	0.03
	105	5.40 (±0.12)	5.36	5.30	5.54	0.07
	120	5.24 (±0.11)	5.24	5.13	5.34	0.06

ภาคผนวก ข

ลักษณะการแจกแจงข้อมูล

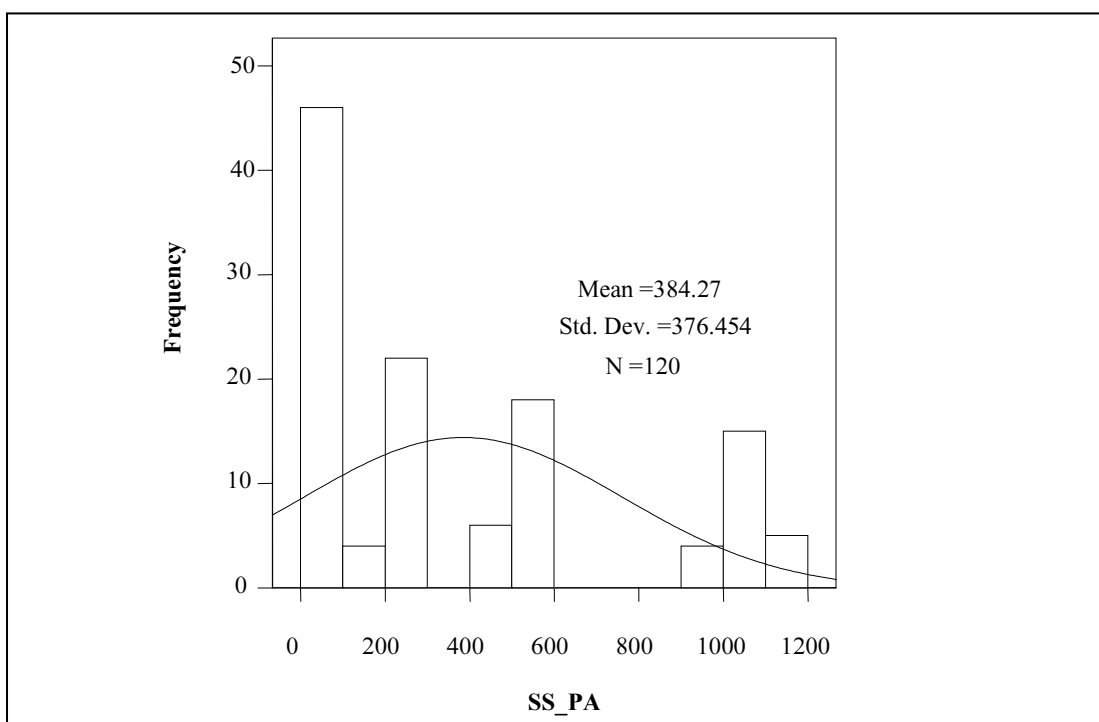


รูปที่ ข.1 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลSS\_MA

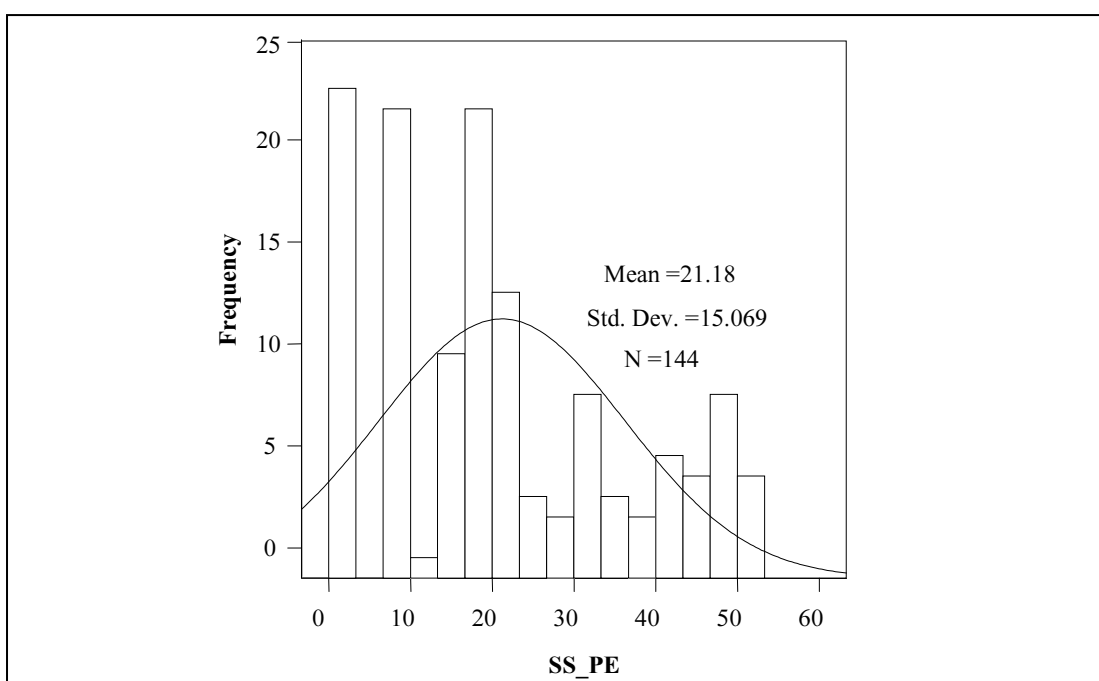


รูปที่ ข.2 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลSS\_ME

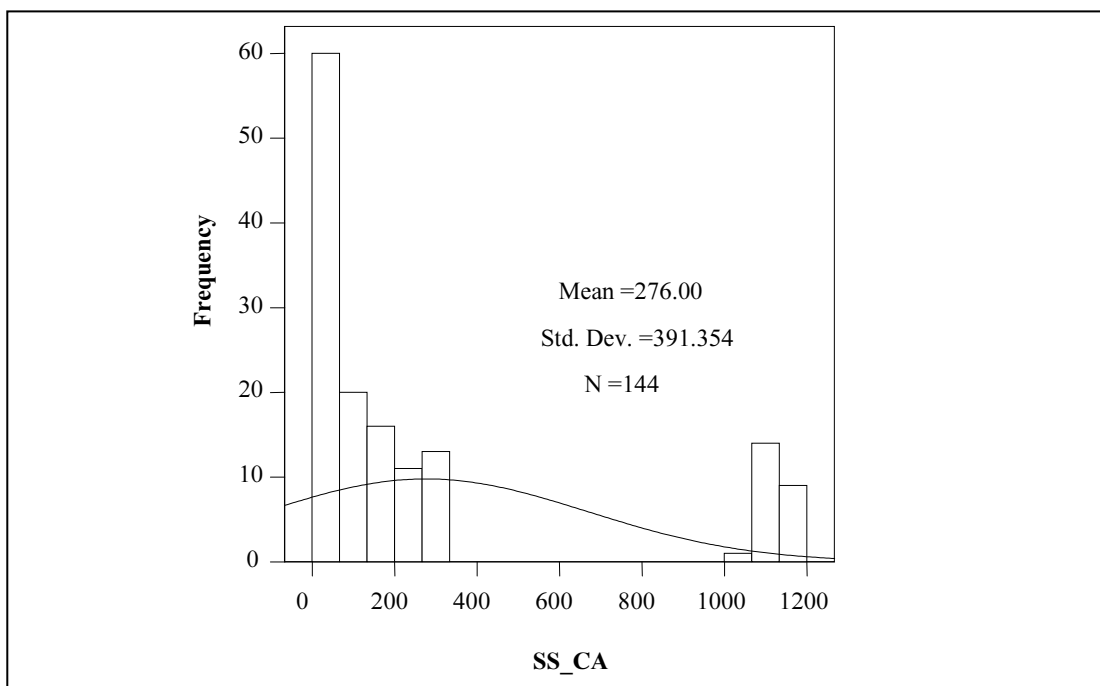




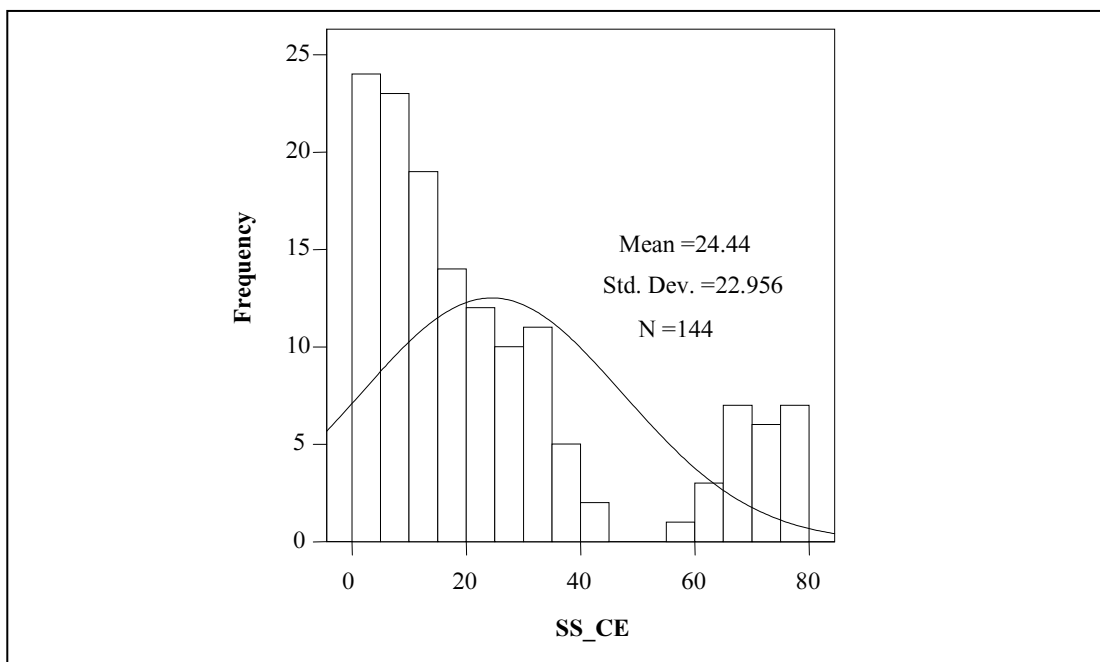
รูปที่ ข.3 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลSS\_PA



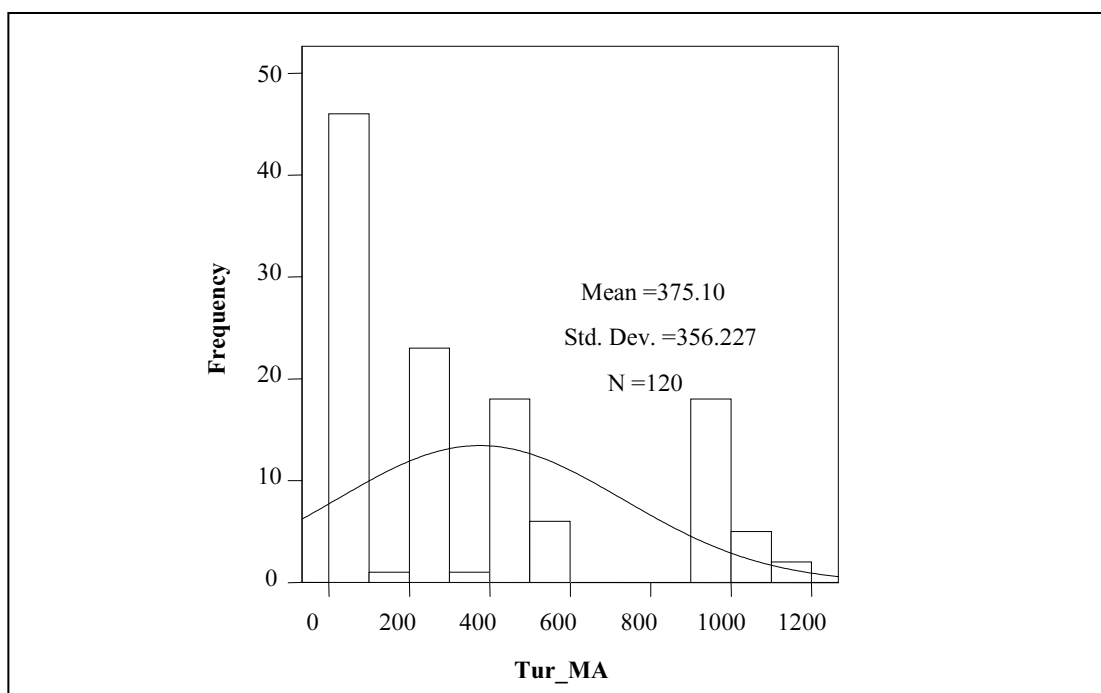
รูปที่ ข.4 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลSS\_PE



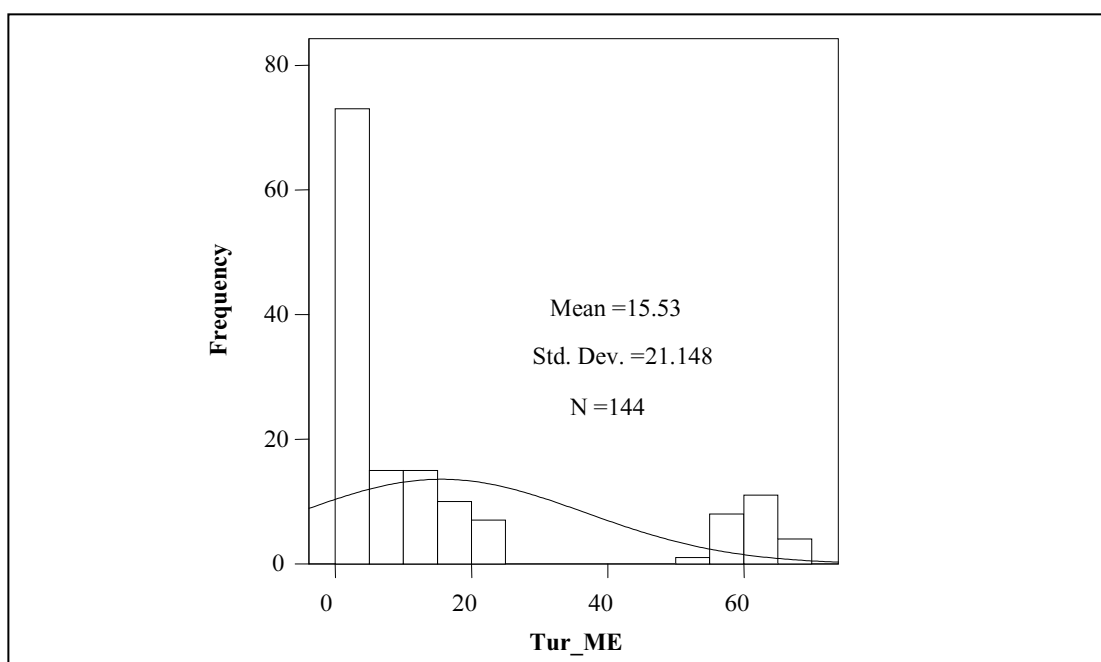
รูปที่ ข.5 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลSS\_CA



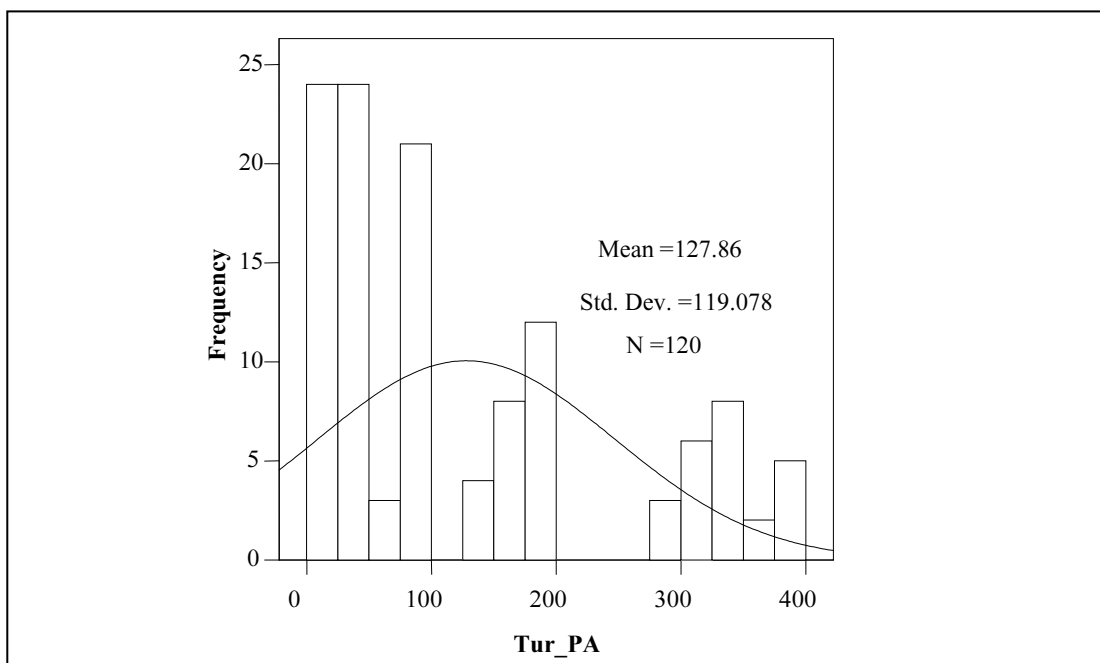
รูปที่ ข.6 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลSS\_CE



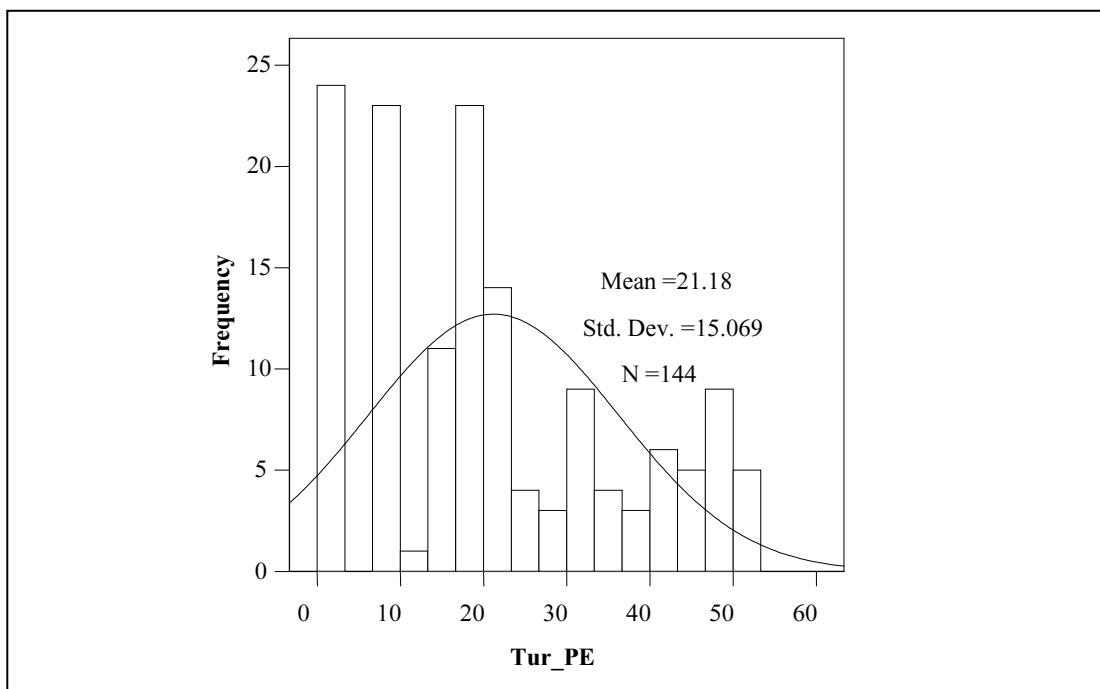
รูปที่ ข.7 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_MA @Hach2100N



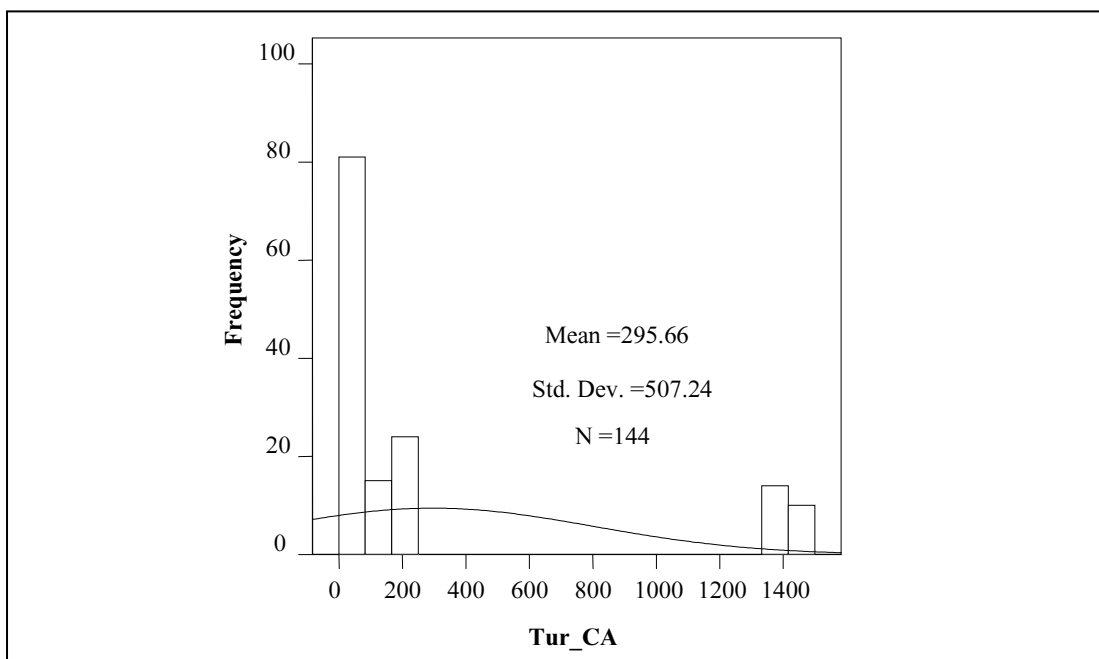
รูปที่ ข.8 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_ME @Hach2100N



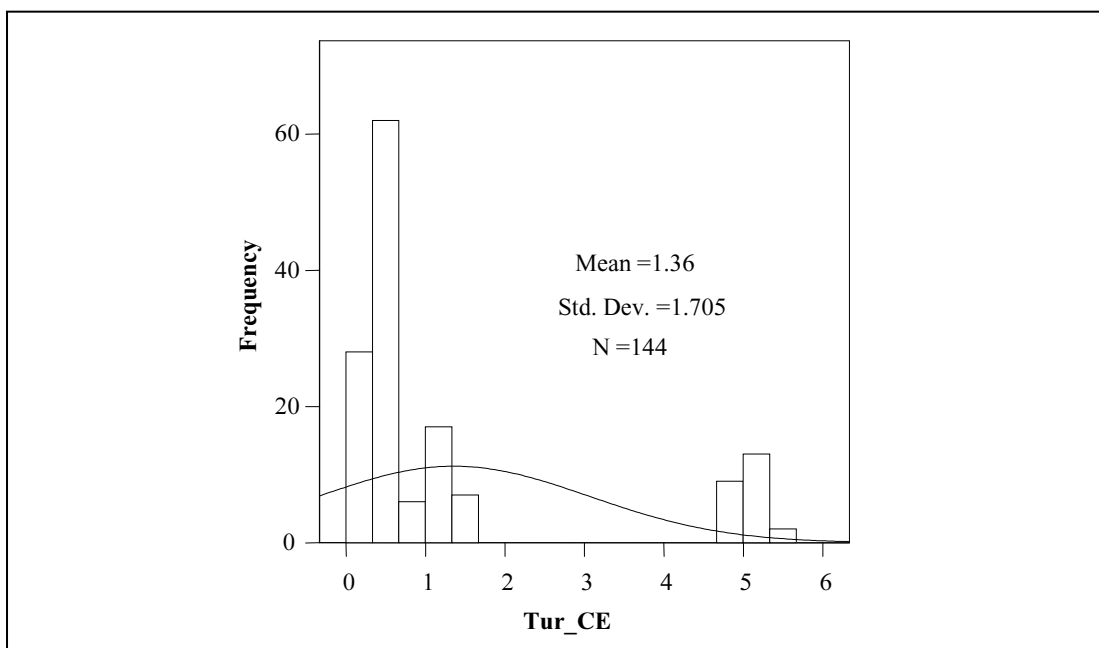
รูปที่ ข.9 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_PA @Hach2100N



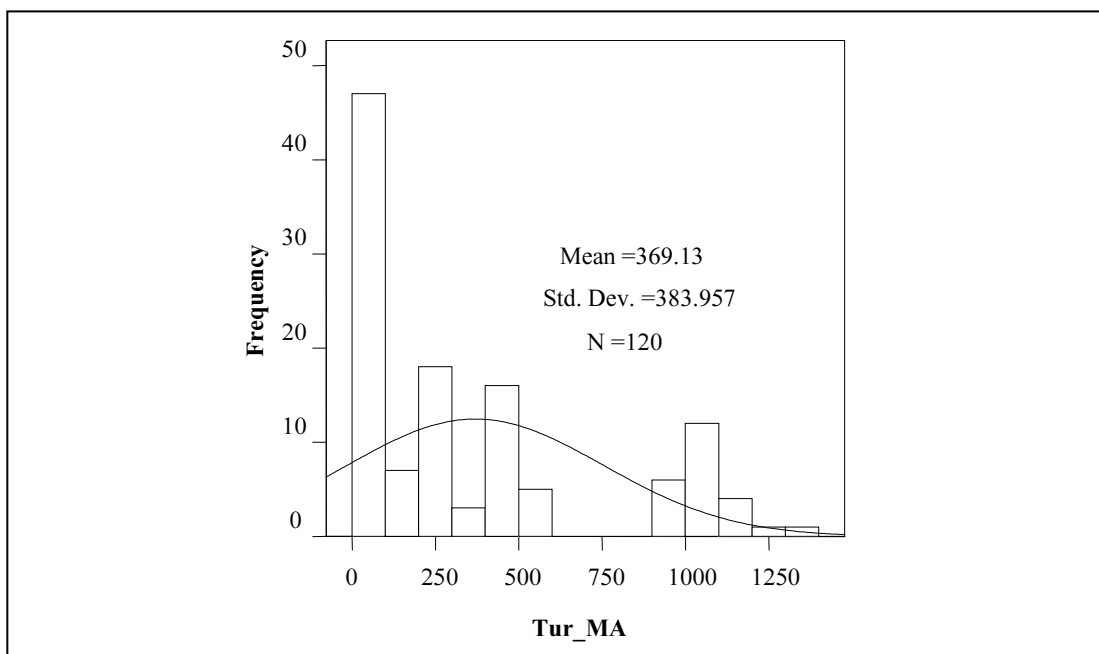
รูปที่ ข.10 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_PE @Hach2100N



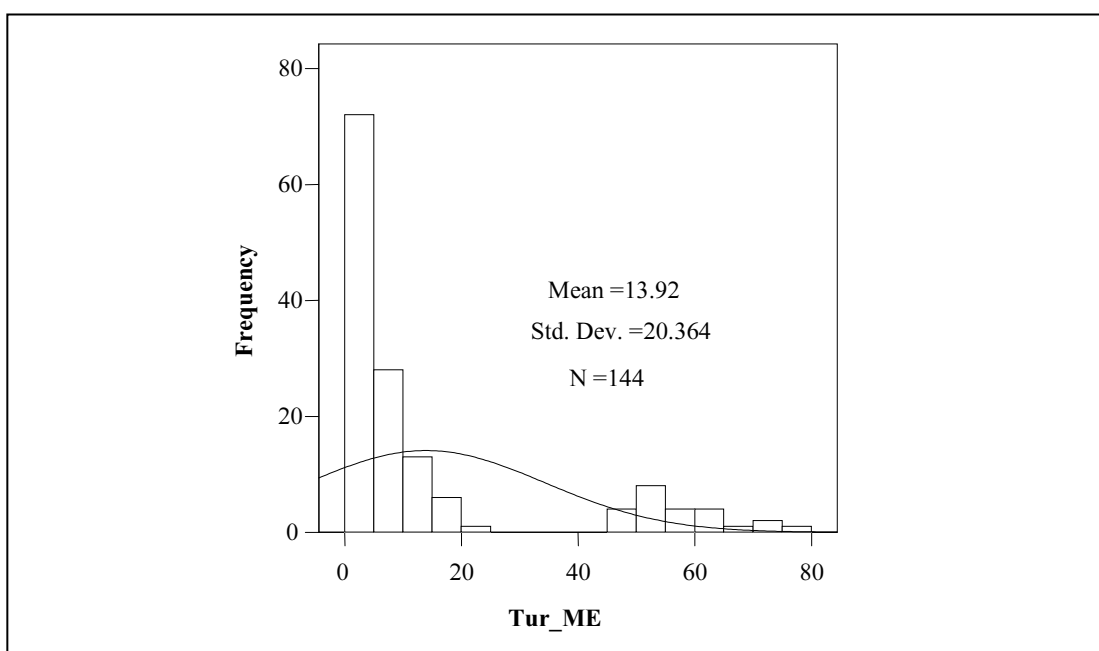
รูปที่ ข.11 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_CA@Hach2100N



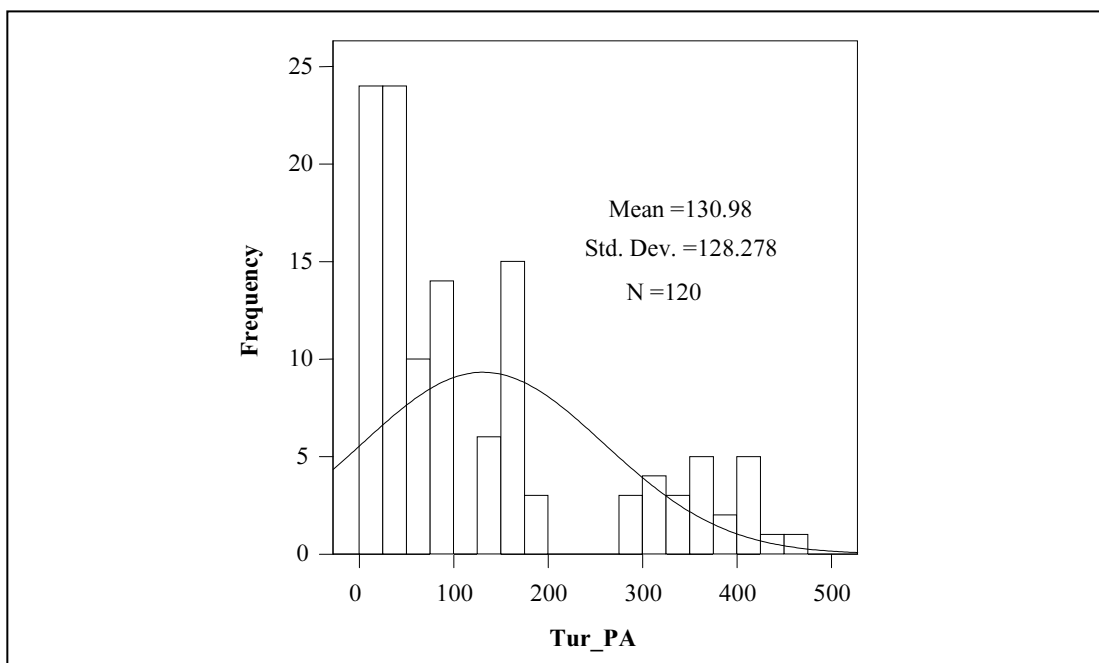
รูปที่ ข.12 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_CE@Hach2100N



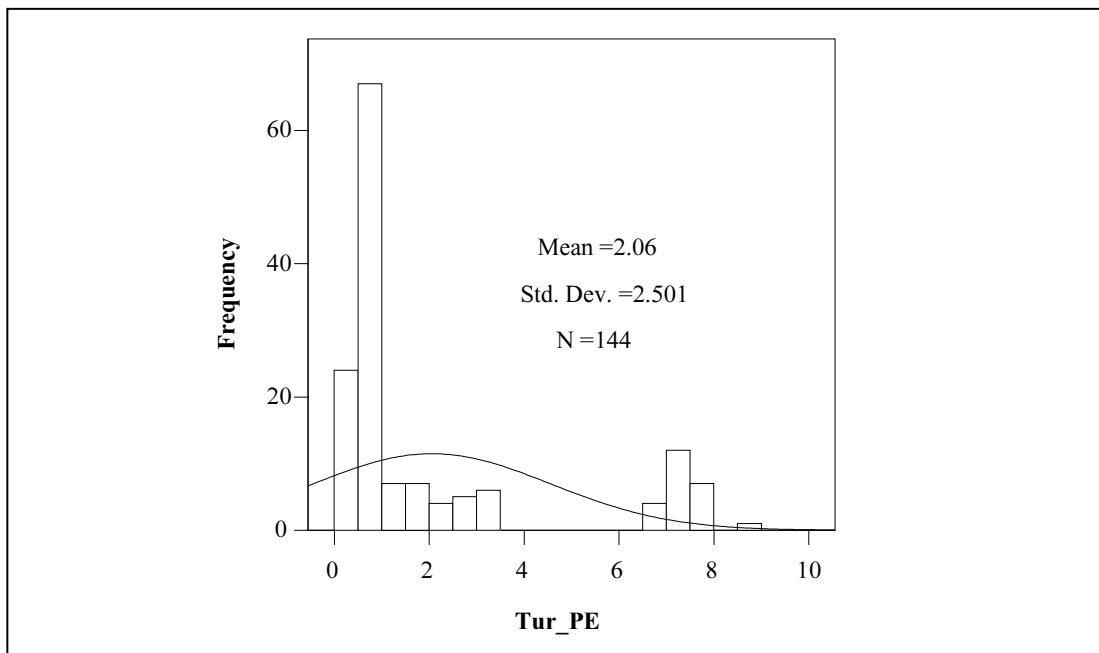
รูปที่ ข.13 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_MA @Hach RATIO/XR



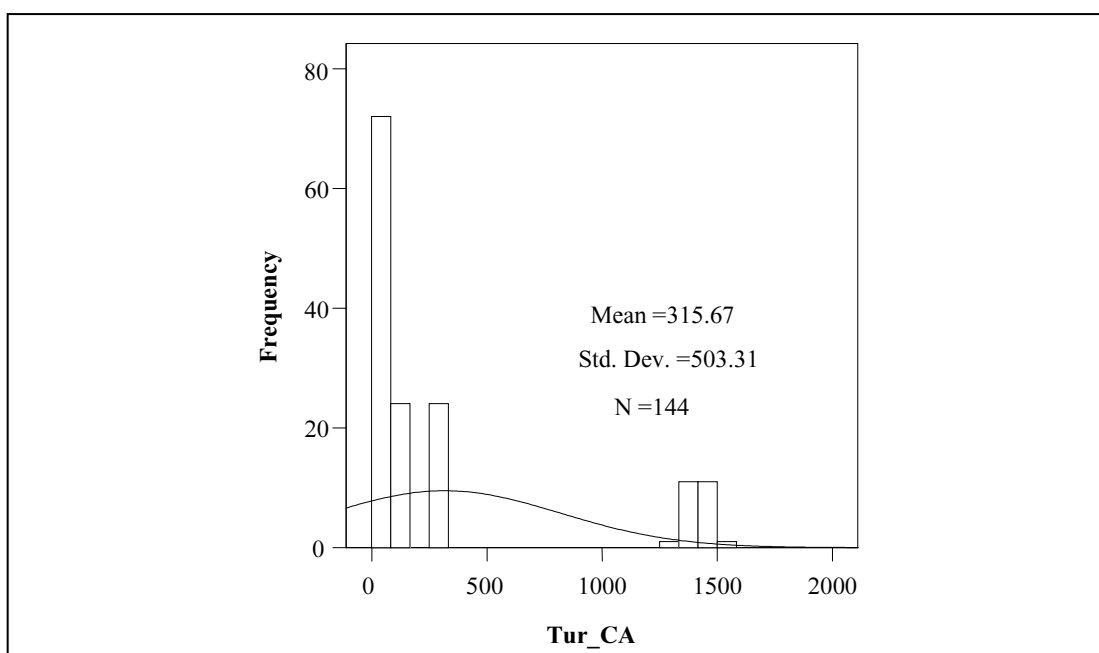
รูปที่ ข.13 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_ME @Hach RATIO/XR



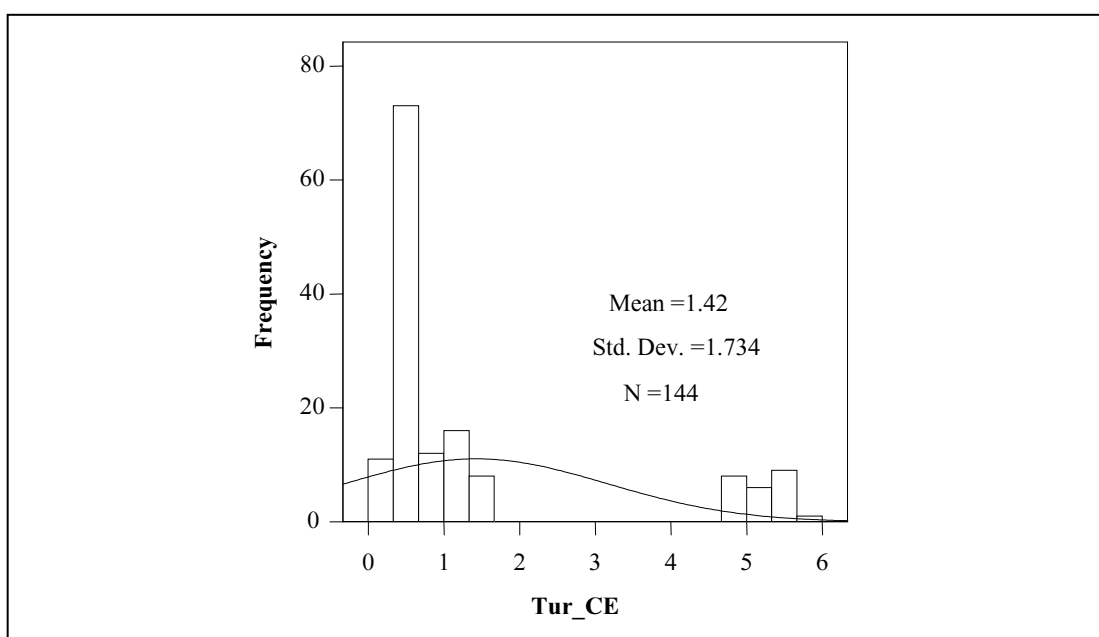
รูปที่ ข.14 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_PA @Hach RATIO/XR



รูปที่ ข.15 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_PE @Hach RATIO/XR

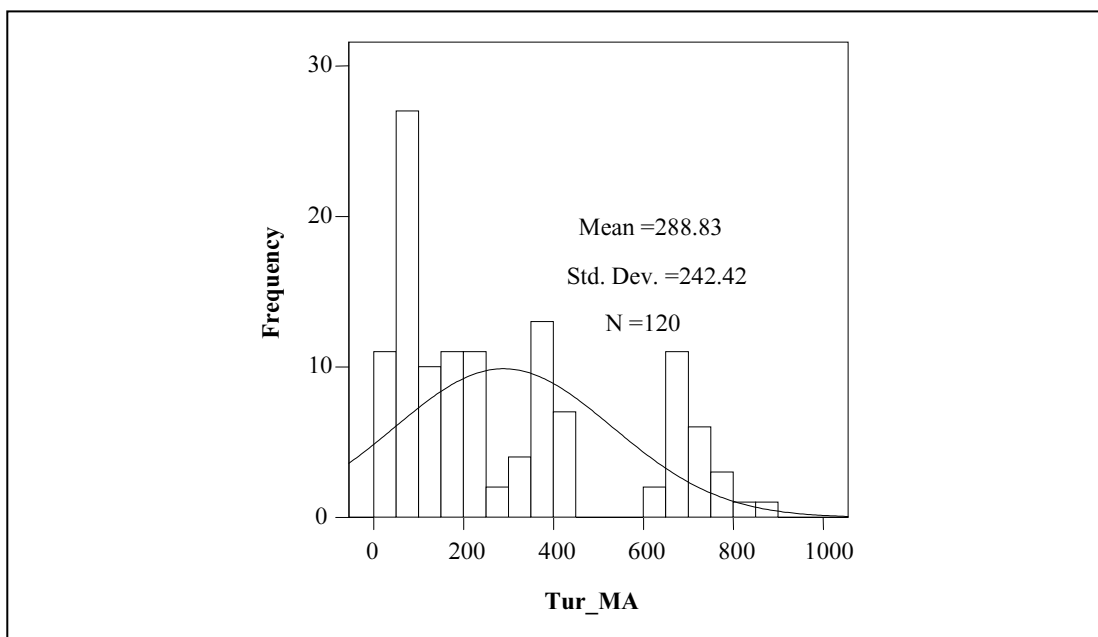


รูปที่ ข.16 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_CA @Hach RATIO/XR

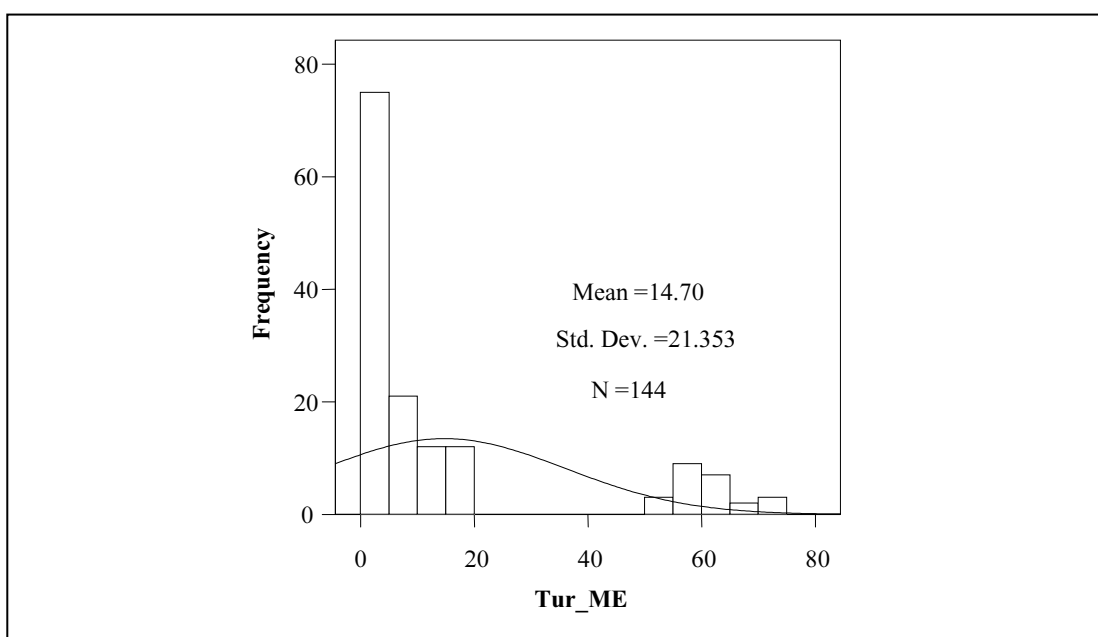


รูปที่ ข.17 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_CE @Hach RATIO/XR

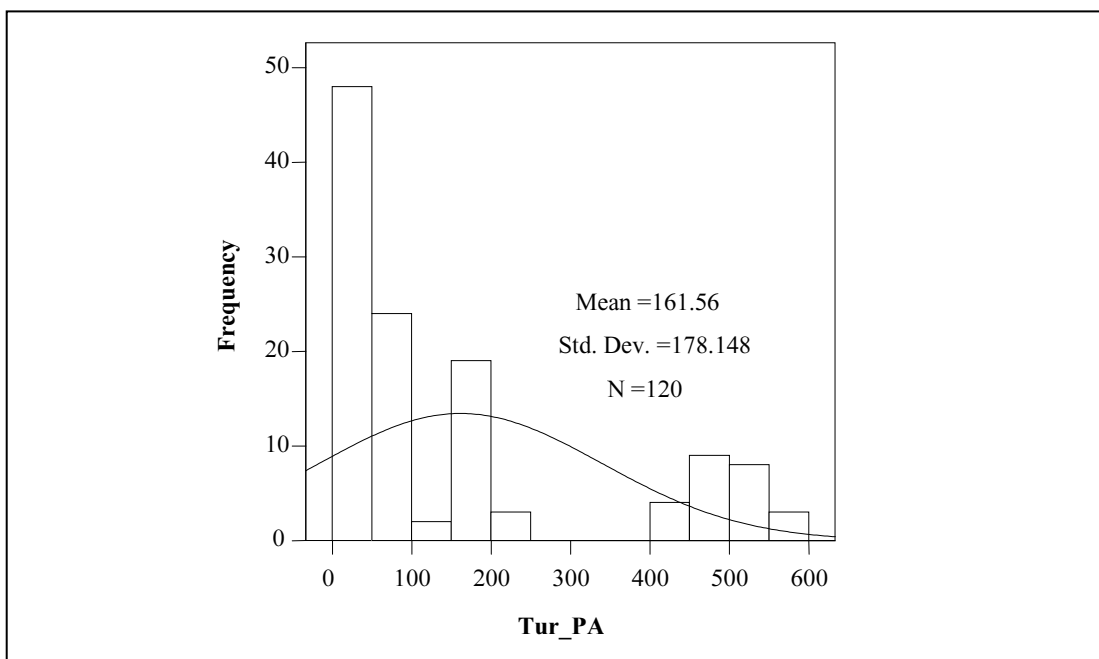




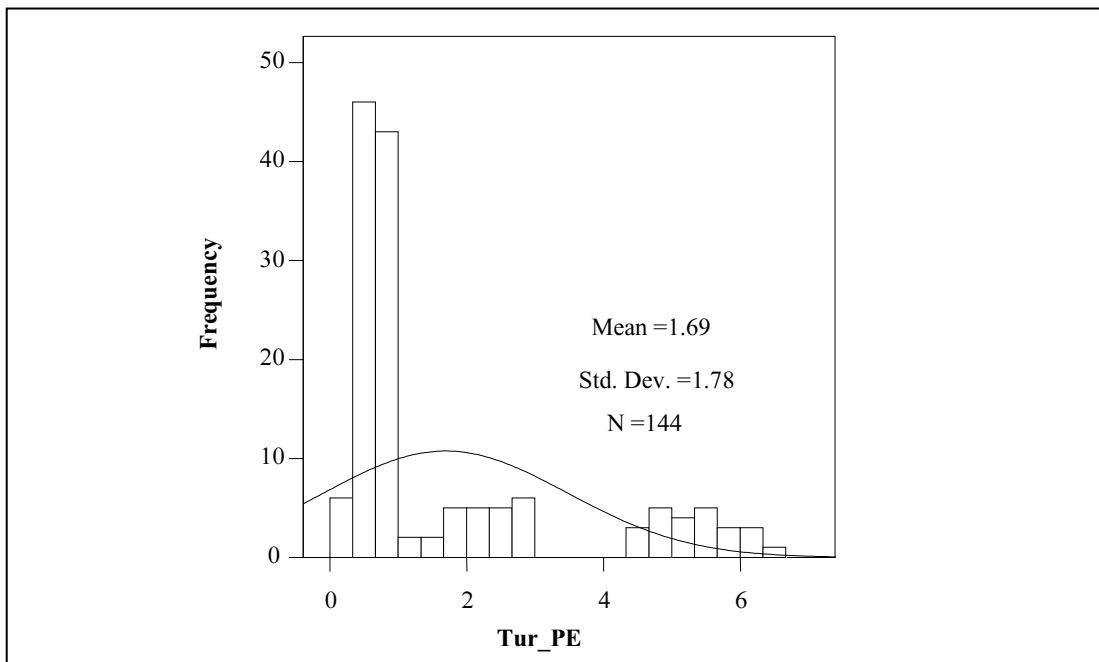
รูปที่ ข.18 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_MA @EUTECH TN100



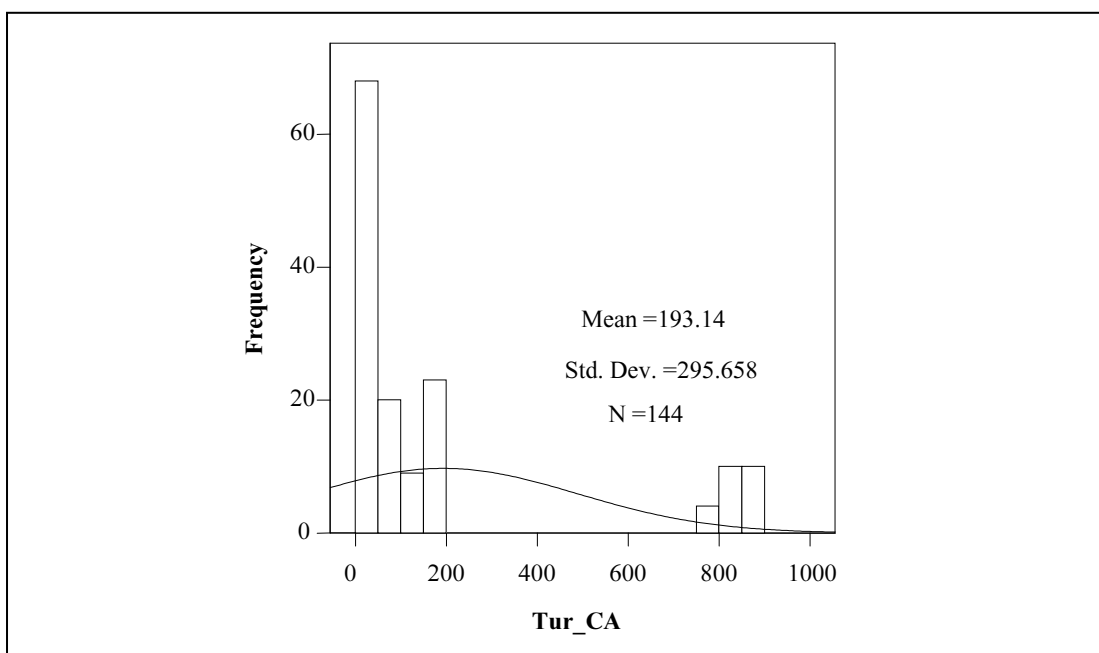
รูปที่ ข.19 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_ME @EUTECH TN100



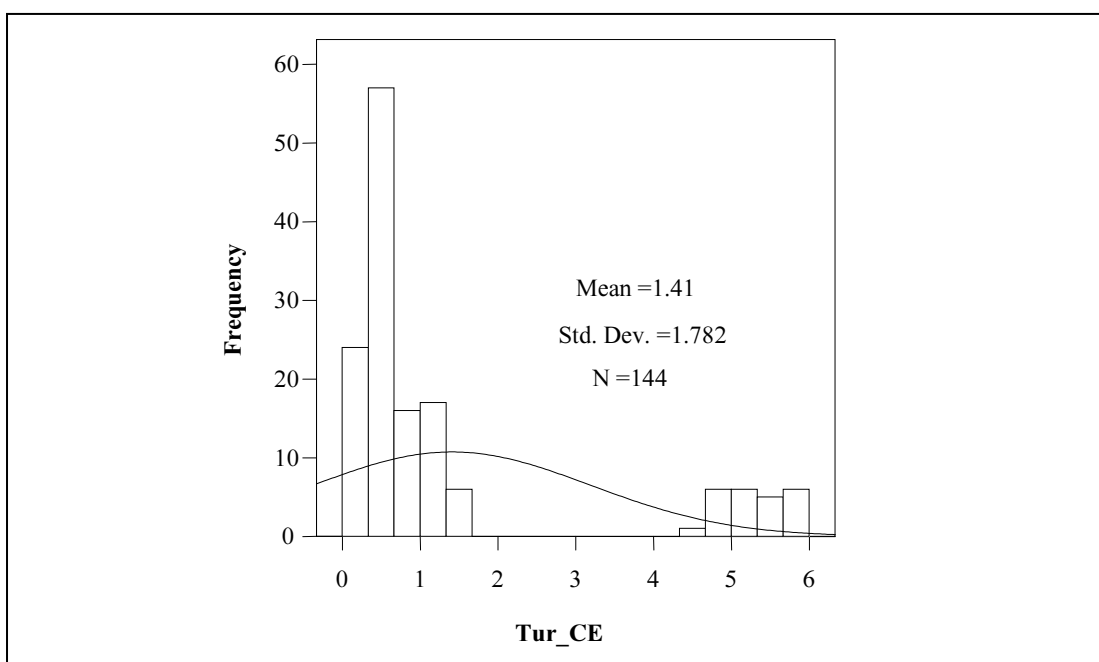
รูปที่ ข.20 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_PA @EUTECH TN100



รูปที่ ข.21 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_PE @EUTECH TN100



รูปที่ ข.22 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_CA @EUTECH TN100



รูปที่ ข.23 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลTur\_CE @EUTECH TN100

ภาคผนวก ค

สถิติพรรณนาข้อมูลเวลาและการอ่านค่าความชุ่ม

### ค.1 ข้อมูลค่าความขุ่นโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จ.นครราชสีมา ณ เวลาที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลอง การวัดค่าความขุ่นซึ่งเป็นตัวแปรเชิงปริมาณที่เวลาแตกต่างกัน ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N และรุ่นRATIO/XR ในบ่อเติมอากาศ (PA1-PA6) และน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว(PE1-PE6) ของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา นั้น ได้แบ่งผลการศึกษากรณีเครื่องวัดความขุ่น ดังต่อไปนี้

#### 1) เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N

ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วและบ่อเติมอากาศของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา (PA และ PE) มีผลการศึกษาทางสถิติดังต่อไปนี้

- ข้อมูล PA1 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 774.42NTU ในวินาทีที่ 15-30 มีการกระจายข้อมูลอยู่ในช่วง 4.51–4.58 หลังจากนั้นในวินาทีที่ 45 มีการกระจายของข้อมูลมาก มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 12.06 จากนั้นมีแนวโน้มลดลงจนถึงวินาทีที่ 120 จึงสูงขึ้นอีกครั้ง มีการแจกแจงเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PA1 อยู่ระหว่าง 0.253–0.878 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA1 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PA2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 119.54 NTU วินาทีที่ 15 ถึงวินาทีที่ 120 มีการกระจายของข้อมูลสูงต่ำสลับกันไป โดยวินาทีที่ 90 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดที่ 2 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงสมมาตร ยกเว้นวินาทีที่ 45 60 และ 120 มีการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าวินาทีที่ 45 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งวินาทีอื่น ๆ พบว่าค่า P-value ของ PA2 อยู่ระหว่าง 0.253–1.000 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA2 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PA3 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 51.47NTU วินาทีที่ 15 ถึงวินาทีที่ 45 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่ 7.38–1.51 หลังจากวินาทีที่ 60 เป็นต้นไปมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงขึ้นเมื่อเทียบกับในช่วงวินาทีแรก ๆ การแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะสมมาตร ยกเว้นในวินาทีที่ 30 75 และ 105 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวาเกือบสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าวินาทีที่ 30 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งวินาที

อื่น ๆ พบว่าค่า P-value ของ PA3 อยู่ระหว่าง 0.290–1.000ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA3 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PA4 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 33.94NTU ข้อมูลมีการกระจายต่ำ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.53-1.73 โดยมีลักษณะสูงต่ำสลับกันไป ข้อมูลมีการแจกแจงแบบสมมาตร มีเพียงวินาทีที่ 15 และ 75 มีการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าวินาทีที่ 60 และ 120 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งวินาทีอื่น ๆ พบว่าค่า P-value ของ PA4 อยู่ระหว่าง 0.174–0.780 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA4 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PA5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 10.56NTU ข้อมูลมีการกระจายต่ำ วินาทีที่ 45 และวินาทีที่ 90 มีการกระจายของข้อมูลต่ำสุดคือ 0.06 แจกแจงสมมาตร โดยวินาทีที่ 30 60 74 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย โดยวินาทีที่ 90 มีการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้ายเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าวินาทีที่ 30 จนถึงวินาทีที่ 75 และวินาทีที่ 105 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งวินาทีอื่น ๆ พบว่าค่า P-value ของ PA5 อยู่ระหว่าง 0.174–0.683ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA5 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PA6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 4.73 ข้อมูลมีการกระจายต่ำวินาทีที่ 15 และวินาทีที่ 120 มีการกระจายของข้อมูลต่ำสุดอยู่ในช่วง 0.02–0.16 โดยมีค่าสูงต่ำสลับกันไป ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงแบบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยเท่ากับค่ามัธยฐาน และวินาทีที่ 45 มีการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้าย เนื่องจากค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าวินาทีที่ 45 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งวินาทีอื่น ๆ พบว่าค่า P-value ของ PA6 อยู่ระหว่าง 0.174–0.780 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA6 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE1 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 5.47NTU วินาทีที่ 15 ถึง 120 มีลักษณะการกระจายค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 0.01-0.02 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงสมมาตร แต่การกระจายของข้อมูลที่วินาทีที่ 30 ถึงวินาทีที่ 60 และวินาทีที่ 90 มีลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจง

ข้อมูลไปในทางเดียวกันคือเบ้ขวา ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE1 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk (ในกรณีที่จำนวนตัวแปรน้อยกว่า 50) โดยมีสมมติฐานของการทดสอบคือ  $H_0$ : มีการแจกแจงแบบปกติ และ  $H_1$ : มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ที่วินาทีที่ 15 60 90 และ 105 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นมีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.065-1.000 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE1 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 1.22 NTU วินาทีที่ 15 มีการกระจายของข้อมูลมากที่สุด ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบน 0.29 ส่วนในวินาทีที่ 30 ถึงวินาทีที่ 120 มีค่าเบี่ยงเบนอยู่ในช่วง 0.01-0.02 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวา ส่วนในวินาทีที่ 105 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้ายซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE2 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 30 และ 45 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นมีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.363-1.000 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE2 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE3 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.66 NTU วินาทีที่ 15 ถึง 120 การกระจายของข้อมูลมีค่าต่ำอยู่ในช่วง 0.01-0.02 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวา ส่วนวินาทีที่ 75 และ 90 มีแนวโน้มเดียวกันคือลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้าย ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE3 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 105 และ 120 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นมีค่า P-value อยู่ 0.157-0.637 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE3 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE4 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.47 NTU วินาทีที่ 15 ถึง 120 การกระจายของข้อมูลเท่ากันโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.01 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวา โดยวินาทีที่ 45 ถึงวินาทีที่ 60 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้าย ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE4 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 45 และ 120 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นมีค่า P-value อยู่ 0.363-0.878 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE4 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.38 NTU วินาทีที่ 15 ถึง 120 การกระจายของข้อมูลต่ำอยู่ในช่วง 0.00-0.02 ที่วินาทีที่ 75 มีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุด ซึ่งมีค่า

เบี่ยงเบน 0.00 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้ายและเบ้ขวาสลับกันไป ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE5 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 120 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นมีค่า P-value อยู่ 0.174-0.911 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE5 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.51 NTU วินาทีที่ 15 ถึง 120 การกระจายของข้อมูลต่ำอยู่ในช่วง 0.00-0.02 ที่วินาทีที่ 15 และวินาทีที่ 45 มีการกระจายต่ำสุดคือมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.00 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้ายและเบ้ขวาสลับกันไป ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE6 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 30 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นมีค่า P-value อยู่ 0.230-0.817 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE6 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

## 2) เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR

ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR ของโรงพยาบาลศูนย์น่านปีที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา ทั้งในบ่อเดิมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว ดังผลการศึกษาทางสถิติดังต่อไปนี้

- ข้อมูล PA1 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 977.08 NTU วินาทีที่ 15 ถึงวินาทีที่ 75 และวินาทีที่ 120 มีการแจกแจงเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย โดยวินาทีที่ 30 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุดที่ 10.60 การกระจายของข้อมูลจึงมากตามไปด้วย ส่วนวินาทีที่ 105 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงแบบสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PA1 อยู่ระหว่าง 0.46-1.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA1 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PA2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 88.81 NTU วินาทีที่ 15 ถึงวินาทีที่ 60 มีการแจกแจงสมมาตร โดยวินาทีที่ 75 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุดที่ 7.38 และน้อยที่สุดวินาทีที่ 30 คือ 1.05 ในวินาทีที่ 75 การกระจายของข้อมูลมากที่สุดลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวาเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย โดยวินาทีที่ 105 และ 120 มีแนวโน้มเดียวกัน และวินาทีที่ 90 มีการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้ายเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.87 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PA2 อยู่ระหว่าง



0.24-0.98 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA2 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PA3 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 55.73NTU วินาทีที่ 15 ถึงวินาทีที่ 45 มีการแจกแจงสมมาตรเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับวินาทีที่ 75 90 และ 120 ในวินาทีที่ 60 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ในวินาทีที่ 105 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุดที่ 3.84 ดังนั้นจึงมีการกระจายของข้อมูลมากและลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ซ้ายเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PA3 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 75 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นมีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.17-0.95 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA3 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PA4 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 35.57NTU วินาทีที่ 15 ถึงวินาทีที่ 75 มีการแจกแจงสมมาตร ซึ่งวินาทีที่ 30 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าวินาทีที่ 15 เท่ากับ 1.90 และ 2.19 ตามลำดับ การกระจายของข้อมูลในวินาทีที่ 15 จึงมากกว่า โดยวินาทีที่ 75 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยสุดที่ 0.37 ในวินาทีที่ 90 และ 120 มีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย การแจกแจงข้อมูลจึงมีลักษณะเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PA4 อยู่ระหว่าง 0.28-1.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA4 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PA5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 12.45 NTU ในวินาทีที่ 15 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.44 ลักษณะของข้อมูลมีการกระจายน้อยและ มีการแจกแจงข้อมูลสมมาตร เช่นเดียวกับวินาทีที่ 60 และ 75 ส่วนวินาทีที่ 30 และ 45 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.57 และ 0.97 ตามลำดับ ลักษณะการแจกแจงข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ในวินาที 105 และ 120 มีการกระจายของข้อมูลมากและลดลง ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ซ้าย เนื่องจากค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PA5 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 30 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นมีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.26-0.82 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA5 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PA6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 5.12 NTU ในวินาทีที่ 15 60 และ 120 มีการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย โดยในวินาทีที่ 15 และ 60 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกันที่ 0.10 และ 0.09 ตามลำดับ ส่วนในวินาทีที่ 75 และ 105 มีการแจกแจงข้อมูลสมมาตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.04 และ 0.09 ตามลำดับ และในวินาทีที่ 30 45 90 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ซ้ายเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.19 0.08 และ 0.09 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PA6 อยู่ระหว่าง 0.20-0.93 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PA6 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE1 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 6.59NTU วินาทีที่ 15 ถึง 90 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงสมมาตร แต่การกระจายของข้อมูลที่วินาทีที่ 60 มีการกระจายของข้อมูลมากที่สุด ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบน 0.03 ส่วนในวินาทีที่ 120 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE1 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk (ในกรณีที่จำนวนตัวแปรน้อยกว่า 50) โดยมีสมมติฐานของการทดสอบคือ  $H_0$ : มีการแจกแจงแบบปกติ และ  $H_1$ : มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ที่วินาทีที่ 90 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นมีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.46-1.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE1 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 1.52 NTU วินาทีที่ 15 และ 30 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.01 การกระจายของข้อมูลน้อยกว่าวินาทีอื่น ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลสมมาตรในวินาทีที่ 15 45 และ 75 รวมไปถึงวินาทีที่ 30 60 105 และ 120 ที่มีลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้ายและเบ้ขวาเล็กน้อยแต่ค่าเกือบสมมาตร แต่การกระจายของข้อมูลที่วินาทีที่ 60 ขึ้นไปจะมีการกระจายที่มากกว่าวินาที 15 ถึง 45 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE2 อยู่ระหว่าง 0.26-1.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE2 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE3 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.97 NTU วินาทีที่ 15 มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ซ้ายเล็กน้อย วินาทีที่ 30 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยคือ 0.01 ลักษณะมีการแจกแจงข้อมูลสมมาตร ซึ่งเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่วินาทีที่ 45 จนถึง 105 วินาทีมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มากขึ้นอยู่ระหว่าง 0.03-0.05 ทำให้เห็นว่ามีการกระจาย

ของข้อมูลมากกว่าที่วินาทีช่วงต้น ๆ วินาทีที่ 60 และ 75 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ซ้าย วินาทีที่ 90 และ 105 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวา หลังจากวินาทีที่ 120 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE3 อยู่ระหว่าง 0.26-0.85 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE3 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE4 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.79NTU วินาทีที่ 15 และ 30 มีลักษณะของข้อมูลสมมาตรซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.01 หลังจากวินาทีที่ 30 คือตั้งแต่ วินาทีที่ 45 เป็นต้นไปค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเริ่มมีค่ามากขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.02-0.04 ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ทำให้ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร แต่ในวินาทีที่ 120 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลสมมาตรแต่มีการกระจายของข้อมูลมากกว่าวินาทีที่ 15 และ 30 ที่ 0.03 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE4 อยู่ระหว่าง 0.36-0.93 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE4 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.64NTU วินาทีที่ 15 ถึง 45 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.02 การกระจายของข้อมูลน้อยกว่าวินาทีอื่น ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลสมมาตรในวินาทีที่ 60 75 90 และ 105 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.04 0.04 0.03 และ 0.04 ตามลำดับ และมีลักษณะของข้อมูลแจกแจงเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อยและมีการกระจายข้อมูลมากกว่าวินาทีที่ 120 ซึ่งมีการแจกแจงข้อมูลสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE5 อยู่ระหว่าง 0.19-0.76 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE5 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล PE6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.29NTU วินาทีที่ 15 ถึง 45 มีลักษณะของข้อมูลสมมาตรซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.01 0.02 และ 0.03 ตามลำดับ วินาทีที่ 60 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อยและวินาทีที่ 75 และ 90 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเริ่มมีค่ามากขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.04-0.05 และวินาทีที่ 105 และ 120 มีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ทำให้ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ PE6 อยู่ระหว่าง 0.39-0.88 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า PE6 มีการแจกแจงแบบปกติ

## ค.2 ข้อมูลค่าความขุ่นบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด(มหาชน) ณ เวลาที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลอง การวัดค่าความขุ่นซึ่งเป็นตัวแปรเชิงปริมาณที่เวลาแตกต่างกัน ด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N และรุ่นRATIO/XR ในบ่อเติมอากาศ (PA1-PA6) และน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว(PE1-PE6) ของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) นั้น ได้แบ่งผลการศึกษาค้นคว้า เครื่องวัดความขุ่น ดังต่อไปนี้

### 1) เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N

ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วและบ่อเติมอากาศของ บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) (CE และ CA) ดังผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- ข้อมูล CA1 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 517.87 NTU ในวินาทีที่ 60 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลสมมาตร ให้ค่าความขุ่นที่คงที่และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.00 ส่วนในวินาทีที่อื่น ๆ ลักษณะของการแจกแจงเบ้ซ้าย เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐาน ยกเว้นวินาทีที่ 75 ลักษณะของการแจกแจงเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA1 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 30 จนถึงวินาทีที่ 105 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบ ส่วนวินาทีที่ 15 และ 120 มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงมีการแจกแจงแบบปกติ จึงสรุปได้ว่า CA1 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CA2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 78.39 NTU ในวินาทีที่ 15 และ 30 มีการกระจายของข้อมูลสูง 1.53-1.76 โดยในช่วงเวลาที่ 45 ถึงวินาทีที่ 105 มีการกระจายของข้อมูลต่ำ อยู่ในช่วง 1.53- 1. มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวาและเบ้ซ้ายสลับกันไป ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA2 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 40 ถึงวินาทีที่ 75 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นมีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.174-0.848 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CA2 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CA3 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 36.19 NTU ในวินาทีที่ 15 ถึงวินาทีที่ 30 มีการกระจายข้อมูลสูงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.47-1.75 ต่อมาในวินาทีที่ 45 มีการกระจายของข้อมูลลดต่ำสุดและเพิ่มมากขึ้นจนถึงวินาทีที่ 90 การกระจายของข้อมูลลงต่ำลงอีกครั้งหลังจากนั้น การกระจายตัวเพิ่มสูงขึ้น ลักษณะของการแจกแจงเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐาน ส่วนในวินาทีที่ 30 60 และ 74 มีลักษณะของการแจกแจงเบ้ซ้าย เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA3 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 30 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่ง

มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ส่วนวินาทีอื่น ๆ มีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.174-1.000 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงมีการแจกแจงแบบปกติ จึงสรุปได้ว่า CA3 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CA4 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 19.42 NTU ในวินาทีที่ 60 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุดเท่ากับ 0.64 ลักษณะของการแจกแจงของข้อมูลเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐาน ส่วนวินาทีที่ 30 70 และ 105 ลักษณะของการแจกแจงของข้อมูลเบ้ซ้าย ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA4 อยู่ระหว่าง 0.174-0.806 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CA4 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CA5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 8.14 NTU ในวินาทีที่ 15 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดเท่ากับ 1.40 ส่วนในวินาทีที่ 120 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุดเท่ากับ 0.01 ลักษณะของการแจกแจงเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานทั้งหมด ยกเว้นวินาทีที่ 45 ลักษณะของการแจกแจงเบ้ซ้าย ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA5 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 105 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ส่วนวินาทีอื่น ๆ มีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.174-1.000 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงมีการแจกแจงแบบปกติ จึงสรุปได้ว่า CA3 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CA6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 4.59 NTU ในวินาทีที่ 75 ถึงวินาทีที่ 105 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุดเท่ากับ 0.01 ลักษณะของการแจกแจงเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐาน ยกเว้นวินาทีที่ 30 60 และ 75 ลักษณะของการแจกแจงเบ้ซ้ายขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA6 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 60 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ส่วนวินาทีอื่น ๆ มีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.298-1.000 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงมีการแจกแจงแบบปกติ จึงสรุปได้ว่า CA6 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE1 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 8.34 NTU วินาทีที่ 15 ถึงวินาทีที่ 120 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.02-0.05 และในวินาทีที่ 120 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดเท่ากับ 0.05 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐาน ส่วนในวินาทีที่ 15 75 และ 120 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเบ้ซ้าย ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE1 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 30 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ส่วนวินาทีอื่น ๆ มีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.317-0.463 ซึ่ง

มากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงมีการแจกแจงแบบปกติ จึงสรุปได้ว่า CE1 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 1.99 NTU วินาทีที่ 15 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุดที่ 0.09 และวินาทีที่ 30 และ 75 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดเท่ากับ 0.01 และในวินาทีที่ 15 45 75 และ 120 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐาน ส่วนวินาทีอื่น ๆ ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ซ้าย ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE2 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 30 จนถึงวินาทีที่ 60 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ส่วนวินาทีอื่น ๆ มีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.637-1.000 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงมีการแจกแจงแบบปกติ จึงสรุปได้ว่า CE2 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE3 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 1.06 NTU ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 0.01-0.02 ในวินาทีที่ 15 45 105 และ 120 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.01 ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE3 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 30 90 และวินาทีที่ 105 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ส่วนวินาทีอื่น ๆ มีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.363-1.000 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงมีการแจกแจงแบบปกติ จึงสรุปได้ว่า CE3 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE4 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.62 NTU ในวินาทีที่ 75 และ 105 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.01 ลักษณะของการแจกแจงเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐาน ยกเว้นวินาทีที่ 30 45 75 และ 100 ที่ลักษณะการแจกแจงเบ้ซ้าย เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE4 อยู่ระหว่าง 0.114-0.890 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CE4 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.48 NTU ในวินาทีที่ 120 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุดเท่ากับ 0.01 ส่วนในวินาทีอื่น ๆ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างต่ำ และการกระจายของข้อมูลไปในทิศทางเดียวกันมีลักษณะของการแจกแจงเบ้ซ้ายทั้งหมด เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานในทุก ๆ วินาที ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE5 อยู่ระหว่าง 0.157-0.948 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CE5 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.34 NTU ในวินาทีที่ 15 และวินาทีที่ 90 ถึงวินาทีที่ 105 มีค่าต่ำสุดคือ 0.01 ในทุก ๆ วินาทีมีลักษณะของการแจกแจงเบ้ซ้าย เนื่องจากมี

ค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE6 อยู่ระหว่าง 0.230-0.836 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CE6 มีการแจกแจงแบบปกติ

## 2) เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น RATIO/XR

ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น RATIO/XR ของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (มหาชน) ทั้งในบ่อเดิมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว ดังผลการศึกษาทางสถิติดังต่อไปนี้

- ข้อมูล CA1 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 550.83 NTU ในวินาทีที่ 30 และ 120 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลสมมาตร ให้ค่าความขุ่นที่คงที่และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.00 ส่วนในวินาทีอื่น ๆ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากันที่ 0.58 และการกระจายของเท่ากัน ลักษณะของการแจกแจงเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA1 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk (ในกรณีที่จำนวนตัวแปรน้อยกว่า 50) โดยมีสมมติฐานของการทดสอบคือ  $H_0$ : มีการแจกแจงแบบปกติ และ  $H_1$ : มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ที่วินาทีที่ 15 45 60 75 90 และ 105 มีค่า P-value ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ จึงสรุปได้ว่า CA1 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CA2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 77.88 NTU ในวินาทีที่ 15 30 90 และ 105 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้าย ต่างกับวินาทีที่ 45 ถึง 75 และ 120 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวา เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งในวินาทีที่ 30 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดเท่ากับ 0.53 การกระจายของข้อมูลจึงน้อย ส่วนในวินาทีที่ 60 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุดเท่ากับ 1.74 การกระจายของข้อมูลจึงมากตามไปด้วย ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA2 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ที่วินาทีที่ 120 มีค่า P-value ที่ 0.02 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่วินาทีนอกเหนือจากนั้นมีค่า P-value อยู่ระหว่าง 0.34-0.90 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CA2 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ และมีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CA3 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 38.60 NTU ในวินาทีที่ 15 และ 120 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงสมมาตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าวินาทีที่ 30 เท่ากับ 1.35 ในขณะที่วินาทีที่ 30 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.14 และมีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้าย เช่นเดียวกับวินาทีที่ 75 และ 90 ส่วนในวินาทีที่ 45 60 และ 105 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวา เล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ซึ่งในวินาทีที่ 105 มีการกระจายของข้อมูลค่อนข้างสูงกว่าวินาทีอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality

โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA3 อยู่ระหว่าง 0.38-1.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CA3 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CA4 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 21.05 NTU ในวินาทีที่ 15 30 90 และ 120 มีลักษณะการแจกแจงเบ้ขวา เนื่องจากค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐาน ส่วนในวินาทีที่ 30 75 และ 105 มีลักษณะการแจกแจงเบ้ซ้าย โดยในวินาทีที่ 75 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.45 ส่วนในวินาทีที่ 105 และ 120 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุดเท่ากับ 0.17 ทั้งสอง จึงมีการกระจายของข้อมูลที่มากตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA4 อยู่ระหว่าง 0.14-1.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CA4 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CA5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 8.57 NTU ในวินาทีที่ 15 75 และ 105 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวา ส่วนในวินาทีที่ 30 45 60 90 และ 120 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้าย ซึ่งในวินาทีที่ 30 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดเท่ากับ 0.06 นั่นคือมีการกระจายของข้อมูลน้อยตามไปด้วยต่างกับวินาทีที่ 120 มีการกระจายของข้อมูลที่ค่อนข้างสูง ซึ่งจากการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA5 อยู่ระหว่าง 0.32-0.90 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CA5 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CA6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 5.16 NTU ในวินาทีที่ 15 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04 ซึ่งน้อยกว่าวินาทีที่ 30 ลักษณะของการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวาเช่นเดียวกับวินาทีที่ 45 และ 105 เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย การกระจายของข้อมูลค่อนข้างมากตามไปด้วย ส่วนในวินาทีที่ 30 และ 60 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้ายและการแจกแจงสมมาตรที่วินาทีที่ 75 90 และ 120 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CA6 อยู่ระหว่าง 0.46-1.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CA6 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE1 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 9.08NTU วินาทีที่ 15 30 และ 120 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงสมมาตร โดยในวินาทีที่ 15 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดที่ 0.01 และวินาทีที่ 30 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.03 ตามลำดับ และในวินาทีที่ 45 ถึง 60 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ซ้ายเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย และการกระจายของข้อมูลมากกว่าวินาทีที่ 15 และ 30 ส่วนในวินาทีที่ 90 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.60 มีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย จึงทำให้การแจกแจงของข้อมูลเบ้ขวาเกือบสมมาตร ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE1 ในสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk (ในกรณีที่จำนวน



ตัวแปรน้อยกว่า 50) โดยมีสมมติฐานของการทดสอบคือ  $H_0$ : มีการแจกแจงแบบปกติ และ  $H_1$ : มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE1 อยู่ระหว่าง 0.51-1.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CE1 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 2.59 NTU วินาทีที่ 15 30 และ 90 ลักษณะของข้อมูลมีการแจกแจงสมมาตร และการกระจายของข้อมูลน้อย ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในวินาทีที่ 15 และ 30 น้อยกว่าวินาทีที่ 90 อยู่ 0.03 ส่วนในวินาทีที่ 45 ถึง 75 ค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ดังนั้นลักษณะการแจกแจงของข้อมูลจึงเบ้ซ้ายเล็กน้อยเกือบสมมาตร แต่การกระจายของข้อมูลมากและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานวินาทีที่ 75 มีค่ามากที่สุดที่ 0.10 และเช่นเดียวกันในวินาทีที่ 105 และ 120 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.07 และ 0.09 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อยและมีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE2 อยู่ระหว่าง 0.09-0.92 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CE2 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE3 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 1.29 NTU มีค่าเฉลี่ยในวินาทีที่ 15 และ 30 เท่ากับค่ามัธยฐาน จึงทำให้ลักษณะการแจกแจงข้อมูลสมมาตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในวินาทีที่ 15 น้อยกว่าในวินาทีที่ 30 ที่ 0.02 และ 0.03 ตามลำดับ และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการกระจายของข้อมูลจึงมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งในวินาทีที่ 45 และ 90 จนไปถึงวินาทีที่ 120 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.05 0.04 และ 0.04 ตามลำดับ และลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อยในวินาทีที่ 60 และ 105 เนื่องจากค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย และในส่วนของวินาทีที่ 45 และ 120 มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ลักษณะการแจกแจงข้อมูลจึงเบ้ซ้ายเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE3 อยู่ระหว่าง 0.46-1.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CE3 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE4 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.90 NTU ในวินาทีที่ 15 และ 30 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากันและน้อยที่สุดที่ 0.03 ดังนั้นการกระจายของข้อมูลจะน้อยตามไปด้วย และเมื่อจับเวลาเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่วินาทีที่ 45 จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ลักษณะการแจกแจงข้อมูลในวินาทีที่ 30 มีลักษณะการแจกแจงสมมาตรเช่นเดียวกับวินาทีที่ 120 ซึ่งในวินาทีที่ 15 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร เช่นเดียวกับกับวินาทีที่ 60 และ 90 เนื่องจากค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.06 และ 0.05 ตามลำดับ และในวินาทีที่ 45 75 และ 105 มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย จึงทำให้

ลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้ายเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE4 อยู่ระหว่าง 0.36-0.90 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CE4 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.86 NTU ในวินาทีที่ 15 มีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย จึงทำให้ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเบ้ขวา ในวินาทีที่ 30 มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลสมมาตรและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดที่ 0.02 ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วการแจกแจงข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวาได้แก่ วินาทีที่ 15 45 60 75 และ 105 ส่วนในวินาทีที่ 90 และ 120 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้ายเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE5 อยู่ระหว่าง 0.29-0.81 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CE5 มีการแจกแจงแบบปกติ

- ข้อมูล CE6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น 0.56 NTU ในวินาทีที่ 15 และ 30 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลสมมาตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อย 0.03 และ 0.02 ตามลำดับ ในวินาทีที่ 45 75 90 และ 105 มีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ขวาเล็กน้อยเกือบสมมาตร เนื่องจากค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐานเล็กน้อย และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในวินาทีที่ 60 มากที่สุดเท่ากับ 0.09 ซึ่งมีการกระจายของข้อมูลที่ค่อนข้างมากมีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเบ้ซ้ายเล็กน้อยเกือบสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ซึ่งพบว่าค่า P-value ของ CE6 อยู่ระหว่าง 0.14-0.78 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่า CE6 มีการแจกแจงแบบปกติ

### ภาคผนวก ง

**บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา**

ที่ ศธ ๐๕๒๓.๖.๑ (ร) ๐๑๘ /๒๕๕๓



สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร  
อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ๕๐๒๕๐

หนังสือฉบับนี้ให้ไว้ เพื่อรับรองว่า นางสาวอรณิชา ศรีจันทร์ ได้เข้าร่วมประชุมและ  
เสนอผลงานทางวิชาการ ภาคบรรยาย เรื่อง “การประยุกต์ใช้เครื่องวัดความชื้นในการตรวจวัดปริมาณ  
สารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง” ในการประชุมทางวิชาการ ประจำปี ๒๕๕๓ ซึ่ง  
ดำเนินการโดยสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร ร่วมกับศูนย์วิจัยและพัฒนาลำไยแม่โจ้  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ระหว่างวันที่ ๒๖ - ๒๗ พฤษภาคม  
๒๕๕๓ โดยเรื่องเดิมจะได้รับการตีพิมพ์ในรายงานการประชุมทางวิชาการ ประจำปี ๒๕๕๓

ให้ไว้ ณ วันที่ ๒๗ พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๕๓

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พาวิน มะโนชัย)

ประธานคณะกรรมการดำเนินงาน  
การประชุมทางวิชาการ ประจำปี ๒๕๕๓

การประยุกต์ใช้เครื่องวัดความขุ่นในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยใน  
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

**Application of Turbidimeter for Measurement of Suspended Solids in  
Activated Sludge Wastewater Treatment System**

อรณิชา ศรีจันทร์<sup>1\*</sup> ฉัตรเพชร ยศพล<sup>2</sup>

Onnicha Srichun<sup>1\*</sup> Chatpet Yossapol<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

<sup>1,2</sup> School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand 30000

Corresponding author: onnicha22@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N ในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วและบ่อเติมอากาศของโรงพยาบาลมหาราช จ. นครราชสีมา (ME, MA) โรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จ.นครราชสีมา (PE, PA) และบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด(มหาชน) (CE, CA) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นของ ME, PE และ CE มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (R) เท่ากับ 0.98, 0.87 และ 0.96 ตามลำดับ ส่วนที่จุดเก็บน้ำตัวอย่างในบ่อเติมอากาศของ MA, PA และ CA มีค่า R เท่ากับ 0.99, 0.99 และ 0.99 ตามลำดับ การใช้เครื่องวัดความขุ่นนี้สามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจติดตามปริมาณสารแขวนลอยได้อย่างรวดเร็ว ประหยัด อันจะเป็นประโยชน์ต่อการเดินระบบและการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

**คำหลัก** เครื่องวัดความขุ่น, สารแขวนลอย, ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน, ระบบตะกอนเร่ง

**Abstract**

This research is using a HACH 2100N turbidimeter for the measurement of suspended solids (SS) in treatment plant. Performance of activated sludge treating wastewater was studied by measuring of wastewater treatment pond and aeration pond at Maharath Nakornratchasima Hospital (ME, MA), Central Healthy 5 Hospital (PE, PA) and Coca-Cola co, .Ltd (CE, CA). The relation between of suspended solid (SS) (mg/L) and nephelometric turbidity units (NTU) of ME, PE and CE was analyzed using Pearson's correlation coefficient have R of 0.98, 0.87, and 0.96 respectively. For the MA, PA and CA have R of 0.99, 0.99, and 0.99 respectively. Although, the turbidity measurement was perform with a SS in water are easier quickly and saving the plant. However this process are useful monitor sample quality in process environments.

**Keywords:** turbidimeter, suspended solid, pearson's correlation coefficient, activated sludge

## คำนำ

ความขุ่นเป็นลักษณะสำคัญประการหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำไม่ว่าจะเป็นน้ำดื่ม น้ำใช้ น้ำอุปโภคบริโภคไปจนถึงแหล่งน้ำธรรมชาติ ความขุ่นเกิดจากสารแขวนลอยจำพวกคอลลอยด์หรือมลทินในน้ำที่มีขนาดระหว่าง 1-1,000 นาโนเมตร (Brown et al., 2005) สารแขวนลอยเหล่านี้ ได้แก่ อนุภาคดินเหนียว สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แพลงก์ตอน หรือ จุลินทรีย์ ถ้าในน้ำมีปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในปริมาณมากเมื่อแสงส่องมากระทบสารแขวนลอยจะทำให้เกิดการหักเหของแสงกระจกระบายไปทำให้มองเห็นน้ำมีลักษณะขุ่น ทำให้น้ำนั้นไม่น่ามาใช้ในการอุปโภคบริโภค ทำให้น้ำรังเกียจและมีผลต่อระบบการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ ความขุ่น (Turbidity) และสารแขวนลอย (Suspended Solid, SS) สามารถวัดได้ในรูปของค่าความขุ่นและค่าสารแขวนลอย ในการวิเคราะห์น้ำธรรมชาตินิยมวัดค่าความขุ่นมากกว่าวัดปริมาณสารแขวนลอยเนื่องจากสามารถวัดได้ง่ายกว่ามาก (มันสิน, 2543) ตัวอย่างน้ำที่มีค่าความขุ่นมากย่อมมีค่าปริมาณสารแขวนลอยสูงด้วย ในทางตรงกันข้าม น้ำเสียมักมีสารแขวนลอยสูงกว่าน้ำธรรมชาติ การนำเครื่องวัดความขุ่นมาใช้บอกความสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นนั้น สามารถสร้างความสัมพันธ์สำหรับหาค่าปริมาณสารแขวนลอยได้ในตรงจุดตามปริมาณสารแขวนลอยในน้ำผิวดิน และน้ำธรรมชาติ (Packman et al., 2000; Pavelich, 2002) และใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับการประเมินคุณภาพน้ำด้วยการใช้วิธีการวัดความขุ่น ซึ่งทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็วและทุนค่าใช้จ่ายมากกว่าการวิเคราะห์หาค่าของแข็งแขวนลอยทั่วไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### จุดเก็บตัวอย่าง

การศึกษาวิจัยนี้ได้เก็บน้ำตัวอย่างจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจากบ่อเดิมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลมหาราช จ.นครราชสีมา ใช้คำย่อเรียกว่า MA และ ME ตามลำดับ บ่อเดิมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จ.นครราชสีมา ใช้คำย่อเรียกว่า PA และ PE และบ่อเดิมอากาศและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด(มหาชน) ใช้คำย่อเรียกว่า CA และ CE น้ำตัวอย่างจากแต่ละสถานที่จะไม่นำมาเจือจางและนำมาเจือจางโดยประมาณที่ร้อยละการเจือจางที่ 20, 10, 5, 2 และ 0.1 ตามลำดับ โดยใช้หมายเลข 1 ต่อท้ายคำย่อแทนน้ำตัวอย่างที่ไม่มีการเจือจางและหมายเลข 2, 3, 4, 5 และ 6 แทนน้ำตัวอย่างที่มีการเจือจางโดยประมาณตามลำดับร้อยละการเจือจางข้างต้น ในการเก็บข้อมูลวิจัยนี้ใช้ระยะเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน – เดือนตุลาคม 2552

### วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจะใช้วิธีการกรองด้วยกระดาษกรองตามมาตรฐาน 2540D. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C และวิเคราะห์ค่าความขุ่นตามวิธีมาตรฐานเนฟโพลเมตริก 2130B. ในหน่วยเอนทียู (Nephelometric Turbidity Unit, NTU) ที่สามารถวัดได้สะดวกและรวดเร็ว (APHA, 1998) น้ำตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์นี้จะวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นที่ไม่ได้มีการเจือจางและมีการเจือจางน้ำตัวอย่างโดยประมาณที่ร้อยละการเจือจางที่ 20, 10, 5, 2 และ 0.1 ตามลำดับ (Sadar, 2002)

การคำนวณปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ได้รับการบำบัดแล้วทำการคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$SS = \frac{(B - A) \times 10^6}{V} \quad (1)$$

โดยที่ SS คือค่าปริมาณสารแขวนลอย (มก/ล) A คือน้ำหนักของกระดาษกรองเริ่มต้น (กรัม) B คือน้ำหนักของกระดาษกรองสุดท้าย (กรัม) และ V คือปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มล.)

เครื่องวัดความขุ่น ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นชนิดเครื่องวัดความขุ่นในห้องปฏิบัติการ ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100N (Figure 1) ใช้หลักการออกแบบตามมาตรฐานของ EPA Method 180.1 (Appendix C) (USEPA, 1993) ชนิดการออกแบบด้วยอัตราส่วนของแสง หรือเรียกว่า "Ratio Design" สามารถวัดความขุ่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0-4000 NTU เครื่องมือนี้ต้องสอบเทียบด้วยสารละลายมาตรฐานฟอร์มาซิน (Formazin Standard) ซึ่งจะนำมาเจือจางให้อยู่ในช่วงค่าความขุ่นที่ต้องการวัดเพื่อทำเป็นกราฟมาตรฐาน



Figure 1 Bench Top Turbidimeter (Hach Company, 1995)

#### การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

คัดเลือกตัวอย่างโดยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างในแต่ละจุดเก็บตามวิธีของทาโร ยามาเน (Yamene, 1970) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สุ่มจำนวน 30 ตัวอย่าง จากแต่ละสถานที่ โดยกำหนดตัวแปรอิสระ (X) คือค่าความขุ่น และตัวแปรตาม (Y) คือค่าปริมาณสารแขวนลอย ใช้วิธีทางสถิติในการทดสอบความถูกต้องโดยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยใช้สัญลักษณ์ R แทนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient) สามารถหาได้จากสมการที่ (2) และวัดค่าการกระจายของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE; Standard Error of Estimate) (กัลยา, 2551) ได้จากสมการที่ (3)

$$R = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

โดยที่ R คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน X คือตัวแปรอิสระ และ Y คือตัวแปรตาม

$$SE = \frac{STD}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

โดยที่ SE คือค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน STD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ n คือจำนวนตัวอย่าง

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นจากหลายงานวิจัยที่ได้มีการศึกษานำเครื่องวัดความขุ่นมาใช้เพื่อดูแนวโน้มของปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำว่ามีปริมาณสูงหรือต่ำ เพราะจะมีผลต่อค่าความขุ่นของน้ำ การกัดเซาะ การพังทลายของหน้าดิน และความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำได้ (Downing, 2008) และความแตกต่างของสถานที่และอัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อสมการถดถอย (Randerson et al., 2005) ซึ่งจากงานวิจัยนี้การวิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจากจุดเก็บน้ำต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งและน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยการเจือจางโดยประมาณและไม่มีการเจือจางโดยประมาณ พบว่า น้ำเสียของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย จ. นครราชสีมาจากบ่อเติมอากาศที่ MA1 ที่ไม่มีการเจือจางโดยประมาณนั้นไม่สามารถวัดค่าความขุ่นได้ในบ่อเติมอากาศ (Table 1) เนื่องจากมีค่าความขุ่นเกินช่วงการวัดได้ของเครื่องมือวัด นั่นคือ 0-4000 NTU จึงต้องวิเคราะห์น้ำตัวอย่างได้ด้วยการประมาณการเจือจางก่อนที่ร้อยละการเจือจางที่ 20, 10, 5, 2 และ 0.1 ตามลำดับ ผลการศึกษานี้ MA2, MA3, MA4, MA5 และ MA6 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (R) เท่ากับ 0.96, 0.91, 0.90, 0.86 และ 0.83 ตามลำดับ และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) เท่ากับ 19.98, 14.09, 13.53, 7.69 และ 8.27 ตามลำดับ ซึ่ง MA2-MA6 (n=150) สามารถวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในช่วงระหว่าง 88.40 – 1000.00 mg/L และวัดค่าความขุ่นอยู่ในช่วงระหว่าง 19.00-1178.00 NTU ผลของค่า R มีค่าเท่ากับ 0.99 ค่า SE มีค่าเท่ากับ 16.26 โดยมีสมการถดถอยอย่างง่ายคือ  $SS(mg/L)=0.73(Turbidity)+85.26$  และน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย จ.นครราชสีมา พบว่า ME1, ME2, ME3, ME4, ME5 และ ME6 มีค่า R เท่ากับ 0.94, 0.94, 0.92, 0.88, 0.85 และ 0.93ตามลำดับ และค่า SE เท่ากับ 2.22, 1.69, 1.19, 1.05, 1.05 และ 0.82 ตามลำดับ ซึ่ง ME1-ME6 (n=180) สามารถวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในช่วงระหว่าง 14.00 - 83.00 mg/L และวัดค่าความขุ่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.58 - 66.80 NTU ผลของค่า R มีค่าเท่ากับ 0.98 ค่า SE มีค่าเท่ากับ 3.56 โดยมีสมการถดถอยอย่างง่ายคือ  $SS(mg/L) = 0.85(Turbidity) + 18.98$  ส่วนน้ำเสียของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จ.นครราชสีมาจากบ่อเติมอากาศที่ PA1 ที่ไม่มีการเจือจางโดยประมาณนั้นไม่สามารถวัดค่าความขุ่นได้ในบ่อเติมอากาศ และ PA2, PA3, PA4, PA5 และ PA6 มีค่า R เท่ากับ 0.89, 0.86, 0.83, 0.77 และ 0.79 ตามลำดับ และค่า SE เท่ากับ 20.55, 20.53, 10.77, 3.88 และ 3.59 ตามลำดับ ซึ่ง PA2-PA6 (n=150) สามารถวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในช่วงระหว่าง 23.00 - 1126.00 mg/L และวัดค่าความขุ่นอยู่ในช่วงระหว่าง 10.00 – 396.10 NTU ผลของค่า R มีค่าเท่ากับ 0.99 ค่า SE มีค่าเท่ากับ 33.47 โดยมีสมการถดถอยอย่างง่ายคือ  $SS(mg/L) = 3.14(Turbidity) - 17.69$  และน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 จ.นครราชสีมา พบว่า PE1, PE2, PE3, PE4, PE5 และ PE6 มีค่า R เท่ากับ 0.91, 0.91, 0.86, 0.79, 0.76 และ 0.47 ตามลำดับ และค่า SE เท่ากับ 1.83, 2.27, 1.16, 0.83, 0.53 และ 1.35 ตามลำดับ ซึ่ง PE1-PE6 (n=180) สามารถวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยได้อยู่ในช่วงระหว่าง 2.00 – 55.20 mg/L และวัดค่าความขุ่นได้อยู่ในช่วงระหว่าง 0.22 – 7.97 NTU โดยมีผลของค่า R เท่ากับ 0.87 และค่า SE มีค่าเท่ากับ 7.36 สมการถดถอยอย่างง่ายของโรงพยาบาลอนามัยศูนย์ที่ 5 คือสมการถดถอย  $SS(mg/L) = 5.16(Turbidity) + 11.66$  และน้ำเสียของบริษัท น้ำทิพย์ จำกัด(มหาชน)จากบ่อเติมอากาศ CA1, CA2, CA3, CA4, CA5 และ CA6 มีค่า R เท่ากับ 0.90, 0.92, 0.89, 0.86, 0.85และ 0.86 ตามลำดับ และค่า SE เท่ากับ 14.08, 13.17, 12.72, 6.44,



**Table 1** Analysis of the relationship between suspended solid and turbidity HACH 2100N of turbidimeter in activated sludge wastewater treatment plant.

Code	Sample	SS Concentration			Turbidity			Linear Regression*			Standard Error (SE)**
		Min (mg/L)	Max (mg/L)	Mean (mg/L)	Min (NTU)	Max (NTU)	Mean (NTU)	Slope (a)	Intercept (b)	Correlation Coefficient (r)	
ME1	30	57.00	83.00	69.24	52.30	66.80	60.60	1.54	-24.19	0.94	2.22
ME2	30	31.00	49.00	39.25	12.08	23.96	17.61	1.36	15.34	0.94	1.69
ME3	30	22.00	32.00	26.70	4.24	13.65	8.51	0.99	18.24	0.92	1.19
ME4	30	17.00	26.00	21.93	2.29	5.40	3.79	2.25	13.41	0.88	1.05
ME5	30	16.00	24.00	20.80	1.11	3.52	2.20	2.59	15.09	0.85	1.05
ME6	30	14.00	21.00	16.63	0.58	2.12	1.08	4.47	11.81	0.93	0.82
ME1-ME6	180	14.00	83.00	32.35	0.58	66.80	15.57	0.85	18.98	0.98	3.56
MA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA2	30	720.00	1000.00	8.06E2	916.00	1178.00	9.97E2	1.03	217.48	0.96	19.98
MA3	30	380.00	523.00	4.41E2	429.40	551.00	4.83E2	0.84	33.94	0.91	14.09
MA4	30	207.00	333.00	2.67E2	201.40	305.00	2.46E2	0.98	23.05	0.90	13.53
MA5	30	114.00	181.00	1.47E2	67.80	105.10	83.81	1.32	37.28	0.86	7.69
MA6	30	88.40	139.20	1.09E2	19.00	56.50	36.80	1.29	61.74	0.83	8.27
MA1-MR6	150	88.40	1000.00	3.53E2	19.00	1178.00	3.69E2	0.73	85.26	0.99	16.26
PE1	30	39.40	55.20	46.82	6.78	7.97	7.31	12.12	-41.79	0.91	1.83
PE2	30	19.00	42.50	30.97	1.26	2.18	1.69	21.43	-5.39	0.91	2.27
PE3	30	15.00	23.00	19.60	0.51	0.73	0.62	29.79	0.89	0.86	1.16
PE4	30	15.14	20.04	17.68	0.46	0.63	0.53	21.25	6.32	0.79	0.83
PE5	30	6.86	10.00	8.49	0.36	0.58	0.47	10.43	3.59	0.76	0.53
PE6	30	2.00	3.00	2.77	0.217	0.35	0.29	5.59	1.15	0.47	1.35
PE1-PE6	180	2.00	55.20	21.06	0.22	7.97	1.82	5.16	11.66	0.87	7.36

\*SS (mg/L) = a x Turbidity(NTU) + b

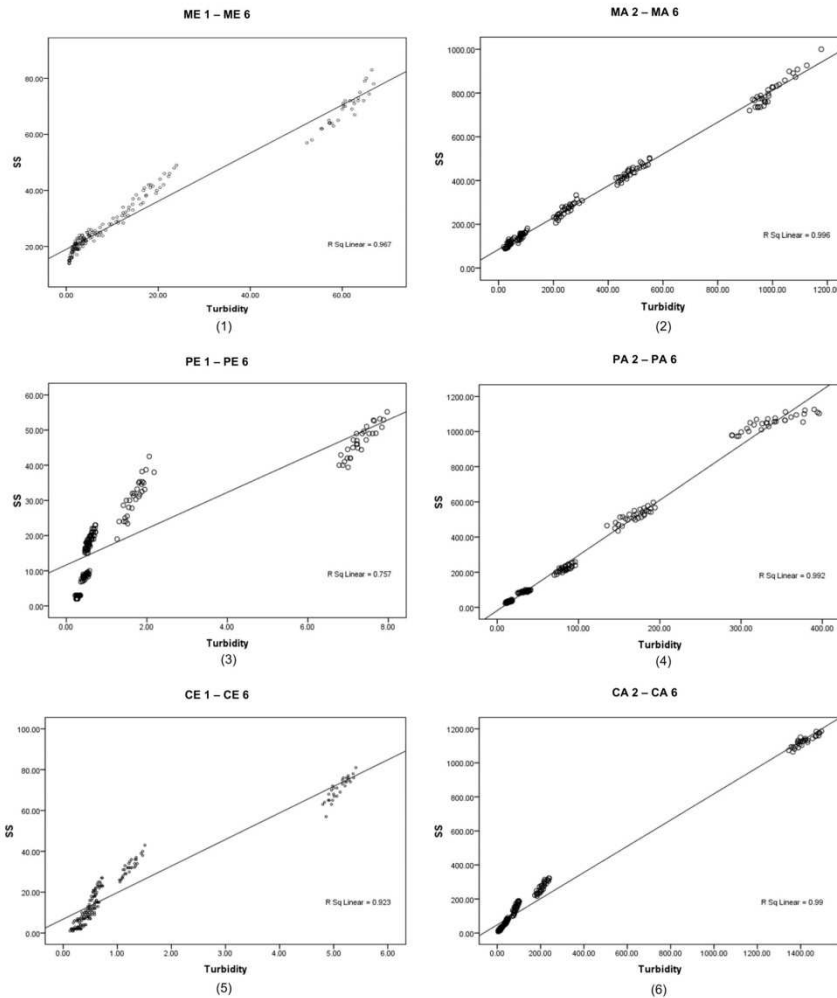
\*\*STD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน \*\*\*SE = ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

**Table 1** (continuous) Analysis of the relationship between suspended solid and turbidity HACH 2100N of turbidimeter in activated sludge wastewater treatment plant.

Code	Sample	SS Concentration			Turbidity			Linear Regression*			Standard Error (SE)***	
		Min (mg/L)	Max (mg/L)	Mean (mg/L)	Min (NTU)	Max (NTU)	Mean (NTU)	Slope (a)	Intercept (b)	Correlation Coefficient (r)		
PA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PA2	30	973.00	1126.00	1.05E3	289.00	396.18	3.38E2	32.01	1.26	624.65	0.89	20.55
PA3	30	435.00	597.00	5.20E2	135.00	194300	1.69E2	16.04	2.09	165.77	0.86	20.53
PA4	30	184.00	259.10	2.21E2	70.28	96.00	83.56	6.99	2.23	34.90	0.83	10.77
PA5	30	77.30	100.70	91.00	25.20	41.30	34.24	4.54	1.01	56.59	0.77	3.88
PA6	30	23.00	45.20	33.11	10.00	18.49	14.14	2.71	1.66	9.64	0.79	3.59
PA1-PA6	150	23.00	1126.00	3.83E2	10.00	396.10	1.28E2	119.78	3.14	-17.69	0.99	33.47
CE1	30	57.00	81.00	70.73	48.0	5.41	5.10	0.17	28.47	-74.48	0.89	2.48
CE2	30	25.00	43.00	32.56	1.04	1.51	1.24	0.13	30.51	-5.28	0.92	1.78
CE3	30	14.00	27.00	20.97	0.48	0.73	0.61	0.07	40.54	-3.80	0.87	1.60
CE4	30	9.00	16.00	12.37	0.34	0.66	0.52	0.09	18.29	2.85	0.82	1.18
CE5	30	5.00	10.00	7.41	0.19	0.58	0.39	0.11	9.99	3.52	0.80	0.82
CE6	30	1.00	4.00	2.49	0.12	0.42	0.26	0.08	8.85	0.156	0.78	0.59
CE1-CE6	180	1.00	81.00	24.42	0.12	5.41	1.35	1.71	12.99	6.82	0.96	6.47
CA1	30	1064.00	1186.00	1.13E3	1345.00	196.00	1.42E3	43.17	0.67	167.95	0.90	14.08
CA2	30	216.00	323.00	2.70E2	173.40	240.70	2.07E2	18.91	1.61	-62.51	0.92	13.17
CA3	30	97.00	190.00	1.48E2	66.70	102.00	85.88	9.28	2.65	-78.97	0.89	12.72
CA4	30	45.00	91.00	67.85	30.30	51.70	41.28	6.01	1.81	-6.99	0.86	6.44
CA5	30	12.00	41.00	24.93	10.30	27.10	15.81	4.19	1.51	1.03	0.85	3.97
CA6	30	8.00	23.00	15.84	4.30	10.30	7.42	1.68	2.07	0.51	0.86	2.50
CA1-CA6	180	8.00	1186.00	2.76E2	4.30	1496.00	29568E2	507.39	0.77	483.42	0.99	39.47

\*SS (mg/L) = a x Turbidity(NTU) + b

\*\*\*SE = ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน



**Figure 2** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่น โดยแยกแต่เป็นแต่ละแห่ง ดังนี้ (1) ME1-ME6 น้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลมหาราช (2) MA2-MA6 บ่อเติมอากาศของโรงพยาบาลมหาราช (3) PE1-PE6 น้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 (4) PA2-PA6 บ่อเติมอากาศของโรงพยาบาลศูนย์อนามัยที่ 5 (5) CE1-CE6 น้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด(มหาชน) (6) CA1-CA6 บ่อเติมอากาศของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด(มหาชน)

3.97 และ 2.50 ตามลำดับ ซึ่ง CA1-CA6 (n=180) สามารถวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในช่วงระหว่าง 8.00 – 1186.00 mg/L และวัดค่าความขุ่นอยู่ในช่วงระหว่าง 4.30 – 1496.00 NTU ผลของค่า R มีค่าเท่ากับ 0.99 ค่า SE มีค่าเท่ากับ 39.47 โดยมีสมการถดถอยอย่างง่ายคือ  $SS(mg/L) = 0.77(Turbidity) + 483.42$  ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด(มหาชน) พบว่า CE1, CE2, CE3, CE4, CE5 และ CE6 มีค่า R เท่ากับ 0.89, 0.92, 0.87, 0.82, 0.80 และ 0.78 ตามลำดับ และค่า SE เท่ากับ 2.48, 1.78, 1.60, 1.18, 0.82 และ 0.59 ตามลำดับ ซึ่ง CE1-CE6 (n=180) สามารถวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในช่วงระหว่าง 1.00 – 81.00 mg/L และวัดค่าความขุ่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.12 - 5.41 NTU ผลของค่า R มีค่าเท่ากับ 0.96 ค่า SE มีค่าเท่ากับ 6.47 โดยมีสมการถดถอยอย่างง่ายคือ  $SS(mg/L) = 12.99(Turbidity) + 6.82$  การวิเคราะห์ค่าความขุ่นนี้ น้ำตัวอย่างที่อยู่ในหลอดตัวอย่าง (Cuvett) ต้องมีการผสมรวมกันให้เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อใส่ลงในช่องตัวอย่างให้บันทึกในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ในช่วงระยะเวลา 5-15 วินาที (Sadar, 1996) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ค่าเฉลี่ยนั้นเป็นค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่าง แสงจะส่องไปยังอนุภาค ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงที่กระทบกับอนุภาค เปลี่ยนไป แสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงจะให้ค่าความยาวคลื่นที่อยู่ในช่วง 400-600 นาโนเมตร (USEPA, 1999) ความขุ่นนั้นถูกจากใช้เพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำแล้ว ยังใช้เพื่อการพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและการตกตะกอนของสารแขวนลอยในลุ่มน้ำ โดยประเมินได้ข้อมูลการตรวจวัดความขุ่น (Marquis, 2005) ทั้งนี้ความสัมพันธ์ที่ดีของค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นมีค่า R อยู่ในช่วง 0.716-0.999 (Suk et al., 1998) ความสัมพันธ์ของสมการถดถอยจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำและเครื่องวัดความขุ่นที่ใช้ในการศึกษาด้วย

#### สรุปผลการวิจัย

ความขุ่นถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการนำไปใช้เพื่อตรวจติดตามควบคุมคุณภาพน้ำทั้งในระบบประปา น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ และแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งจะใช้หลักการตรวจวัดด้วยหลักการวิธีเนฟโลเมตริก (Nephelometric Method) การใช้เครื่องวัดความขุ่นด้วยหลักการเนฟโลเมตริกนี้เป็นวิธีการที่วัดความขุ่นได้อย่างสะดวก รวดเร็ว โดยอาศัยหลักการกระจายของแสงไปยังอนุภาค จากการประยุกต์ใช้เครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N ทั้งนี้ยังต้องดูปัจจัยอื่นๆ ก่อนที่จะนำค่าความขุ่นมาใช้ในการประมาณค่าปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนแฉะ อาทิเช่น เวลาในการวัดค่าความขุ่นซึ่งเวลาที่เหมาะสมต่อการอ่านค่าจะต้องไม่ข้ามเกินไปที่อนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนได้ สรุปได้ว่าการประมาณค่าปริมาณสารแขวนลอยสามารถทำได้ด้วยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นด้วยเทคนิควิเคราะห์ความสัมพันธ์ถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression) ซึ่งนำไปสู่การนำไปใช้ประโยชน์ในการเดินระบบและการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียนั้น ซึ่งช่วยให้การตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยได้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วกว่าการกรองด้วยวิธีวัดด้วยกระดาษกรองตามวิธีมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป

#### เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2551 . การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล .โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.  
 มั่นสิน ดันทุลเวศม์. 2543. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

- APHA, AWWA and WEF, 1998. **Standard methods for the examination of water and wastewaters.** (20th ed.). American Public Health Association, Washington, D.C., pp. 2-8 to 2-11. Fibers' Diploma Thesis, Dept. Chem. Eng., Aristotle Univ. of Thessaloniki (in greek).
- Brown, T.E., LeMay, H.E. and Bursten, T.E. 2005. **Chemistry: The Central Science.** Prentice Hall.
- Downing, J. 2008. **Comparison of Suspended Solids Concentration (SSC) and Turbidity.** Campbell Scientific, Inc. Application note.
- Hach company. 1995. **Model 2100N Laboratory Turbidimeter Instruction Manual:**1-79.
- Marquis, P. 2005. **Turbidity and Suspended Sediment as Measures of Water Quality.**
- Packman, J., Jame, Karen, J.C. and Boot, B.D. 2000. **Using Turbidity of Determine Total Suspended Solids in Urbanizing Steams in The Puget Lowlands.**
- Pavelich, M.P. 2002. Turbidity Studies at The National Water Quality Laboratory. **Turbidity and Other Surrogates Workshop Reno**, April 30–May2 2002.
- Randerson, T.J.; Fink, J.C.; Fermanich, K.J.; Baumgart, P.; Ehlinger, T. 2005. **Total Suspended Solids-Turbidity Correlation in Northeastern Wisconsin Streams.** American Water Resources Association Wisconsin Section Annual Meeting, Delavan, WI, 3-4 March 2005.
- Sadar, M.J. 2002. Turbidity instrumentation – an over-view of today's available technology. **Turbidity and Other Surrogates Workshop Reno**, April 30–May2, 2002.
- Sadar, M.J., 1996. **Determining Correlation of Nephelometric Turbidity Measurement to Suspended Solids in Industrial Samples.** Hach Inc. Technical Information 1996.
- Suk, N.S., Guo, Q. and Psuty, N.P., 1998, **Feasibility of using a Turbidimeter to Quantity Suspended Solids concentration in a Tidal saltmarch Greek.** Estuarine Coastal and shelf science., 46: 383-391.
- USEPA, 1993. Determination of Turbidity by Nephelometry (Method 180.1). **Methods for the Determination of Inorganic Substances in Environmental Samples.** Washington, D.C., United States, United States Environmental Protection Authority.
- USEPA, 1999. **EPA Guidance Manual Turbidity Provisions**, Chapter 3. Turbidity Methods and Measurement. Washington, D.C., United States, United States Environmental Protection Authority.
- Yamane T. 1970 **Statistic and Introductory Analysis.** 2nd Ed. Tokyo. John Weatherhill.



## ประวัติผู้เขียน

นางสาวอรุณิชา ศรีจันทร์ เกิดเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2527 ที่จังหวัดมหาสารคาม สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย จากโรงเรียนสารคามพิทยาคม จังหวัดมหาสารคาม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2550 ในปีเดียวกันหลังจากสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีได้เข้าศึกษาต่อในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ณ สถาบันเดิม และในระหว่างที่ทำการศึกษาได้เสนอผลงานวิชาการในการประชุมทางวิชาการ ประจำปี 2553 เรื่อง **“การประยุกต์ใช้เครื่องวัดความขุ่นในการตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง”** ในวันที่ 26 พฤษภาคม 2553 ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้