



**แบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจนสำหรับ
พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา**
An Integrated Nitrogen Effect Model for U-tapao Sub-basin

สุวลี ชูวานิชย์
Suvalée Chuvanich

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Doctor of Philosophy in Environmental Management**

Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจนสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย คลองอู่ตะเภา
ผู้เขียน	นางสาวสุลาลี ชูวานิชย์
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิตาการ)	ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรไชย รัตนไชย)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรกรณ์ ดิษฐกิจ)
..... (รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)	กรรมการ (ดร.ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์)
..... (ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)	กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิตาการ)
	กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ
สิ่งแวดล้อม

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

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคล
ที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิตาการ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวสุวลี ชูวณิชย์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน
และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวสุวลี ชูวณิชย์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจนสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา
ผู้เขียน	นางสาวสุวิธ ชูวานิชย์
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาแบบจำลองโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายผลกระทบของไนโตรเจนในคลองอู่ตะเภา โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา 2) การพัฒนาแบบจำลองที่ใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์เพื่อประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนในคลองอู่ตะเภาบริเวณจุดตรวจวัดสะพานมหาวิทยาลัยหาดใหญ่ (UT16) ในการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำจะใช้เทคนิคดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (WQI) ซึ่งประเมินจากคุณภาพน้ำ 5 พารามิเตอร์ คือ DO BOD TCB FCB และ $\text{NH}_3\text{-N}$ โดยใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอู่ตะเภาจำนวน 21 จุดตรวจวัดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554-2558 และใช้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ของเกณฑ์คุณภาพน้ำที่ประเมินจาก WQI มาจัดกลุ่มจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบเคมีน จากผลการวิเคราะห์พบว่าคุณภาพน้ำมีแนวโน้มเสื่อมโทรมมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณปลายน้ำของคลองอู่ตะเภา จุดตรวจวัดที่คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมจะอยู่บริเวณที่มีโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน

ข้อมูลคุณภาพน้ำ 6 พารามิเตอร์ คือ EC pH ค่าความขุ่น DO $\text{NH}_3\text{-N}$ ค่าอัตราการไหลถูกวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับ $\text{NO}_3\text{-N}$ ซึ่งพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง EC และ $\text{NO}_3\text{-N}$ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันสูงที่สุด ($r=0.87$) เมื่อเทียบกับค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและ $\text{NO}_3\text{-N}$ มีความสัมพันธ์กันสูงที่สุดในทิศทางตรงกันข้าม ($r=-0.59$) และมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางเมื่อพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 2 รูปแบบ คือ Feed-Forward Back Propagation (FFBP) และ Cascade-Forward Back Propagation (CFBP) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทำนายปริมาณ $\text{NO}_3\text{-N}$ โดยมี EC และอัตราการไหลเป็นข้อมูลนำเข้าจำนวนข้อมูล 96 ชุดข้อมูลในช่วงเดือนธันวาคม 2557 ถึงมีนาคม 2558 ในงานวิจัยครั้งนี้พบว่าโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดคือแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ FFBP ซึ่งประกอบด้วย 2 neurons ในชั้นข้อมูลนำเข้า 20 neurons ในชั้นซ่อนที่หนึ่ง 30 neurons ในชั้นซ่อนที่สอง (2-20-30-1) และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP ให้ค่าประสิทธิภาพ

ในการทำนาย NO_3^- -N ที่ดีกว่าสถาปัตยกรรม CFBP เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการทำนาย NO_3^- -N ระหว่างการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP ที่ดีที่สุดพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าการวิเคราะห์การถดถอย

ในการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์เพื่อประมาณการการระบรทุกไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกานั้น ในขั้นต้นผู้วิจัยเลือกใช้แบบจำลอง GWLF เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับพื้นที่ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณและคุณภาพของข้อมูลที่ใช้จำลอง ผลการจำลองที่ได้สอดคล้องงานวิจัยในพื้นที่ที่ใช้แบบจำลองซึ่งมีความสลับซับซ้อนสูงกว่า ข้อมูลที่ได้จากการจำลองถูกใช้เป็นข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองอ้างอิงของแบบจำลองโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ซึ่งอาศัยหลักการแบบปรับแต่งฟังก์ชันสมาชิก โดยตรวจสอบผลการจำลองที่ได้กับแบบจำลองอ้างอิงและการระบรทุกไนโตรเจนที่ประมวลผลมาจากค่า EC และอัตราการไหลที่ตรวจวัดจริง จุดเด่นของแบบจำลองนี้คือความสามารถในการปรับการทำนายให้สอดคล้องกับสภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกาที่อาจจะเปลี่ยนแปลงโดยที่ไม่ต้องอาศัยการปรับแต่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองใหม่

จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นผู้วิจัยได้นำไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการระบรทุกไนโตรเจนในลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาในสถานการณ์ต่าง ๆ ดังนี้ 1) การสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมในพื้นที่เทศบาล 2) การระบายน้ำทิ้งตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ผลการศึกษาพบว่าการสร้างระบบบำบัดดังกล่าวมีผลกระทบน้อยต่อการระบรทุกไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในคลองอุต๊ะเกาเนื่องจากการระบรทุกไนโตรเจนส่วนใหญ่เกิดขึ้นมาจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอนในพื้นที่

คำสำคัญ : คลองอุต๊ะเกา การประมาณการการระบรทุกไนโตรเจน แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม GWLF แบบจำลองโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์

Thesis Title	An Integrated Nitrogen Effect Model for U-tapao Sub-basin
Author	Miss Suvalee Chuvanich
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2016

ABSTRACT

The aim of this research was to develop the integrated artificial intelligence (AI) model to predict nitrogen effects at U-tapao canal. The research was split into two parts: 1) the water quality data analysis and 2) the development of AI model to predict the nitrate nitrogen (NO_3^- -N) concentration in the U-Tapao canal. A water quality index (WQI) which consists of five parameters, namely dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total coliform bacteria, fecal coliform bacteria, and ammonia nitrogen was used to analyze the water quality. Water samples were collected from 21 sampling sites during 2011–2015. K-means clustering analysis was used to cluster the groups of surface water quality in each sampling site by the percentage of WQI classification criteria. The results show that the surface water quality tends to be decadence, especially in the downstream of U-tapao canal. The problem areas are industrial areas and urban areas.

The relationships between the daily values of six water quality parameters (EC, pH, turbidity, DO, ammonia-nitrogen (NH_3 -N), and NO_3^- -N) and the flow rates were analyzed using correlation analysis. The correlation shows a very strong positive correlation ($r=0.87$) between EC and NO_3^- -N, while the flow rate and NO_3^- -N produced the largest negative relationship ($r=-0.59$) and moderate positive correlation.

Two types of four layer ANNs of the feed-forward back propagation (FFBP) and cascade-forward back propagation (CFBP) types were constructed for the prediction of the level of NO_3^- -N in the U-Tapao canal. Ninety six of EC and flow rate data, which were collected daily from December 2014 to March 2015, were used as inputs of the ANNs. It is found that the four layer FFBP with 2 neurons in the input layer, 20 neurons in the first hidden layer, 30 neurons in the second hidden layer (2-20-30-1), and a single neuron in the output layer with a tan-sigmoid transfer function is the optimal model. The FFBP model produces more accurate results than the CFBP model. Linear regression analysis was used to predict NO_3^- -N, the regression analysis results were compared with the results of the ANNs and the performance of the ANNs was better than that of the linear regression analysis.

To model nitrogen loading under limited relevant water data, in both quality and quantity, GWLF was selected. The output data, which are comparable to the data obtained from existing complex models, obtained from running this model were then used to train the neural network which was used as the reference model for the developed AI-based nitrogen loading model. This model employs a fuzzy logic unit with an adjustable output membership functions. This adjustment is dependent on the differences of monthly predicted nitrogen loads and the values from both the reference model and measurement. The advantage of this approach is that, without recalibration, the system model will adjust the rule base of the fuzzy unit to reflect changes in parameters in the canal.

The system model was then used to study the nitrogen loading under two scenarios, 1) the investment of municipal central waste water treatment systems and 2) the regulation of waste water discharges from factories. It is found that the investment has small impact to nitrogen loading due to main nitrogen loads are from point sources in the area.

Keywords: U-Tapao canal; nitrate nitrogen concentration prediction; artificial neural network model; GWLF; AI-based water quality models

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และการแก้ไขข้อบกพร่องจากบุคคลหลายท่าน โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษาคือ รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวภิทาการ รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนูและ ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดาราที่คอยช่วยเหลือและติดตามความก้าวหน้าอยู่เสมอ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมและภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ทั้งรองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรไชย รัตนไชย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรกรณ์ ดิษฐกิจ และอาจารย์ ดร.ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์ ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 สำนักงานชลประทานที่ 16 ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคใต้ การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ ศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติ ภาคใต้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลอง

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัว ตลอดจนเพื่อน นักศึกษาหัส 54 หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมและเพื่อนในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุวลี ชูวานิชย์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(10)
รายการตาราง.....	(14)
รายการภาพ	(17)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำถามวิจัย (Research Questions)	3
1.2 วัตถุประสงค์ (Objective of Research Project)	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่	4
1.3.2 ขอบเขตของแบบจำลอง	4
1.3.3 ขอบเขตของข้อมูล	4
1.4 วิธีการวิจัย (Research Methodology)	5
1.4.1 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา	6
1.4.2 การพัฒนาแบบจำลอง	6
1.4.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ไนโตรเจนและวัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen and Nitrogen Cycle)	8
2.1.1 วัฏจักรไนโตรเจน.....	9
2.1.2 ไนโตรเจนในแหล่งน้ำและผลกระทบของไนโตรเจนต่อแหล่งน้ำ	11
2.2 แบบจำลอง GWLF	12
2.3 เทคนิคด้านปัญญาประดิษฐ์	15
2.3.1 โครงข่ายประสาทเทียม	16
2.3.2 ฟัซซีลอจิก	23
2.3.3 ตัวควบคุมฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับแบบจำลองอ้างอิง.....	29
บทที่ 3 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา	31
3.1 พื้นที่ศึกษา: พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา.....	31
3.1.1 ขอบเขตและที่ตั้ง	31
3.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ	33
3.1.3 ลักษณะภูมิอากาศ.....	33
3.1.4 ลักษณะทางอุทกวิทยา.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.5 ทรัพยากรดิน	39
3.1.6 การใช้ประโยชน์ที่ดิน	41
3.1.7 จำนวนประชากร	41
3.1.8 โรงงานอุตสาหกรรม.....	44
3.1.9 ปศุสัตว์	45
3.1.10 คุณภาพน้ำในคลองอุตะเถา	46
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	53
3.2.1 การประเมินภาพรวมของคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถา	53
3.2.2 การหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนกับ ค่าคุณภาพน้ำค่าอื่น	61
บทที่ 4 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนาย ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน ในคลองอุตะเถา	65
4.1 ข้อมูลนำเข้าในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย คลองอุตะเถา	65
4.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท- ไนโตรเจนในคลองอุตะเถา	69
4.3 ผลการทดสอบ.....	70
บทที่ 5 แบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจนสำหรับ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย คลองอุตะเถา.....	78
5.1 การคัดเลือกแบบจำลอง	78
5.1.1 วัตถุประสงค์ของการจำลอง	78
5.1.2 ความพร้อมของข้อมูล.....	80
5.1.3 ความคุ้มค่า.....	80
5.2 การรวบรวมและการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง GWLF	81
5.2.1 พื้นที่ศึกษา.....	81
5.2.2 ข้อมูลสำหรับการประมวลผลแบบจำลอง GWLF.....	81
5.2.3 ข้อมูลสำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง GWLF	86
5.3 การใช้แบบจำลอง GWLF ในการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจน	86
5.3.1 การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ.....	86

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.2 การนำเข้าข้อมูล.....	86
5.3.3 การสร้างไฟล์นำเข้าแบบจำลอง GWLF	87
5.4 การสอบเทียบแบบจำลอง GWLF	87
5.5 ผลการปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)	88
5.5.1 ผลการสอบเทียบปริมาณน้ำ.....	88
5.5.2 ผลการสอบเทียบภาระบรรทุกไนโตรเจน.....	90
5.6 แบบจำลองที่เรียนรู้การพยากรณ์ของฟิซซีลอจิกแบบแบบจำลองอ้างอิง.....	92
5.6.1 หลักการสร้างข้อมูลพยากรณ์	92
5.6.2 แบบจำลองการเรียนรู้การพยากรณ์ของฟิซซีลอจิกแบบแบบจำลองอ้างอิง (Fuzzy Model Reference Learning Predictor, FMRLP)	93
5.6.3 การทดสอบแบบจำลองการเรียนรู้การพยากรณ์ของฟิซซีลอจิกแบบ แบบจำลองอ้างอิง	98
บทที่ 6 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง	102
6.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในประเทศไทย.....	102
6.2 การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ)	105
6.2.1 ปัญหาด้านคุณภาพน้ำ.....	106
6.2.2 เทคโนโลยีที่ใช้อยู่และความต้องการเพื่อแก้ปัญหาคุณภาพน้ำ.....	106
6.2.3 การใช้ประโยชน์แบบจำลอง	107
6.2.4 ความร่วมมือในการแก้ปัญหาคุณภาพน้ำกับมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ..	107
6.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง.....	108
6.3.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในเรื่องการบำบัดน้ำเสียชุมชน	109
6.3.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในเรื่องมาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจาก โรงงานอุตสาหกรรม	110
6.4 แผนบริหารจัดการภาระบรรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา	111
6.4.1 แผนบริหารจัดการคุณภาพน้ำระยะสั้น.....	111
6.4.2 แผนบริหารจัดการคุณภาพน้ำระยะกลาง.....	112
6.4.3 แผนบริหารจัดการคุณภาพน้ำระยะยาว.....	112
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	116
7.1 สรุปผล.....	116

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	118
บรรณานุกรม.....	119
ภาคผนวก.....	128
ประวัติผู้เขียน.....	135

รายการตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	ข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง	5
ตารางที่ 2.1	ดัชนีคุณภาพน้ำและแหล่งที่มาของมลพิษที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ	8
ตารางที่ 2.2	ผลกระทบของไนโตรเจนต่อแหล่งน้ำ	11
ตารางที่ 2.3	ตารางเปรียบเทียบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับโครงสร้างสมองมนุษย์	18
ตารางที่ 2.4	โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินค่าออกซิเจน ละลายน้ำและความสกปรกในรูปสารอินทรีย์	20
ตารางที่ 2.5	โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าออกซิเจน ละลายน้ำในฟาร์มเลี้ยงปลา	22
ตารางที่ 2.6	โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าออกซิเจน ละลายน้ำ	23
ตารางที่ 2.7	ตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองฟิชชีลอจิก.....	28
ตารางที่ 3.1	ชุดดินที่พบมากในลุ่มน้ำคลองอุตะเกา	40
ตารางที่ 3.2	เนื้อดินที่พบในลุ่มน้ำคลองอุตะเกา.....	40
ตารางที่ 3.3	การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกาปี 2545 2552 และ 2555	41
ตารางที่ 3.4	จำนวนประชากรที่ลงทะเบียนในเขตและนอกเขตเทศบาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย คลองอุตะเกาแยกเป็นรายอำเภอ.....	43
ตารางที่ 3.5	จำนวนปศุสัตว์ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาปี พ.ศ. 2555	45
ตารางที่ 3.6	ข้อมูลและจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาของสำนักงาน สิ่งแวดล้อมภาค 16	49
ตารางที่ 3.7	ข้อมูลและจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในคลองอุตะเกาของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่.....	50
ตารางที่ 3.8	ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุตะเกา UT01-UT21 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553-2558 ที่ตรวจวัดโดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 (406 ชุดข้อมูล)	50
ตารางที่ 3.9	ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุตะเกา UTC1- UTC3 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2558 ที่ตรวจวัดโดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 (129 ชุดข้อมูล)	51
ตารางที่ 3.10	ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุตะเกา ที่ผู้วิจัยตรวจวัดตั้งแต่เดือน มกราคม-กรกฎาคม 2558 (95 ชุดข้อมูล)	52
ตารางที่ 3.11	ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุตะเกา ที่ตรวจวัดโดยการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (550 ชุดข้อมูล)...	52

รายการตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 3.12 สมการการคิดคะแนน WQI เทียบกับค่าคุณภาพน้ำ.....	55
ตารางที่ 3.13 เกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงค่าคะแนน.....	56
ตารางที่ 3.14 ข้อมูลคุณภาพน้ำที่จุดตรวจวัด UT16 ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (146 ชุดข้อมูล).....	61
ตารางที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพน้ำกับความเข้มข้นของไนเตรท- ไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัด P1 (UT16) ตั้งแต่ธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (146 ชุดข้อมูล)	61
ตารางที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพน้ำกับความเข้มข้นของไนเตรท- ไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัด P2 ตั้งแต่ธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (146 ชุดข้อมูล)	62
ตารางที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพน้ำกับความเข้มข้นของไนเตรท- ไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัด P3 ตั้งแต่ธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (146 ชุดข้อมูล)	62
ตารางที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพน้ำกับความเข้มข้นของไนเตรท- ไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัด P4 ตั้งแต่ธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (146 ชุดข้อมูล)	62
ตารางที่ 3.19 ระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	63
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลอัตราการไหลและดัชนีคุณภาพน้ำที่สถานีตรวจวัด UT16 ในช่วงเดือนธันวาคม 2557-มีนาคม 2558 (96 ชุดข้อมูล).....	66
ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีคุณภาพน้ำ 6 พารามิเตอร์และ อัตราการไหลที่สถานีตรวจวัด UT16 ในช่วงเดือนธันวาคม 2557-มีนาคม 2558 (96 ชุดข้อมูล).....	66
ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของ การใช้ตัววัดทดแทน	68
ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP CFBP และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นในการทำนายความเข้มข้น ของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอู่ตะเภา ที่สถานีตรวจวัด UT16 (96 ชุดข้อมูล). 73	73
ตารางที่ 5.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2555 ในพื้นที่ศึกษา	83
ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเพื่อสอบเทียบปริมาณน้ำท่า	88
ตารางที่ 5.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเพื่อสอบเทียบภาระบรรทุกไนโตรเจน	90

รายการตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 6.1	มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับไนเตรท.....	103
ตารางที่ 6.2	มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจน (โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม)	103
ตารางที่ 6.3	มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจน (ชุมชน)	104
ตารางที่ 6.4	มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจน (ฟาร์มและบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์)	104
ตารางที่ 6.5	พื้นที่จำหน่ายและให้บริการน้ำประปาในอำเภอหาดใหญ่ของการประปา ส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่.....	105
ตารางที่ 6.6	ข้อมูลสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่.....	105
ตารางที่ 6.7	ผลการจำลองที่เกิดจากการมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมในพื้นที่เทศบาล	109
ตารางที่ 6.8	ผลกระทบที่เกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งเกินและน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมในปี 2559.....	110
ตารางที่ 6.9	ผลการจำลองที่เกิดจากการมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมในพื้นที่เทศบาลโดย พิจารณาเฉพาะน้ำเสียชุมชน	111
ตารางที่ 6.10	แผนบริหารจัดการการระบรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย คลองอู่ตะเภาระยะสั้น	113
ตารางที่ 6.11	แผนบริหารจัดการการระบรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย คลองอู่ตะเภาระยะกลาง	114
ตารางที่ 6.12	แผนบริหารจัดการการระบรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย คลองอู่ตะเภาระยะยาว	115

รายการภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	ภาพรวมของแบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจน	3
ภาพที่ 1.2	วิธีการวิจัยเพื่อการพัฒนาแบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจน	5
ภาพที่ 2.1	วัฏจักรไนโตรเจน	10
ภาพที่ 2.2	หลักการทำงานของ GWLF	13
ภาพที่ 2.3	นิเวศในหนองมนุษย์	16
ภาพที่ 2.4	องค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม	17
ภาพที่ 2.5	นิเวศเดี่ยวแบบอินพุตเดี่ยว	18
ภาพที่ 2.6	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	19
ภาพที่ 2.7	โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่มี R อินพุต	19
ภาพที่ 2.8	ขั้นตอนการการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	21
ภาพที่ 2.9	Block Diagram ภาพรวมของระบบแสดงค่าคุณภาพน้ำแบบออนไลน์	22
ภาพที่ 2.10	ตัวอย่างฟังก์ชันสมาชิก	24
ภาพที่ 2.11	ตัวอย่างฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปร	25
ภาพที่ 2.12	โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลของระบบฟัซซี่ลอจิก	25
ภาพที่ 2.13	ภาพรวมของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก	26
ภาพที่ 2.14	ตัวอย่างค่าคุณภาพน้ำในทะเลสาบ Eber	27
ภาพที่ 2.15	แผนภาพข้อมูลนำเข้าและข้อมูลออกของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก	27
ภาพที่ 2.16	โครงสร้างของตัวพยากรณ์ฟัซซี่ที่เรียนรู้เทียบกับแบบจำลองอ้างอิง	29
ภาพที่ 3.1	ขอบเขตลุ่มน้ำย่อยและจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	32
ภาพที่ 3.2	ขอบเขตอำเภอในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา	33
ภาพที่ 3.3	ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาปี พ.ศ. 2545-2559 ..	35
ภาพที่ 3.4	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยแบบรายเดือนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา ปี พ.ศ. 2545-2559	35
ภาพที่ 3.5	อุณหภูมิเฉลี่ยแบบรายเดือนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาปี พ.ศ. 2550-2559	36
ภาพที่ 3.6	อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาปี พ.ศ. 2550-2559	36
ภาพที่ 3.7	พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยและสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำและอากาศในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ...	37
ภาพที่ 3.8	อัตราการไหลเฉลี่ยรายปีในคลองอู่ตะเภาปี พ.ศ. 2550-2559	38
ภาพที่ 3.9	ข้อมูลปริมาณน้ำเฉลี่ยแบบรายเดือนในคลองอู่ตะเภาปี พ.ศ. 2550-2559	39
ภาพที่ 3.10	การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2555	42
ภาพที่ 3.11	จำนวนประชากรที่ลงทะเบียนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา	42

รายการภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.12 จำนวนโรงงานประเภทที่ 3 ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาแยกตามรายอำเภอ ..	44
ภาพที่ 3.13 จำนวนปศุสัตว์ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาปี พ.ศ. 2555	
แยกตามรายอำเภอ	46
ภาพที่ 3.14 จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา	47
ภาพที่ 3.15 จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถาของการประปาส่วนภูมิภาค	
สาขาหาดใหญ่	48
ภาพที่ 3.16 ภาพรวมของการประเมินคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถา	53
ภาพที่ 3.17 การจัดกลุ่มเกณฑ์คุณภาพน้ำในคลองอุตะเถาด้วยวิธีการแบบเคมีน	55
ภาพที่ 3.18 เปอร์เซ็นต์เกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของพื้นที่	
ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาปี พ.ศ. 2547-2557	57
ภาพที่ 3.19 เปอร์เซ็นต์เกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของพื้นที่	
ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาปี พ.ศ. 2554-2556	58
ภาพที่ 3.20 เปอร์เซ็นต์เกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของพื้นที่	
ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาปี พ.ศ. 2557-2558	58
ภาพที่ 3.21 กลุ่มคุณภาพน้ำของสถานีวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา	59
ภาพที่ 4.1 ข้อมูลความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน ค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการไหล	67
ภาพที่ 4.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน ...	69
ภาพที่ 4.3 ค่า $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ที่ทำนายด้วยแบบจำลอง FFBP (ฟังก์ชันถ่ายโอน tan-sigmoid	
ในชั้นออก) และค่า $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ที่ตรวจวัดจริงในคลองอุตะเถา	74
ภาพที่ 4.4 ค่า $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ที่ทำนายด้วยแบบจำลอง CFBP (ฟังก์ชันถ่ายโอน tan-sigmoid	
ในชั้นออก) และค่า $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ที่ตรวจวัดจริงในคลองอุตะเถา	75
ภาพที่ 4.5 ค่า $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ที่ทำนายด้วยสมการ Regression และค่า $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ที่ตรวจวัดจริง	
ในคลองอุตะเถา	76
ภาพที่ 4.6 ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่มีการตรวจวัดและค่าที่ได้จากการทำนาย	
โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง ...	77
ภาพที่ 4.7 ข้อมูลที่วัดจริงและค่าที่ทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนโดยแบบ	
จำลองโครงข่ายประสาทเทียมในคลองอุตะเถา ที่สถานีตรวจวัด UT16	77
ภาพที่ 5.1 การประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนด้วยแบบจำลอง GWLF	79
ภาพที่ 5.2 แผนที่ระดับความสูงเชิงตัวเลขและขอบเขตพื้นที่ศึกษาในลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	
ปี 2560	82

รายการภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 5.3 คุณลักษณะทางอุทกวิทยาของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา	84
ภาพที่ 5.4 โรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาที่มีน้ำเสียและระบายน้ำทิ้ง	85
ภาพที่ 5.5 เกณฑ์ในการใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ สำหรับกำหนดระดับประสิทธิภาพของแบบจำลอง	88
ภาพที่ 5.6 ผลการสอบเทียบปริมาณน้ำท่าบริเวณ UT16 (100 ข้อมูล)	89
ภาพที่ 5.7 ผลการสอบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนบริเวณ UT16 (100 ข้อมูล)	89
ภาพที่ 5.8 ผลการสอบเทียบภาระบรรทุกไนโตรเจนบริเวณ UT16 (29 ข้อมูล)	91
ภาพที่ 5.9 ผลการสอบเทียบภาระบรรทุกไนโตรเจนทั้งหมดบริเวณ UT16 จากน้อยไปหามาก (29 ข้อมูล)	91
ภาพที่ 5.10 หลักการสร้างข้อมูลพยากรณ์	92
ภาพที่ 5.11 หลักการสร้างข้อมูลพยากรณ์แบบใช้แบบจำลองอ้างอิง	93
ภาพที่ 5.12 แบบจำลองการเรียนรู้การพยากรณ์ของพีชชีลอจิกแบบแบบจำลองอ้างอิง	94
ภาพที่ 5.13 รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกด้านข้อมูลออกก่อนและหลังการปรับปรุง	95
ภาพที่ 5.14 รูปร่างของ Surface Plot ก่อนและหลังการปรับปรุง	96
ภาพที่ 5.15 แบบจำลอง FMRLP ที่พัฒนามาบน MATLAB Simulink	97
ภาพที่ 5.16 ส่วนประกอบของแบบจำลอง FMRLP ที่พัฒนามาบน MATLAB Simulink	97
ภาพที่ 5.17 ภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ประมาณการโดยแบบจำลอง FMRLP และที่ตรวจวัด	98
ภาพที่ 5.18 ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ประมาณการโดยแบบจำลอง FMRLP และ ที่ตรวจวัด	99
ภาพที่ 5.19 ภาระบรรทุกไนโตรเจนในช่วงฤดูแล้ง	99
ภาพที่ 5.20 ภาระบรรทุกไนโตรเจนในช่วงฤดูฝน	100
ภาพที่ 6.1 เปอร์เซ็นต์ภาระบรรทุกไนโตรเจนจากแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ	108

บทที่ 1

บทนำ

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ เช่น การอุปโภค การบริโภค การเกษตรกรรม การอุตสาหกรรม การคมนาคมทางน้ำ การสันทนาการโดยเป็นแหล่งท่องเที่ยวพักผ่อนหย่อนใจและแหล่งกีฬาทางน้ำ การชำระล้างและเป็นแหล่งระบายน้ำเสียของมนุษย์ เป็นต้น แม้น้ำจะมีการหมุนเวียนตามวัฏจักรของน้ำอยู่ตลอดเวลา แต่การใช้น้ำอย่างขาดความระมัดระวังจะทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ และไม่สามารถนำน้ำมาใช้ได้ ส่งผลให้เกิดสภาวะการขาดแคลนน้ำขึ้นได้

ปัญหาทางด้านมลพิษทางน้ำนับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น สาเหตุที่สำคัญ คือ การเพิ่มขึ้นของประชากร ทำให้เกิดความต้อการน้ำมากยิ่งขึ้นโดยส่วนใหญ่หลังจากการนำน้ำมาใช้ประกอบกิจกรรมต่างๆ แล้วน้ำนั้นจะมีสภาพเป็นน้ำเสีย ปนเปื้อนด้วยสารเคมี สารประกอบต่างๆ หรือมีคุณภาพที่ไม่ได้มาตรฐาน แล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทำให้เกิดภาวะมลพิษทางน้ำขึ้น ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำนั้นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามนุษย์ยังใช้น้ำอย่างไม่รู้คุณค่า ไม่อนุรักษ์ในการใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคงสภาพของแหล่งน้ำตามธรรมชาติไว้

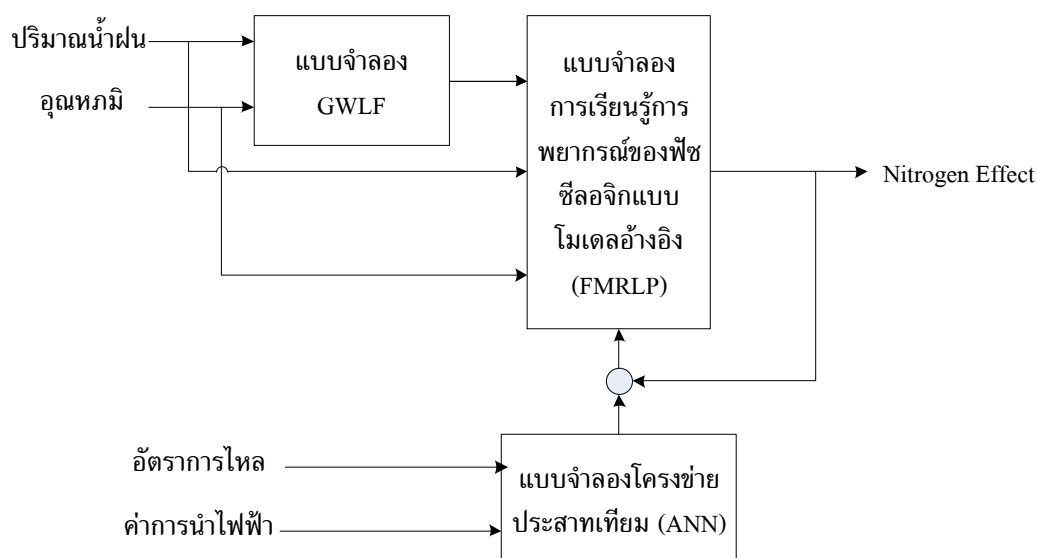
ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหามลพิษทางน้ำและความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำต่างๆ จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำสำคัญทั่วประเทศประจำปี 2558 จำนวน 366 จุดตรวจวัด ใน 65 แหล่งน้ำ พบว่ามีคุณภาพแหล่งน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมร้อยละ 26 และเมื่อเทียบกับปี 2557 มีแหล่งน้ำสำคัญลดระดับอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมเพิ่มขึ้น (ทิพย์ อาภา ยลธรรม์ธรรม, 2558) ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องมีการแก้ไขอย่างเร่งด่วนเพื่อให้เกิดความสมดุลของธรรมชาติ มนุษย์และสัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้ และแหล่งน้ำมีความสะอาดเพียงพอที่จะนำมาใช้ โดยทั่วไปแหล่งน้ำมีความสามารถตามธรรมชาติที่จะรองรับและบำบัดของเสีย (Natural Carrying Capacity) ได้ระดับหนึ่ง หากปล่อยของเสียปริมาณมากเกินไปขีดความสามารถดังกล่าว จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษของแหล่งน้ำ (ศรีรัตน์ สุวรรณคม, 2552) ดังเช่น ปัญหาการเน่าเสียของลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา เป็นต้น

เนื่องจากการวางแผนการป้องกัน และแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำเป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยาก นอกจากนี้แล้วการทดลองกับสภาพจริง มีต้นทุนในการดำเนินงานสูงหรือเป็นไปได้ยากกับสภาพธรรมชาติที่ดำรงอยู่ (บุตรี ลักษณะปัญญากุล, 2544) และต้องอาศัยข้อมูลต่างๆ ของแหล่งน้ำนั้นมาใช้ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลคุณภาพน้ำ และข้อมูลทางด้านอุทกพลศาสตร์ซึ่งในการรวบรวมข้อมูลเหล่านี้ต้องใช้เวลา กำลังคน และงบประมาณจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเทคนิคของแบบจำลองต่างๆ มาใช้ในการประเมินและคาดการณ์แนวโน้มคุณภาพน้ำเนื่องจากแบบจำลองเหล่านี้ถูกพัฒนาขึ้นมาบนพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ แบบจำลอง

จะถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนของระบบที่ต้องการศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสภาพคุณภาพน้ำของแม่น้ำลำคลองและคาดการณ์แนวโน้มคุณภาพน้ำในอนาคต และเป็นเครื่องมือในการประเมินทางเลือกการดำเนินการตามแผนการจัดการเพื่อฟื้นฟูคุณภาพน้ำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการนำแบบจำลองมาใช้สำหรับประเมินและคาดการณ์แนวโน้มคุณภาพน้ำเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบริหารจัดการแหล่งน้ำและเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมมากขึ้นเพราะแบบจำลองสามารถจำลองข้อมูลหรือสถานการณ์ในระยะยาวและสามารถจำลองข้อมูลบางส่วนของแหล่งน้ำที่ขาดหายไปเพื่อช่วยในการตัดสินใจเรื่องการบริหารจัดการแหล่งน้ำได้ (Tsakiri and Alexakis, 2012) แต่การใช้งานแบบจำลองต่าง ๆ ยังมีข้อจำกัดในเรื่องข้อมูลนำเข้า (Input Data) ค่าสัมประสิทธิ์และข้อมูลที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องในแบบจำลองคณิตศาสตร์ทั่วไป (Edsel *et al.*, 2011) ทำให้แบบจำลองที่ใช้ไม่สามารถทำนายคุณภาพน้ำได้อย่างต่อเนื่องและผลจากแบบจำลองไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง ทำให้มีหลายแบบจำลองที่ถูกใช้ทำนายคุณภาพน้ำเพียงครั้งเดียวและไม่ถูกนำกลับมาใช้อีกครั้ง ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองที่สามารถช่วยลดความซับซ้อนในการใช้งานและสามารถปรับตัวได้กับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้แบบจำลองนั้นถูกนำมาใช้งานมากขึ้น (Edsel *et al.*, 2011) และสามารถช่วยในการบริหารจัดการแหล่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพจากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยในครั้งนี้ โดยมีพื้นที่ศึกษาคือบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยเป็นลุ่มน้ำหลักของภาคใต้

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองผลกระทบของไนโตรเจน (Nitrogen Effect) ในคลองอุตะเกาบริเวณก่อนโรงสูบน้ำการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (จุดตรวจวัด UT16 บริเวณสะพานมหาวิทยาลัยหาดใหญ่) โดยการพัฒนาแบบจำลองได้ใช้เทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายผลกระทบของไนโตรเจน แบบจำลองผลกระทบของไนโตรเจนสามารถปรับเทียบแบบจำลองได้เมื่อมีการป้อนข้อมูลนำเข้าใหม่ด้วยเทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ ภาพรวมของแบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจนสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา บริเวณก่อนโรงสูบน้ำการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่แสดงดังภาพที่ 1.1 แบบจำลองผลกระทบของไนโตรเจนบริเวณดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นทางเลือกในการเฝ้าระวังผลกระทบที่เกิดจากการไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในคลองอุตะเกาซึ่งเป็นแหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่และสามารถนำมาประกอบแผนการบริหารจัดการปริมาณการบรรทุกไนโตรเจน (Nitrogen Loading) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาต่อไป



ภาพที่ 1.1 ภาพรวมของแบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจน
สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกา

1.1 คำถามวิจัย (Research Questions)

แบบจำลองไม่เชิงเส้น (Non-Linear Model) ที่สามารถปรับตัว (Adaptive) เมื่อพารามิเตอร์ที่สำคัญมีการเปลี่ยนแปลง จะมีประสิทธิภาพเป็นอย่างไร เมื่อใช้ในการคาดการณ์ผลกระทบของไนโตรเจนต่อคุณภาพน้ำในคลองอุต๊ะเกา

1.2 วัตถุประสงค์ (Objective of Research Project)

1.2.1 รวบรวมข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกาและคำนวณภาระบรรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกา

1.2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายผลกระทบของไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกา ซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องมือทางเลือกในการจัดการภาระบรรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกา

1.2.3 ประเมินการภาระบรรทุกไนโตรเจนบริเวณก่อนโรงสูบน้ำการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ ในกรณีที่มีและไม่มี การบำบัดไนโตรเจนเพื่อใช้เป็นทางเลือกในการบริหารจัดการภาระบรรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกา

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

พื้นที่ศึกษาในการพัฒนาแบบจำลองในการทำนายผลกระทบของไนโตรเจนต่อคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถาประกอบไปด้วย 2 ส่วนดังนี้

1.3.1.1 คลองอุตะเถาบริเวณจุดตรวจวัดสะพานมหาวิทยาลัยหาดใหญ่ (UT16) ก่อนโรงสูบน้ำการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ เป็นพื้นที่ศึกษาที่ใช้ทำนายผลกระทบที่เกิดขึ้นจากไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา

1.3.1.2 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา เป็นพื้นที่ศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในคลองอุตะเถา

1.3.2 ขอบเขตของแบบจำลอง

1.3.2.1 แบบจำลองที่ใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์จะพัฒนาเพื่อคาดการณ์ภาระบรรทุกไนโตรเจนในคลองอุตะเถาบริเวณจุดตรวจวัดสะพานมหาวิทยาลัยหาดใหญ่ และเปรียบเทียบแบบจำลองเมื่อมีข้อมูลนำเข้าใหม่

1.3.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้ในการจำลองข้อมูลนำเข้าบางค่า เช่น ปริมาณภาระบรรทุกไนโตรเจน เป็นต้น เพื่อนำไปประมวลผลต่อในแบบจำลองที่ใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์

1.3.3 ขอบเขตของข้อมูล

จากการศึกษาบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองในรูปแบบที่เกี่ยวข้องกับการทำนายความเข้มข้นของไนโตรเจนหรือภาระบรรทุกไนโตรเจน มีข้อมูลพื้นฐานทั้งในรูปแบบของข้อมูลทุติยภูมิและข้อมูลปฐมภูมิ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.3.3.1 ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) ได้แก่ ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถาที่มีการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

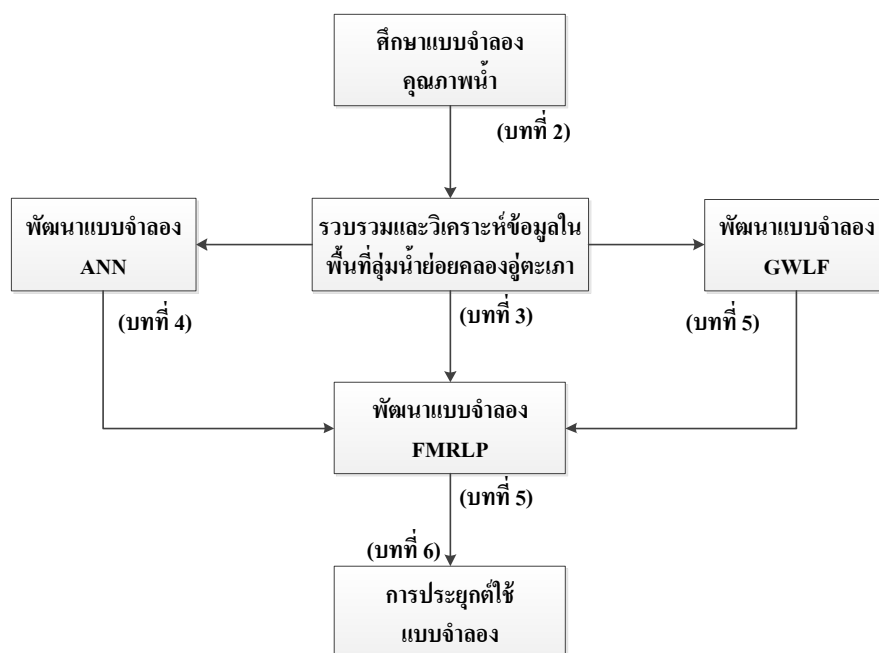
1.3.3.2 ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ได้แก่ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากสถิติต่าง ๆ ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตลอดจนรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพและเคมีของระบบนิเวศในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา ตลอดจนข้อมูลของปริมาณน้ำท่าและน้ำฝน โดยข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์	ข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงพื้นที่
ขอบเขตอำเภอ ตำบล ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา	ปริมาณน้ำฝน
ข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลข	ปริมาณน้ำท่า
ลักษณะทางธรณีวิทยา	คุณภาพน้ำ
ลักษณะภูมิประเทศ	ปศุสัตว์
เส้นทางน้ำไหลของคลองอู่ตะเภา	จำนวนประชากร
เส้นทางน้ำไหลของคลองสาขา	ข้อมูลและที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรม
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	สภาพภูมิอากาศ
	จุดตรวจวัดปริมาณน้ำฝนและคุณภาพน้ำ

1.4 วิธีการวิจัย (Research Methodology)

การพัฒนาแบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจนสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา มีรายละเอียดวิธีการดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา การพัฒนาแบบจำลองและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และการประยุกต์ใช้แบบจำลองซึ่งขั้นตอนวิธีการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1.2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1.2 วิธีการวิจัยเพื่อการพัฒนาแบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจนสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา

1.4.1 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา

1.4.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา

1. เก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา และบททวนเอกสารจากหน่วยงานต่าง ๆ (ข้อมูลทุติยภูมิ) ทั้งในรูปแบบข้อมูลเชิงปริมาณ ข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

2. ตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำในคลองอู่ตะเภา

1.4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา

1. วิเคราะห์คุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาโดยใช้ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (Water Quality Index, WQI)

2. หาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ อัตราการไหลกับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) ในคลองอู่ตะเภาแยกตามฤดูกาล

1.4.2 การพัฒนาแบบจำลอง

จากภาพที่ 1.1 พบว่าแบบจำลองย่อยที่ใช้ในแบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจนสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาเพื่อประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัดสะพานมหาวิทยาลัยหาดใหญ่ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) และแบบจำลองการเรียนรู้การพยากรณ์ของฟัซซี่ลอจิกแบบโมเดลอ้างอิง (Fuzzy Model Reference Learning Prediction, FMRLP) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.4.2.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ใช้แบบจำลอง GWLF (Generalized Watershed Loading Function) เพื่อประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา และเป็นแบบจำลองอ้างอิงให้กับแบบจำลอง FMRLP

2. ปรับเทียบพารามิเตอร์หรือค่าสัมประสิทธิ์ (Calibration) ในแบบจำลอง GWLF

3. พิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation)

4. พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยทำหน้าที่เสมือนเป็นแบบจำลอง GWLF เพื่อประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนและนำไปประมวลผลต่อที่แบบจำลอง FMRLP

1.4.2.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. หาความสัมพันธ์ของข้อมูลคุณภาพน้ำและอัตราการไหลเทียบกับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนเพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

2. พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 2 รูปแบบ คือ Feed-Forward Back Propagation (FFBP) และ Cascade-Forward Back Propagation (CFBP) เพื่อทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกา

3. พิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) ในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกา

5. พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยมีอัตราการไหลและค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity, EC) เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนและนำไปประมวลผลต่อที่แบบจำลอง FMRLP

1.4.2.3 แบบจำลอง FMRLP มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. พัฒนาแบบจำลอง FMRLP ให้สามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) เมื่อภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ประมาณการจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยมีข้อมูลอัตราการไหลและค่าการนำไฟฟ้าที่วัดจากสภาพแวดล้อมจริงเป็นข้อมูลนำเข้ามีค่าเปลี่ยนไป

2. พิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง

1.4.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

การนำแบบจำลอง GWLF ที่มีการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องแล้วมาประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์ภาระบรรทุกไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัดสะพานมหาวิทยาลัยหาดใหญ่ ก่อนโรงสูบน้ำการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ ซึ่งเป็นทางเลือกในการบริหารจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกา โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GWLF จะจำลองสถานการณ์เพื่อคาดการณ์ภาระบรรทุกไนโตรเจนเป็น 2 กรณี ดังนี้

1.4.3.1 การคาดการณ์ภาระบรรทุกไนโตรเจนบริเวณก่อนโรงสูบน้ำการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ ในกรณีที่ให้มีมาตรฐานในการควบคุมและปล่อยไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอน (Point Sources) เช่น โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

1.4.3.2 การคาดการณ์ภาระบรรทุกไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัดสะพานมหาวิทยาลัยหาดใหญ่ ในกรณีที่มีการบำบัดไนโตรเจนจากน้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater)

จากการคาดการณ์ภาระบรรทุกไนโตรเจนบริเวณก่อนโรงสูบน้ำการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ทั้ง 2 กรณี สามารถนำมาเป็นแนวทางในการบริหารจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาต่อไปได้ เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน เป็นต้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองผลกระทบของไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกาบริเวณก่อนโรงสูบน้ำการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ โดยการพัฒนาแบบจำลองจะใช้เทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายผลกระทบของไนโตรเจน แบบจำลองผลกระทบของไนโตรเจนจะสามารถปรับเทียบแบบจำลองได้เมื่อมีการป้อนข้อมูลนำเข้าใหม่ด้วยเทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวิจัย ซึ่งจะกล่าวต่อไปในรายละเอียดของบทนี้

2.1 ไนโตรเจนและวัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen and Nitrogen Cycle)

แหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยทั่วไปมีสิ่งปะปนหลากหลายประเภท ทั้งที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า สิ่งปะปนในน้ำอาจมีทั้งคุณประโยชน์หรือโทษแก่มนุษย์ ดัชนีคุณภาพน้ำผิวดินแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ ดัชนีคุณภาพน้ำทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพและแหล่งที่มาของปัญหาของสารมลพิษแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ดัชนีคุณภาพน้ำและแหล่งที่มาของมลพิษที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	แหล่งที่มา
ทางกายภาพ - สี - กลิ่นและรส - อุณหภูมิ - ของแข็ง	- น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน น้ำใช้ชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม การย่อยสลายอินทรีย์สารในธรรมชาติ - ระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม - น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน น้ำใช้ชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม - น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน น้ำใช้ชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม
ทางเคมี สารอินทรีย์ - คาร์โบไฮเดรต - ไขมัน และน้ำมัน - โปรตีน - สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ - ฟีนอล (Phenols)	- น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน พาณิชยกรรมและโรงงานอุตสาหกรรม - น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน พาณิชยกรรมและโรงงานอุตสาหกรรม - น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน พาณิชยกรรมและโรงงานอุตสาหกรรม - แหล่งเกษตรกรรม - น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

- สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) - สารอินทรีย์ - ความเป็นกรดและด่าง (pH) - คลอไรด์ - โลหะหนัก - ไนโตรเจน - ฟอสฟอรัส - ซัลเฟต	- น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน พาณิชยกรรมและโรงงานอุตสาหกรรม - น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน พาณิชยกรรมและโรงงานอุตสาหกรรม - น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน และน้ำใช้ชุมชน - น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม - น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน น้ำใช้ชุมชน และแหล่งเกษตรกรรม - น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน พาณิชยกรรมและโรงงานอุตสาหกรรม - น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน พาณิชยกรรมและโรงงานอุตสาหกรรม
ทางชีวภาพ - แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด - แบคทีเรียกลุ่มฟิโคลิฟอร์ม - จุลินทรีย์	- น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน น้ำใช้ชุมชน - น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน น้ำใช้ชุมชน - ระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน และน้ำใช้ชุมชน

ที่มา : กนกพร สว่างแจ้ง (2547); Badruzzaman *et al.* (2012)

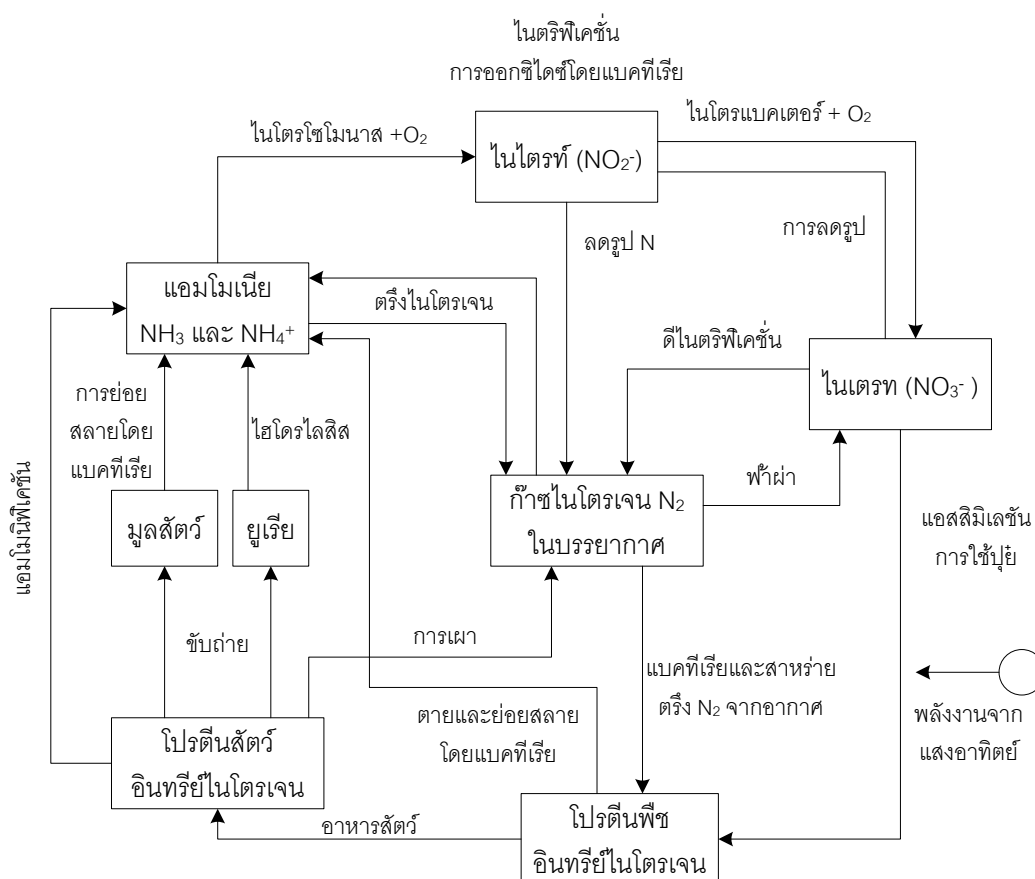
2.1.1 วัฏจักรไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีน (Proteins) กรดอะมิโน (Amino Acids) และกรดนิวคลีอิก (Nucleic Acids) ในเซลล์จุลินทรีย์ มนุษย์ สัตว์และพืช ไนโตรเจนจึงมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต โดยไนโตรเจนส่วนใหญ่จะพบในบรรยากาศซึ่งมีปริมาณสูงถึง 78 % ของไนโตรเจนทั้งหมด ทั้งนี้ไนโตรเจนยังถูกพบในดินและในน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบไนโตรเจนในน้ำจะเกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของไนโตรเจนสามารถอธิบายได้ด้วยวัฏจักรไนโตรเจนซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.1

จากภาพที่ 2.1 พบว่าสารประกอบไนโตรเจนเมื่อเข้ามาในระบบนิเวศจะมีการแปลงสภาพซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีของสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต ไนโตรเจนที่ถูกสังเคราะห์แล้วจะถูกใช้ไปโดยพืชและสัตว์ บางส่วนจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ในเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ โดยปกติสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกแปรสภาพไปโดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ให้เป็นแอมโมเนียม อีออน (Ammonium Ions, NH_4^+) หรือแอมโมเนีย (Ammonia, NH_3) ภายใต้กระบวนการที่เรียกว่าแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) ในส่วนของก๊าซไนโตรเจน (N_2) จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรต (NO_3^-) และโปรตีนพืชโดยกระบวนการตรึงไนโตรเจน (N_2 fixation) ก๊าซไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนรูปเมื่อเกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า และสุดท้ายจะได้เป็นไนโตรเจนในรูปของไนเตรต (องชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

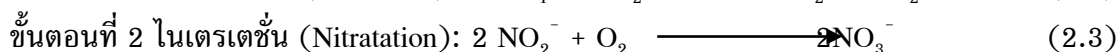
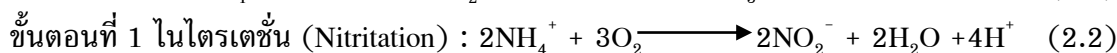
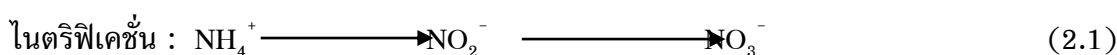
แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และจะได้ไนโตรเจนในรูปของไนเตรตเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งสามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของไนโตรเจนได้ดังสมการที่ (2.1) กระบวนการไนตริฟิเคชันประกอบด้วย 2 ขั้นตอน โดย

แอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) โดยจุลินทรีย์ที่เรียกว่าไนโตรโซโมนาส (Nitrosomonas) (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2.2) (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544) และไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท โดยจุลินทรีย์ที่เรียกว่าไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter) (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2.3) (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544)

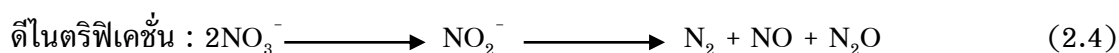


ภาพที่ 2.1 วัฏจักรไนโตรเจน

ที่มา: ธงชัย พรณสวัสดิ์ (2544)



ไนเตรทจะถูกแปรสภาพเป็นก๊าซไนโตรเจนกลับเข้าสู่บรรยากาศในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) โดยจุลินทรีย์ที่เรียกว่าดีไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Denitrifying Bacteria) (ธงชัย พรณสวัสดิ์, 2544) แสดงดังสมการที่ (2.4)



2.1.2 ไนโตรเจนในแหล่งน้ำและผลกระทบของไนโตรเจนต่อแหล่งน้ำ

ในส่วนของแหล่งกำเนิดของไนโตรเจนที่พบในแหล่งน้ำจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอน (Point Sources) เช่น น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น (Wang *et al.*, 2010) และแหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่แน่นอน (Non-Point Sources) เช่น การตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ การตกสะสมของไนโตรเจนที่มาจากบรรยากาศ (Atmospheric Nitrogen Deposition) (ธนิยา เกาศล, 2545) น้ำที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรม แล้วชะปุ๋ยที่ตกค้างบนหน้าดินลงสู่แหล่งน้ำ (Wang *et al.*, 2010) และน้ำที่ปนเปื้อนมูลสัตว์ไหลลงสู่แหล่งน้ำ (ธนิยา เกาศล, 2545) เป็นต้น โดยผลกระทบของไนโตรเจนต่อแหล่งน้ำสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลกระทบของไนโตรเจนต่อแหล่งน้ำ

ผลกระทบ	คำอธิบาย
ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน	ไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารในแหล่งน้ำ หากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายหรือพืชน้ำมาก เมื่อพืชน้ำเหล่านี้ตายลงและจมตัวทับถมอยู่ใต้ท้องน้ำทำให้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติ สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากซากพืชน้ำจะทำให้ให้น้ำเน่าเสียและค่าออกซิเจนละลายในน้ำลดลงส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ซึ่งในบริเวณปากแม่น้ำ (Estuarine) และในทะเลหรือน้ำที่มีความเค็มจะมีไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญที่ก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายหรือพืชน้ำมาก ทำให้ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารจำกัด (Limiting Nutrient) ในบริเวณดังกล่าว
ความเป็นพิษต่อปลาและสัตว์น้ำ	ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ในปริมาณสูงกว่า 0.2 mg/L จะเป็นพิษต่อปลาและสัตว์น้ำ โดยที่แอมโมเนียอิสระในน้ำจะขึ้นกับความเป็นกรดและด่าง ถ้าความเป็นกรดและด่างสูงขึ้นจะทำให้แอมโมเนียไอออนเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียอิสระ (ดั่งสมการ) มากขึ้น ดังนั้นเมื่อความเป็นกรดและด่างสูงขึ้นความเป็นพิษของแอมโมเนียจะสูงขึ้นด้วย $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
การลดลงของปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำ	เนื่องจากปริมาณความต้องการออกซิเจนในการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรท (Nitrogenous Oxygen Demand : NOD) มีมากกว่าปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรทมีค่าเท่ากับ 4.57 มก.ออกซิเจน/มก.แอมโมเนีย (ไม่พิจารณาถึงการสร้างเซลล์จุลินทรีย์)

ที่มา : ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544); เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2543); กรรณิการ์ สิริสิงห์ (2544); Matthew *et al.* (2010)

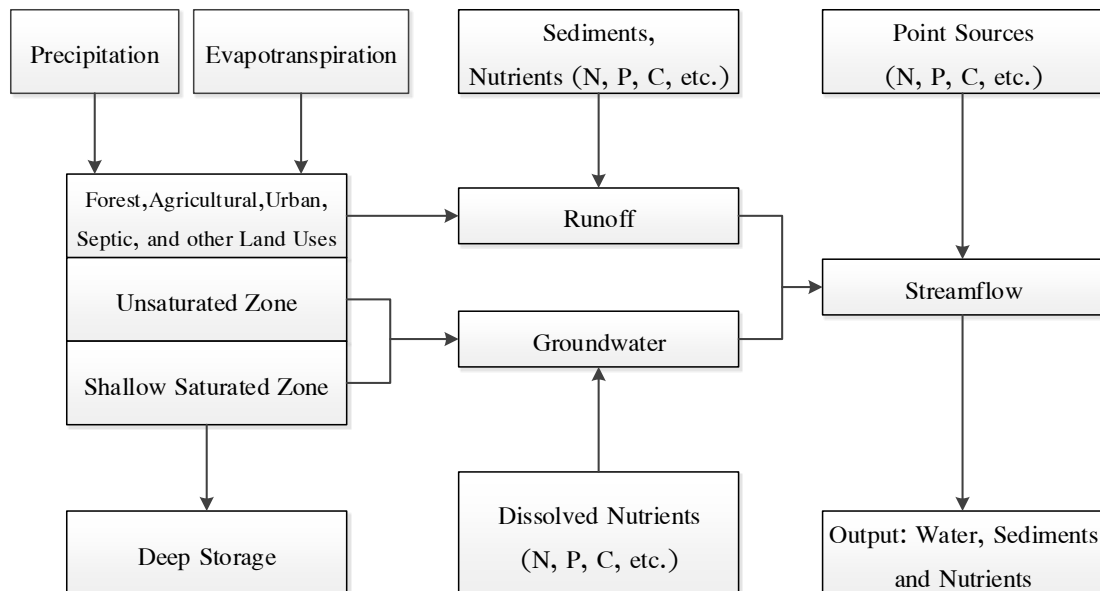
2.2 แบบจำลอง GWLF

แบบจำลอง GWLF ย่อมาจาก Generalized Watershed Loading Function เป็นแบบจำลองประเภทเป็น Mid-Range Watershed Model ที่ช่วยให้ผู้ใช้งานศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาพทางภูมิศาสตร์ต่อพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา Haith *et al.* (1992) ได้พัฒนา GWLF สำหรับใช้งานบนไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษา QuickBasic แบบจำลองนี้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย หลังจากนั้นโปรแกรมได้รับการพัฒนาต่อยอดบนสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันไปเช่น Barry Evans (Barry and Kenneth, 2014) และคณะได้ทำการพัฒนา GWLF-E โดยใช้ MapWindow ซึ่งเป็นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ไม่มีค่าใช้จ่าย ถึงแม้จะมีการใช้งาน GWLF อย่างแพร่หลายแต่ผู้ใช้ถูกจำกัดการใช้งานอยู่ที่ระบบปฏิบัติการ Windows ซึ่งเป็นอุปสรรคสำหรับผู้ใช้งานระบบปฏิบัติการอื่น ดังนั้นจึงมีผู้พัฒนาได้ทำการปรับปรุงให้ GWLF สามารถใช้งานได้บนหลายระบบปฏิบัติการโดยใช้ภาษา Python ซึ่งสามารถใช้งานได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย นอกเหนือจากการบูรณาการ GWLF เข้ากับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แล้ว ยังมีกลุ่มนักพัฒนาได้ต่อยอด GWLF เป็น GWLFXL โดยพัฒนาให้ใช้งานร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel (Hong and Swaney, 2013) เพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองได้ อย่างไรก็ตาม GWLFXL ยังใช้แนวทางเดิมของ GWLF ที่ไม่ได้บูรณาการเข้ากับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดังนั้นผู้ใช้งานต้องเตรียมข้อมูลนำเข้าสำหรับการจำลองด้วยตัวเอง GWLF ถูกนำไปใช้สำหรับการประเมินค่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen, TN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP) และปริมาณตะกอน (Sediment) ในพื้นที่ลุ่มน้ำ (Lee *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2001; Schneiderman *et al.*, 2002) และประเมินภาระบรรทุกสารอาหาร (Nutrient Loads) และปริมาณตะกอนที่ปลายน้ำเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทางต้นน้ำ (Howarth *et al.*, 1991; Fisher *et al.*, 2006) การทำนายผลของการไหลและประเมินภาระบรรทุกสารอาหารที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ (Abler *et al.*, 2002; Chang *et al.*, 2001) และคำนวณผลของภาระบรรทุกสารอาหารและปริมาณตะกอน สำหรับการพัฒนา TMDL (Total Maximum Daily Load) (Borah, 2006) โดยจุดเด่นหลัก ๆ ของ GWLF มีดังนี้

1. ปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ามีผลต่อการระเหยและการซึมสู่ชั้นดิน
2. ตะกอนที่เกิดขึ้นถูกประมาณการโดยใช้ Universal Soil Loss Equation (USLE)
3. ภาระบรรทุกไนโตรเจนทั้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอนและแหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่แน่นอน ถูกคำนวณจากการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
4. สามารถบูรณาการข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากหลายสถานีวัดได้
5. สามารถประมาณการคุณภาพน้ำในอนาคตจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้

6. สามารถให้ข้อมูลเฉลี่ยของภาระมลพิษ (Pollutant Loads) รายเดือนและรายปีเพื่อใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดจริงได้

หลักการทำงานของ GWLF แสดงดังภาพที่ 2.2 โดยองค์ประกอบหลักมีดังนี้



ภาพที่ 2.2 หลักการทำงานของ GWLF

ที่มา : Farley *et al.* (2008)

ข้อมูลขาเข้า ประกอบด้วย

1. ข้อมูลภูมิอากาศประกอบด้วยอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันและปริมาณน้ำฝนรายวันของช่วงปีที่ใช้จำลอง ข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถนำมาจากสถานีวัดในพื้นที่ศึกษาโดยโปรแกรมจะเลือกข้อมูลมาใช้โดยพิจารณาจากระยะทาง
2. ข้อมูลภาระบรรทุกสารอาหารประกอบด้วย Loading parameters ของแต่ละพื้นที่ เช่น จำนวนระบบบำบัด อัตราการสะสมของแต่ละประเภทของการใช้ที่ดิน ความเข้มข้นของน้ำใต้ดิน ความเข้มข้นของมูลสัตว์เลี้ยง เป็นต้น
3. ข้อมูลการขนส่ง ประกอบด้วยขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ Curve Number และความลาดชันของพื้นที่

การประมวลผล ประกอบด้วย

1. ประมวลผลโดยใช้รูปแบบ combined distributed/ lumped parameter watershed model ในการหาภาระมลพิษ โดยจะพิจารณาแต่ละส่วนของการใช้ที่ดินแบบแยกส่วนกัน สำหรับในแต่ละกลุ่มของการใช้ที่ดินถือว่ามีความสมบัติเดียวกันทั้งหมด
2. watershed loading ทำได้โดยการรวมค่าของภาระมลพิษของแต่ละพื้นที่ย่อย
3. การประมวลผลจะไม่คิดเส้นทางการไหลของลำน้ำและการเปลี่ยนรูปแบบของธาตุอาหารในระหว่างการไหลซึ่งอาจจะทำให้ผลการประมาณค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้โดยเฉพาะในกรณีที่พื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่
4. ใช้ข้อมูลรายวันในการคำนวณ mass balance
5. การคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินและภาระมลพิษจะใช้หลักการ lumped parameter ในการหา water balance
6. ปริมาณตะกอนและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดประมาณการจาก water balance รายวันแล้วสรุปเป็นข้อมูลรายเดือน
7. คำนวณ septic system loads และ point source discharges
8. การคำนวณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิจำลอง โดยใช้หลักการของ Soil Conservation Services Curve Number (SCS-CN)
9. การระเหยคำนวณจากข้อมูลภูมิอากาศและประเภทของที่ดินรวมถึงสิ่งคลุมดิน
10. water balances รายวันคำนวณจาก unsaturated zone และ saturated sub-surface zone
11. infiltration คำนวณจากความแตกต่างของปริมาณน้ำฝนและหิมะที่ละลาย รวมทั้งข้อมูลด้านน้ำอื่น เช่น ปริมาณน้ำตื้นใน unsaturated zone น้ำที่เก็บได้สูงสุดในพื้นที่นั้น ปริมาณน้ำท่าและการระเหย เป็นต้น
12. erosion และ sediment yield คำนวณจาก USLE รวมถึงพารามิเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น
 - monthly rainfall-runoff coefficients, monthly composite of soil erodibility factor (K),
 - topographic factor (LS)
 - crop management factor (C)
 - conservation practice (P) values for each source area
 - sediment delivery ratio
 - transport capacity

13. surface nutrient losses คำนวณจาก Dissolved Nitrogen (DN) และ Phosphorus Concentrations ของแต่ละพื้นที่เกษตรกรรม

14. dissolved losses ของ point source discharges สามารถกำหนดค่าได้

15. การคำนวณมูลสัตว์และระบบบำบัดจะแยกออกจากกัน

16. urban nutrient inputs จะพิจารณาเฉพาะส่วนที่อยู่ใน solid-phase เท่านั้น

17. sub-surface losses คำนวณจาก DN และ P concentrations สำหรับ shallow groundwater contributions

ข้อมูลขาออก ประกอบด้วย

1. runoff, surface flow, point source flow, tile drain และ stream flow รายเดือนและรายปี

2. erosion และ sediment รายเดือนและรายปี

3. dissolved N, total N, dissolved P และ total P รายเดือนและรายปี

2.3 เทคนิคด้านปัญญาประดิษฐ์

ปัญญาประดิษฐ์ หรือ Artificial Intelligence (AI) เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์โดยมีผู้เชี่ยวชาญได้กำหนดคำนิยามของปัญญาประดิษฐ์ไว้มากมาย ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปัญญาประดิษฐ์คือศาสตร์แขนงหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทำให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการศึกษาและเรียนรู้ เพื่อพัฒนาให้สามารถวิเคราะห์ แก้ไขและตัดสินใจได้เทียบเท่ากับมนุษย์ ซึ่งสามารถนำมาสร้างระบบคอมพิวเตอร์ที่ฉลาด เช่น สามารถตอบสนองต่อข้อมูลที่คลุมเครือหรือขัดแย้งกัน สามารถจัดการและแก้ไขสถานการณ์ที่ซับซ้อน สามารถที่จะใช้ความรู้เพื่อจัดการกับสภาพแวดล้อมได้ เป็นต้น (ณัฐพงษ์ วารีประเสริฐ, 2552)

การประยุกต์ใช้งานเทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ถูกนำมาใช้งานอย่างหลากหลายรูปแบบ เช่น ระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยในงานที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมนิยมใช้ในการทำนายหรือประมาณการค่าที่เกี่ยวข้องทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO หรือดีโอ) ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ อัตราการไหลในแม่น้ำ เป็นต้น

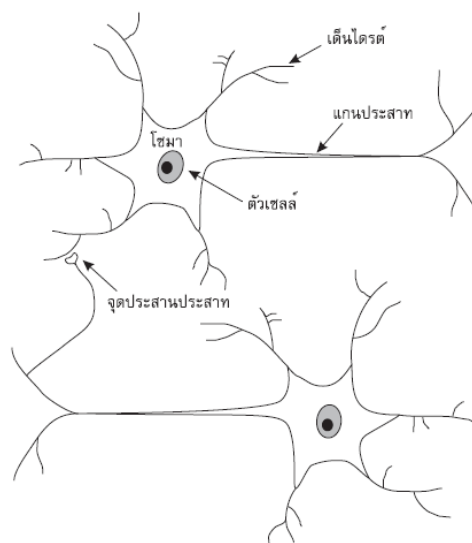
ปัญญาประดิษฐ์มีเทคนิคที่สามารถนำมาใช้งานได้อยู่มากมาย แต่ละเทคนิคมีประสิทธิภาพแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการนำมาประยุกต์ใช้งาน ในปัจจุบันมีการใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการพัฒนาแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการทำนายหรือคาดการณ์เรื่องอุทกศาสตร์ ชลศาสตร์ และคุณภาพน้ำมากขึ้น โดยเทคนิคที่นิยมใช้ ได้แก่ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic, FL) และทั้งสองเทคนิคยังสามารถใช้ควบคู่กันเพื่อพัฒนาแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นได้

2.3.1 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเชิงชีววิทยา (Biological Neural Network) เป็นระบบที่ใหญ่และซับซ้อน สมอเป็นศูนย์กลางของระบบประสาทโดยจะเชื่อมต่อกับประสาทสัมผัส เพื่อรับข้อมูลจากภายนอกเข้าสู่ระบบประสาท และทำการประมวลผลเป็นคำสั่งไปยังอวัยวะต่างๆ สมอประกอบไปด้วยโครงข่ายนิวรอนและมีการเชื่อมต่อกันภายในโครงข่ายย่อยเรียกว่านิวคลีไอ (Nuclei) โครงข่ายย่อยจะทำการแยกและปรับข้อมูลจากประสาทสัมผัสก่อนส่งไปยังโครงข่ายย่อยอื่นและสุดท้ายกลายเป็นรูปแบบของสัญญาณที่ผ่านการประมวลผลเป็นคำสั่งไปยังอวัยวะต่าง ๆ

ระบบประสาทสัมผัสและโครงข่ายย่อยในสมอทำหน้าที่หลักในการแยกย่อยข้อมูลที่ซับซ้อนให้กลายเป็นองค์ประกอบพื้นฐานในรูปลักษณะของความรู้สึก การแยกย่อยนี้จะแตกต่างกันไปสำหรับแต่ละความรู้สึก ยกตัวอย่าง เช่น ตา (อวัยวะรับสัมผัส) และสมอทำการแยกข้อมูลภาพเป็นสี ความเข้ม ทิศทาง การเคลื่อนที่ อัตราส่วน เป็นต้น องค์ประกอบย่อย ๆ เหล่านี้ จะไม่ถูกนำกลับไปรวมกันและสร้างเป็นข้อมูลภาพดั้งเดิมอีก แต่จะถูกสร้างไปยังโครงข่ายย่อยเพื่อทำการประเมินและประกอบกันเป็นบางส่วน

ระบบประสาทของมนุษย์เป็นต้นแบบสำคัญให้กับโครงข่ายประสาทเทียม (ในองค์ประกอบการประมวลผล) ระบบประสาทของมนุษย์และโครงข่ายประสาทเทียมจึงมีโครงสร้างที่คล้ายกัน นิวรอนในสมองมนุษย์ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง คือ เด็นไดรต์ (Dendrite) ตัวเซลล์ (Cell Body หรือ Soma) และแกนประสาท (Axon) แสดงดังภาพที่ 2.3 เด็นไดรต์จะรับสัญญาณจากนิวรอนอื่นในสมองโดยแอกซอนของนิวรอนอื่นจะเชื่อมต่อกับเด็นไดรต์และหน้าสัมผัสของตัวเซลล์ด้วยจุดประสานประสาท (Synapse) จำนวนการเชื่อมต่อของจุดประสานประสาทจะขึ้นอยู่กับชนิดของนิวรอน (ณัฐพงษ์ วารีประเสริฐ, 2552)



ภาพที่ 2.3 นิวรอนในสมองมนุษย์

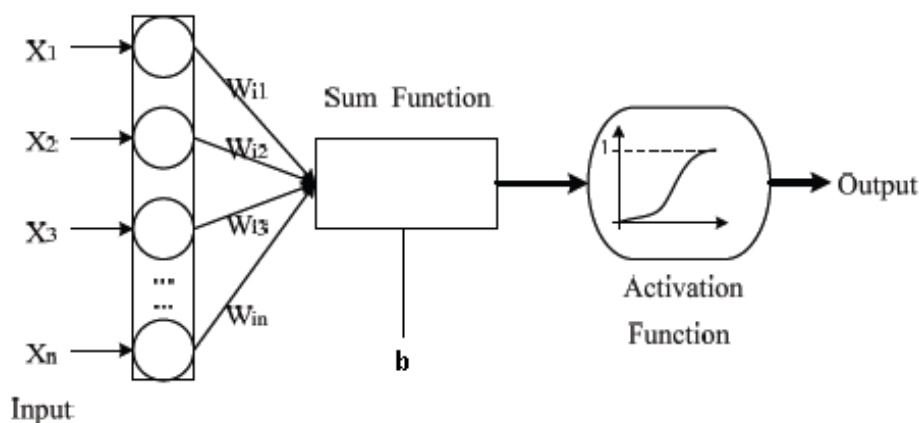
ที่มา : Choeychuen (2010)

เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์ในสมองมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า ขนาดของสัญญาณที่มาถึงเดินไตรต์จะสลายอย่างรวดเร็ว โดยจะขึ้นอยู่กับเวลาและระยะทาง ดังนั้นการที่นิวรอนจะถูกกระตุ้นจนถึงขั้นทำงานได้นั้นจะต้องประกอบไปด้วยสัญญาณจากหลายนิวรอนในเวลาและตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน ตัวเซลล์หรือโซมาทำหน้าที่รวมสัญญาณที่เข้ามาในเซลล์จากเดินไตรต์ เมื่อผลรวมของระดับสัญญาณสูงถึงระดับจุดเปลี่ยนที่จะกระตุ้นนิวรอน นิวรอนจะทำงานพร้อมกับส่งค่าศักย์ไฟฟ้าผ่านแกนประสาทไปยังนิวรอนอื่นที่อยู่นอกกระบบประสาท เช่น เซลล์กล้ามเนื้อ เป็นต้น ถ้าผลรวมของสัญญาณไม่ถึงระดับจุดเปลี่ยน สัญญาณที่มีอยู่จะสลายไปอย่างรวดเร็วและไม่ทำให้เกิดการกระตุ้นของนิวรอน ดังนั้นนิวรอนจะมีอยู่เพียงสองสถานะคือทำงานและไม่ทำงาน สัญญาณอินพุตที่เข้ามาสู่นิวรอนจะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดแต่จะขึ้นอยู่กับความถี่ของตัวสัญญาณ โดยอินพุตที่เข้มแข็งกว่าจะสร้างศักย์ไฟฟ้าในความถี่ที่สูงกว่าอินพุตที่อ่อนแอกว่า (พยุง มีสัจ, 2554)

สิ่งที่โครงข่ายประสาทเทียมคล้ายคลึงกับโครงสร้างสมองมนุษย์ คือ โครงข่ายทั้งสองแบบประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผล (นิวรอน, Neural) เชื่อมต่อกันภายในเป็นจำนวนมาก และการเชื่อมต่อกันเป็นตัวบอกหน้าที่การทำงานของส่วนนั้นๆ

2.3.1.1 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม (ชินนะ สระชุม, 2550) แสดงดังภาพที่ 2.4 และตารางเปรียบเทียบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับโครงสร้างสมองมนุษย์ แสดงดังตารางที่ 2.3 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2.4 องค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม

ที่มา : ดัดแปลงจาก ชินนะ สระชุม (2550)

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับโครงสร้างสมองมนุษย์

โครงข่ายประสาทเทียม	โครงสร้างสมองมนุษย์
ข้อมูลนำเข้า (Input Data)	กระแสประสาท (สัญญาณประจุไฟฟ้า)
น้ำหนักประสาท (w)	เดนไดรต์
ฟังก์ชันการรวมและฟังก์ชันกระตุ้น	ตัวเซลล์
ข้อมูลออก (Output Data)	สัญญาณจากแอกซอน

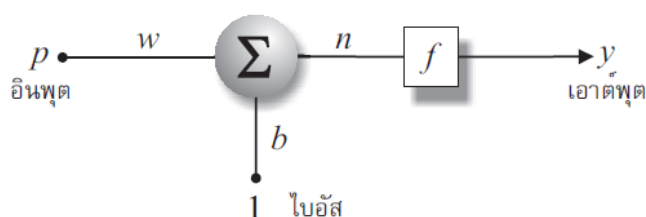
ที่มา : ณัฐพงษ์ วารีประเสริฐ (2552)

2.3.1.2 สถาปัตยกรรมของชั้น (Architecture of Layer)

สถาปัตยกรรมของชั้นในโครงข่ายประสาทเทียมจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Perceptron) ประกอบด้วยชั้นของโครงข่ายเพียงชั้นเดียว

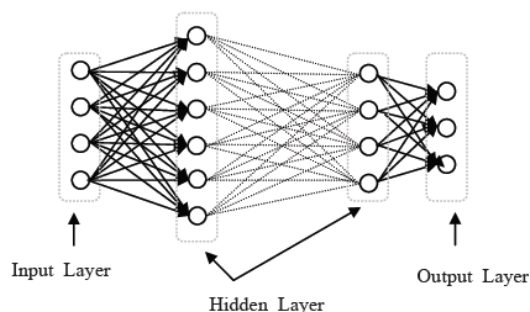
2. โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวที่มีนิวรอนเดี่ยวแบบอินพุตเดี่ยวแสดงดังภาพที่ 2.5 โดยอินพุตจะถูกคูณด้วยค่าน้ำหนักประสาท w โดยมีไบอัส b (Bias หรือออฟเซต - Offset) เป็นอีกอินพุตหนึ่ง อินพุตทั้งสองถูกรวมที่ฟังก์ชันการรวม (Summation Function) ได้เอาต์พุตเป็น n โดยจะเรียกว่า เน็ตอินพุต (Net Input) ซึ่งจะเป็นอินพุตของฟังก์ชันกระตุ้นหรือเรียกว่าฟังก์ชันถ่ายโอน f (Activation Function หรือ Transformation Function) และได้เอาต์พุตของนิวรอนคือ y



ภาพที่ 2.5 นิวรอนเดี่ยวแบบอินพุตเดี่ยว

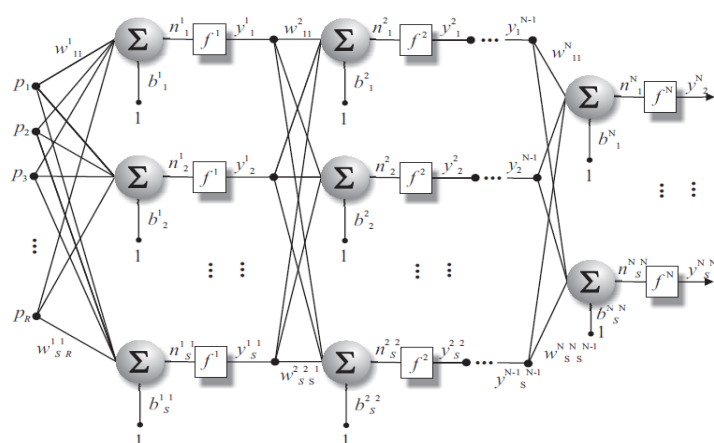
ที่มา : Choeychuen (2010)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layer Neural Network) ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นหลายชั้น ได้แก่ ชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นข้อมูลออก (Output Layer) โดยที่ชั้นซ่อนอาจจะมีหนึ่งชั้นหรือมากกว่าหนึ่งชั้น ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น
ที่มา : ไพฑูรย์ นาแซง (2552)

ในทางปฏิบัติทั่วไปแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะมีโครงสร้างหลายชั้น แต่ละชั้นจะมีน้ำหนักประสาท W ไบอัส b เน็ตเอาต์พุต n และเอาต์พุต y ของชั้นนั้น ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.7 โดยแต่ละชั้นสามารถมีจำนวนนิวรอนที่แตกต่างกันได้และข้อมูลออกของชั้นแรกจะเป็นข้อมูลนำเข้าให้กับชั้นที่สอง



ภาพที่ 2.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่มี R อินพุต
ที่มา : Choeychuen (2010)

2.3.1.3 การเรียนรู้

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม (Learning) เป็นการเรียนรู้จากข้อมูลนำเข้าที่ป้อนเข้ามาให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม ภายในโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการคำนวณซ้ำ (Iteration) เพื่อปรับค่าน้ำหนัก (Weight) ณ จุดต่างๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ (จิราพร เกียรติวุฒิมร, 2551) การเรียนรู้แบ่งได้เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอนและแบบไม่มีผู้ฝึกสอน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอน (Unsupervised Learning) หรือการจัดการตัวเอง (Self-organizing) เป็นการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมโดยข้อมูลที่ป้อนเข้ามาสอนมีแต่ข้อมูลทางด้านข้อมูลนำเข้าอย่างเดียวเท่านั้นโดยไม่มีข้อมูลเอาต์พุตป้อนมาด้วย อัลกอริทึมในการเรียนรู้ ประเภทนี้จะนิยมใช้ในการแบ่งแยกกลุ่ม (Clustering) โดยทำการแยกแยะข้อมูลนำเข้าออกเป็นกลุ่ม การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised Learning) เป็นการเรียนรู้โดยมีการป้อนข้อมูลนำเข้าและข้อมูลออกเข้ามาสอนโครงข่ายประสาทเทียม ให้ทำการปรับค่าน้ำหนักภายในเพื่อเป็นการรู้จักข้อมูลนั้น ๆ ไว้ใช้งานต่อไป (ณัฐพงษ์ วารีประเสริฐ, 2552)

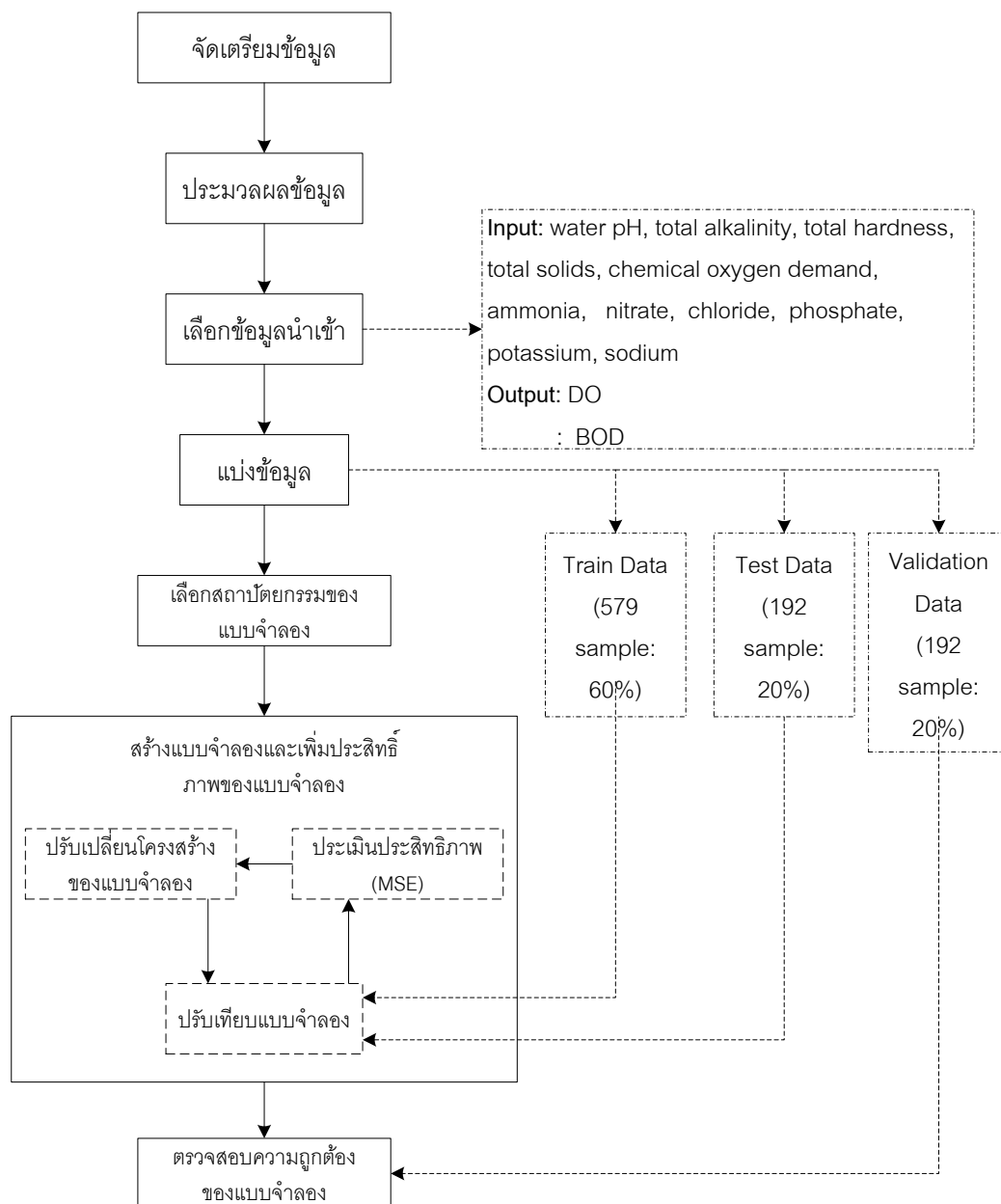
2.3.1.4 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทำนายคุณภาพน้ำ

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการงานด้านการทำนายหรือพยากรณ์อย่างแพร่หลายมากขึ้น ในส่วนของการทำนายคุณภาพน้ำ Singh *et al.* (2009) ได้พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นมา 2 แบบจำลองเพื่อประเมินค่าออกซิเจนละลายน้ำ และความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand, BOD หรือบีโอดี) โดยวิธีการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังภาพที่ 2.8 และสามารถสรุปรูปแบบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสองแบบจำลองได้ดังตารางที่ 2.4 โดยใช้ข้อมูลที่เก็บในช่วงเวลา 10 ปี 8 สถานี จำนวน 13 พารามิเตอร์ และใช้เป็นข้อมูลในการจำลอง 11 พารามิเตอร์ พารามิเตอร์ละ 960 ตัวอย่าง แบบจำลองประเมินค่าออกซิเจนละลายน้ำและค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงโดย มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เท่ากับ 1.23 และ 1.38 ตามลำดับ จากความสัมพันธ์ของข้อมูลนำเข้าและข้อมูลออก สามารถหาความสัมพันธ์ได้ โดยค่าออกซิเจนละลายน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าฟอสเฟต แอมโมเนีย ไนเตรทและซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2.4 โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินค่าออกซิเจนละลายน้ำ และความสกปรกในรูปสารอินทรีย์

ส่วน	รายละเอียด	ค่าหรือคุณสมบัติ
1	จำนวนชั้นซ่อน	DO : 23 และ BOD : 11
2	จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลนำเข้า	11
3	จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลออก	1
4	ฟังก์ชันกระตุ้นสู่ชั้นซ่อนที่ 1	linear transfer function
5	ฟังก์ชันกระตุ้นสู่ชั้นออก	non-linear transfer function
6	วิธีในการฝึกฝนแบบจำลอง	Levenberg–Marquardt algorithm (LMA)

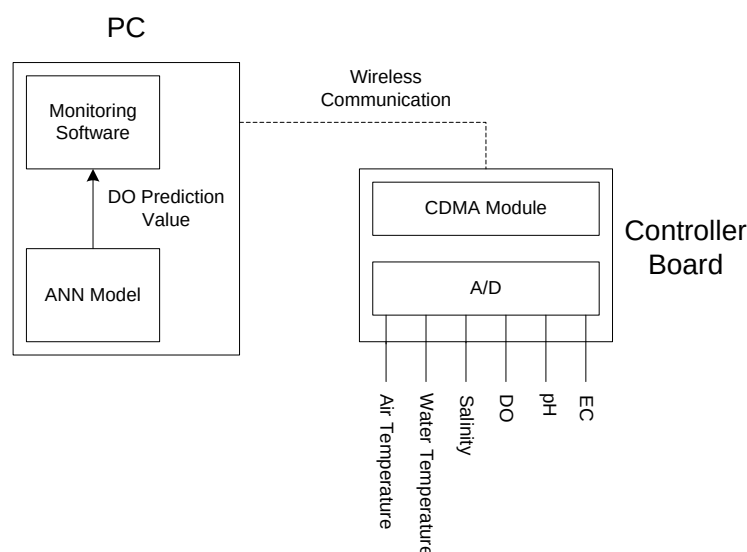
ที่มา : Singh *et al.* (2009)



ภาพที่ 2.8 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ที่มา : Singh *et al.* (2009)

Zhu *et al.* (2010) ได้พัฒนาระบบแสดงค่าคุณภาพน้ำแบบออนไลน์ (Online) ในฟาร์มเลี้ยงปลาของประเทศจีน โดยในระบบมีการทำนายค่าดีไอด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมทุกครึ่งชั่วโมง หากมีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าที่กำหนดไว้ระบบจะมีการแจ้งเตือนล่วงหน้า ซึ่ง Block Diagram ภาพรวมของระบบแสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 Block Diagram ภาพรวมของระบบแสดงค่าคุณภาพน้ำแบบออนไลน์
ที่มา : Zhu et al.(2010)

จากภาพที่ 2.9 จะเห็นว่าบอร์ดจะรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ (Sensor) ตรวจวัดคุณภาพน้ำและส่งสัญญาณไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้ข้อมูลที่รับจากบอร์ดเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อทำนายค่าออกซิเจนละลายน้ำในอีกครั้งชั่วโมงต่อมา โดยข้อมูลนำเข้าที่ใช้คือค่าอุณหภูมิอากาศ ค่าออกซิเจนละลายน้ำและอุณหภูมิน้ำบริเวณที่น้ำไหลเข้าและออกจากฟาร์ม โดยรูปแบบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าออกซิเจนละลายน้ำในฟาร์มเลี้ยงปลา

ส่วน	รายละเอียด	ค่า หรือคุณสมบัติ
1	จำนวนชั้นซ่อน	1
2	จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลนำเข้า	5
3	จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลออก	1
4	ฟังก์ชันกระตุ้นสู่ชั้นซ่อนที่ 1	sigmoid transfer function
5	ฟังก์ชันกระตุ้นสู่ชั้นข้อมูลออก	sigmoid transfer function

ที่มา : Zhu et al.(2010)

ในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมใช้ข้อมูล 1,152 ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลอง ข้อมูล 288 ข้อมูลใช้ในการทดสอบแบบจำลองและข้อมูล 576 ข้อมูลใช้

ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งพบว่าเมื่อมีการเรียนรู้ข้อมูลซ้ำ 4000 ครั้ง จะมีความผิดพลาดจากการเรียนรู้ต่ำกว่า 6 % และจะลดลงเมื่อมีการเรียนรู้ข้อมูลซ้ำมากขึ้น โดยจะมีความผิดพลาดจากการเรียนรู้ต่ำกว่า 3 % เมื่อมีการเรียนรู้ข้อมูลซ้ำ 10000 ครั้ง

จากผลการทำนายค่าออกซิเจนละลายน้ำพบว่าใกล้เคียงกับค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ตรวจวัดได้จริงโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r) เท่ากับ 0.91 และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 1.56

Rankovi *et al.* (2010) ได้พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นมา 2 แบบจำลองเพื่อทำนายค่าออกซิเจนละลายน้ำในอ่างเก็บน้ำ Gruzha ประเทศเซอร์เบีย ซึ่งใช้ค่าความเป็นกรดและด่าง อุณหภูมิ น้ำ ไนโตรเจน ไนเตรต แอมโมเนีย เหล็ก แมงกานีสและค่าการนำไฟฟ้า จากผลการทำนายค่าดีโอพบว่าใกล้เคียงกับค่าดีโอที่ตรวจวัดได้จริงโดยมีค่า $r=0.947$ โดยรูปแบบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าออกซิเจนละลายน้ำในอ่างเก็บน้ำ Gruzha ที่ให้ผลการทำนายที่มีค่าใกล้เคียงค่าจริงที่สุดแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ส่วน	รายละเอียด	ค่า หรือคุณสมบัติ
1	จำนวนชั้นซ่อน	15
2	จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลนำเข้า	8
3	จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลออก	1
4	ฟังก์ชันกระตุ้นสู่ชั้นซ่อนที่ 1	linear transfer function
5	ฟังก์ชันกระตุ้นสู่ชั้นข้อมูลออก	Sigmoid transfer function
6	วิธีในการฝึกฝนแบบจำลอง	Levenberg–Marquardt algorithm

ที่มา : Rankovi *et al.* (2010)

2.3.2 ฟัชชันลอจิก

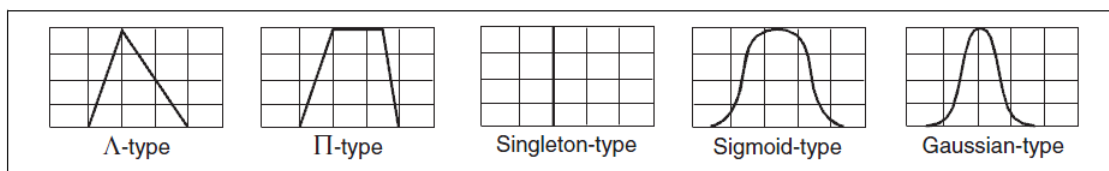
ฟัชชันลอจิกหรือตรรกะแบบคลุมเครือ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ และใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ดังนั้นปริมาณทุกอย่างในระบบทางวิศวกรรมและระบบอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ความเร็ว ความดัน สามารถถูกอธิบายด้วยระดับของความคลุมเครือในฟัชชันลอจิกได้ โดยข้อดีของฟัชชันลอจิกคือไม่จำเป็นจะต้องใช้งานกับระบบที่ข้อมูลนำเข้ามีค่าแน่นอนหรือปราศจากสัญญาณรบกวน ระบบสามารถรองรับข้อมูลนำเข้าที่มีความคลุมเครือได้และไม่มีข้อจำกัดของจำนวนข้อมูลนำเข้าหรือข้อมูลออก โดยจะประมวลผลด้วยการใช้กฎที่กำหนดหรือนิยามด้วยผู้สร้างระบบ และสามารถปรับแต่งระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ฟัชชันลอจิกสามารถใช้

กับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) ได้ ทำให้ลดภาระการประมวลผลของแบบจำลองระบบทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน (Tsakiris *et al.*, 2012)

สำหรับข้อเสียของระบบฟัซซีลอจิกคือไม่มีกระบวนการเรียนรู้ในการปรับแต่งกฎและตัวแปรในระบบ หากกฎและตัวแปรของระบบถูกสร้างโดยผู้ไม่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในระบบที่พิจารณา ระบบที่สร้างจะให้ผลที่ไม่ถูกต้อง

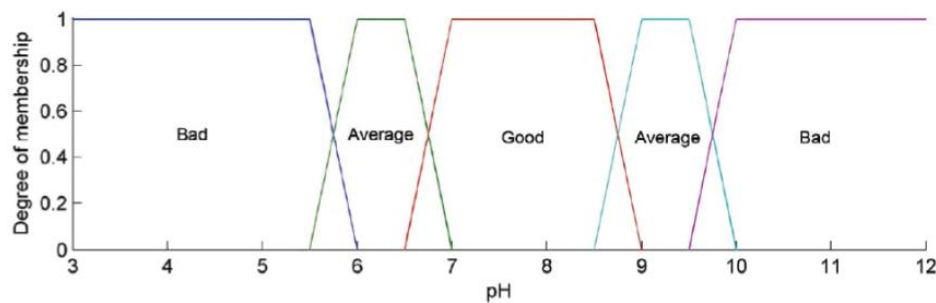
ในปัจจุบันได้มีการสร้างระบบหรือแบบจำลองที่ใช้กระบวนการเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียมควบคู่ไปกับระบบฟัซซีลอจิก ซึ่งเป็นการใช้ข้อดีในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมควบคู่ไปกับการตีความหมายและให้เหตุผลได้ของระบบฟัซซีลอจิก

ในการสร้างระบบฟัซซีลอจิกจะต้องกำหนดฟัซซีเซต (Fuzzy Sets) คือระดับความเป็นสมาชิกของเซตก่อนซึ่งสามารถแทนได้ด้วยค่าเชิงตัวเลขในหลายระดับ โดยระดับความเป็นสมาชิกจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดย 0 หมายถึงไม่เป็นสมาชิกในเซตและ 1 หมายถึงเป็นสมาชิกในเซต ค่าระหว่าง 0 กับ 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต จากนั้นนำค่าระดับความเป็นสมาชิกมากำหนดฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) ชนิดของฟังก์ชันสมาชิกมีหลากหลายชนิด เช่น ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Membership Function) ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Membership Function) เป็นต้น ตัวอย่างฟังก์ชันสมาชิกแสดงดังภาพที่ 2.10 การออกแบบรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกต้องพิจารณาความสูง (ปกติจะกำหนดให้เป็น 1) ความกว้าง (ช่วงความเป็นสมาชิก) ความชันเส้นขอบ(ความเป็นฟัซซี) และจุดศูนย์กลาง ตัวอย่างฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรแสดงดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างฟังก์ชันสมาชิก

ที่มา : LabVIEW (2009)



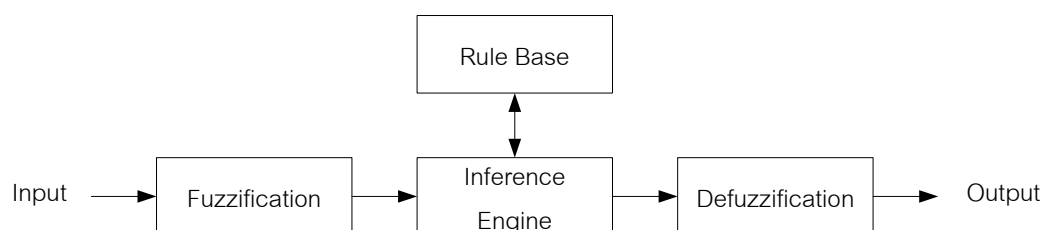
ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปร

ที่มา : LabVIEW (2009)

ในระบบระบบฟัซซีลอจิกองค์ความรู้สามารถแสดงในรูปของกฎ (Rule Base) ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยกลุ่มของประโยคเงื่อนไข ถ้า-แล้ว (IF-THEN) เช่น IF x is A THEN y is B เป็นต้น โดยค่าเงื่อนไขสามารถมีได้หลายค่าและจะถูกประเมินพร้อมกันและรวมกันด้วยปฏิบัติการทางเซต เช่น AND หรือ OR เป็นต้น (พยุง มีสัจ, 2554) ตัวอย่างกฎที่มีค่าเงื่อนไขหลายค่าแสดงดังนี้

IF	x is A
OR	y is B
AND	z is C
THEN	m is D
	N is E

ขั้นตอนการประมวลผลของระบบฟัซซีลอจิกแสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลของระบบฟัซซีลอจิก

ที่มา : Devendra (2008)

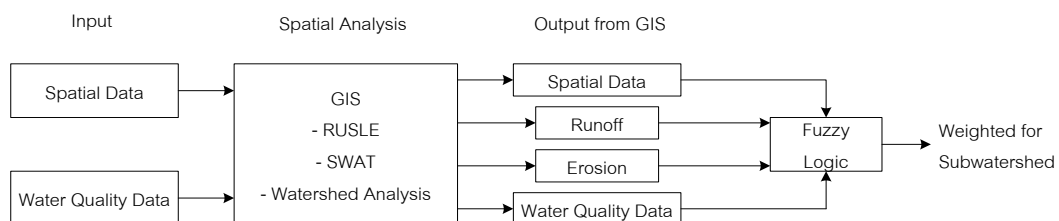
การแปลงค่าอินพุตทั่วไปเป็นค่าฟัซซี (Fuzzification) เป็นขั้นตอนที่แปลงค่าอินพุตให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกจากฟังก์ชันสมาชิกที่มีในระบบหรือแบบจำลอง และรวมค่าฟัซซีจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นค่าระหว่าง 0 ถึง 1 (Devendra, 2008)

กลไกการอนุมาน (Inference Engine) เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากขั้น Fuzzification มาทำการอนุมานกับกลุ่มของกฎโดยดูเฉพาะกฎข้อที่มีเงื่อนไขตรงกับข้อมูลที่ได้ นำค่าที่เกี่ยวข้องกับกฎมาหาข้อสรุป (Devendra, 2008)

การทำค่าฟัซซีเป็นค่าปกติ (Defuzzification) เป็นการนำค่าฟัซซีเอาต์พุตที่รวมจากกฎทุกข้อเป็นค่าปกติที่ใช้ในงานจริง (Devendra, 2008)

2.3.2.1 แบบจำลองฟัซซีลอจิกที่ใช้ในการทำนายหรือคาดการณ์ด้านสิ่งแวดล้อม

Christian (Black, 2005) ได้พัฒนาแบบจำลองฟัซซีลอจิกโดยใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำ ข้อมูลเชิงพื้นที่ แบบจำลองการกัดเซาะ แบบจำลองการไหลของน้ำและการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อประเมินความเสี่ยงของกลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ลุ่มน้ำ Verde Watershed จากแหล่งกำเนิดมลพิษไม่แน่นอน โดยคำนึงถึงมลพิษ 3 รูปแบบ คือ โลหะ ตะกอนและสารอินทรีย์ โดยใช้แบบจำลองย่อย RUSLE ทำนายการกัดเซาะของดิน และแบบจำลองย่อย SWAT (Soil and Water Assessment Tool) เพื่อทำนายปริมาณตะกอนและการไหลของน้ำ โดยแบบจำลองฟัซซีลอจิกจะทำหน้าที่ทำนายความเสี่ยงของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยสำหรับแต่ละชนิดมลพิษซึ่งภาพรวมของแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 2.13

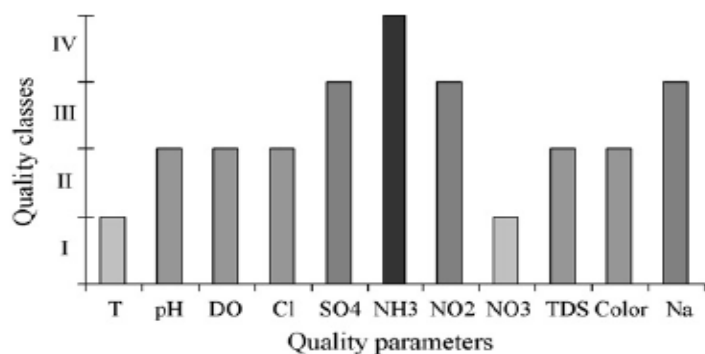


ภาพที่ 2.13 ภาพรวมของแบบจำลองฟัซซีลอจิก

ที่มา : Black (2005)

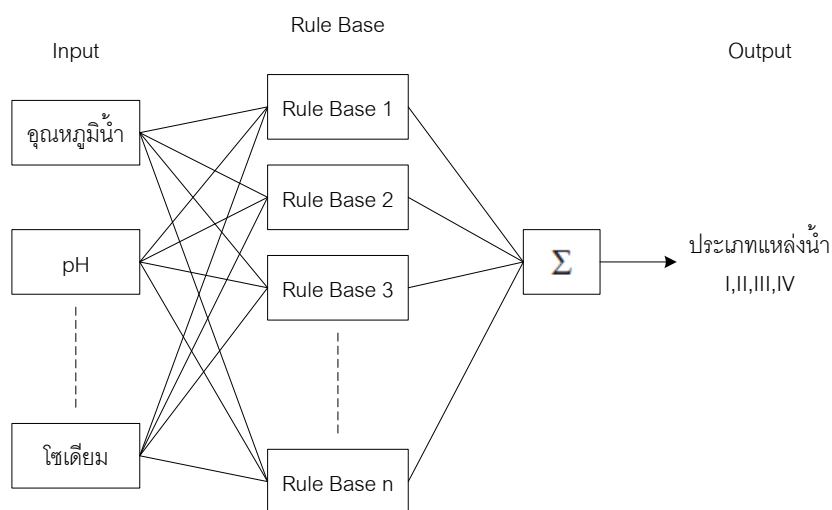
โลหะ ตะกอนและสารอินทรีย์ จะถูกสร้างกฎและฟังก์ชันสมาชิกของแต่ละมลพิษ ซึ่งข้อมูลออกจากแบบจำลองฟัซซีลอจิกจะได้เป็นค่าน้ำหนักของแต่ละกลุ่มน้ำย่อยเพื่อนำไปแบ่งแยกว่าพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยใดที่มีความเสี่ยงต่อปริมาณโลหะ ตะกอนและสารอินทรีย์

Yilmaz (2007) ได้พัฒนาแบบจำลองด้วยเทคนิคฟัซซีลอจิกเพื่อจำแนกคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินเป็น 4 ประเภทตามข้อกำหนดการควบคุมมลพิษทางน้ำ (Water Pollution Control Regulations) ของประเทศตุรกี พื้นที่ศึกษาคือทะเลสาบ Eber เป็นทะเลสาบน้ำจืดในประเทศตุรกีและมีปัญหาในเรื่องธาตุอาหารที่มีปริมาณสูงซึ่งข้อมูลคุณภาพน้ำในทะเลสาบ Eber ไม่สามารถแยกคุณภาพน้ำได้อย่างชัดเจนว่าคุณภาพน้ำในภาพรวมอยู่ในประเภทไหนโดยตัวอย่างข้อมูลคุณภาพน้ำแสดงดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างค่าคุณภาพน้ำในทะเลสาบ Eber
ที่มา : Yilmaz (2007)

ในส่วนของการพัฒนาแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกจะพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดและด่าง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ คลอไรด์ (Cl) ซัลเฟต (SO_4), แอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต ปริมาณของแข็งที่ละลายเจือปนอยู่ในน้ำ (TDS) สี (Pt-co) และ โซเดียม (Na) โดยพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเหล่านี้จะถูกนำมาสร้างฟังก์ชันสมาชิกและกฎในแบบจำลอง โดยแผนภาพข้อมูลนำเข้าและข้อมูลออกของแบบจำลองสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 แผนภาพข้อมูลนำเข้าและข้อมูลออกของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก
ที่มา : Yilmaz (2007)

การใช้เทคนิคฟัซซี่ลอจิกเพื่อใช้ในการจำแนกคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินจะช่วยลดความอ่อนไหวของวิธีการแบบเดิม (Crisp Set) เพราะสามารถช่วยแก้ปัญหาเมื่อค่าพารามิเตอร์

คุณภาพน้ำแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงเขตของข้อกำหนดในแต่ละประเภท และมีความเหมาะสมในการใช้ประเมินมลพิษทางน้ำ

Haberlandt *et al.* (2002) ใช้เทคนิคฟิชชีลอจิกเพื่อประเมินการชะล้างไนโตรเจนจากพื้นดินเพาะปลูกในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่เพื่อช่วยในการตัดสินใจสำหรับประเมินแหล่งน้ำแบบบูรณาการและรวดเร็วในพื้นที่ลุ่มน้ำ Saale ในประเทศเยอรมัน ซึ่งมีขนาด 23,687 ตร.กม. (ตารางกิโลเมตร, km^2) และเป็นพื้นที่เกษตรกรรม 63% ของพื้นที่ทั้งหมด งานวิจัยชิ้นนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะเกี่ยวข้องกับการคำนวณและวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของไนโตรเจนในดินของพื้นที่เพาะปลูกด้วยแบบจำลอง SWIM (Soil and Water Integrated Model) ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบ Process-based model และส่วนที่สองคือการใช้เทคนิคฟิชชีลอจิกประมาณปริมาณไนโตรเจนที่ถูกชะล้างจากพื้นดินและใช้ทดสอบกับลักษณะดิน 9 ชุดข้อมูลรายละเอียดของตัวแปรและแหล่งที่มาของข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองฟิชชีลอจิกจะสรุปอยู่ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองฟิชชีลอจิก

สัญลักษณ์	ตัวแปร	แหล่งที่มา
PCP	ปริมาณฝนรายเดือน	Climate Stations
TAV	อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน	Climate Stations
Q	อัตราการไหลออกทั้งหมดของเดือนปัจจุบัน	SWIM
Q_{-1}	อัตราการไหลออกทั้งหมดของเดือนก่อนหน้า	SWIM
Q_{12}	ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลออกทั้งหมดเดือนย้อนหลัง	SWIM
Q_{sald}	ความแตกต่างระหว่าง PCP และ Q	SWIM
ETR	การคายระเหยของน้ำ	SWIM
FERT	ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในเดือนปัจจุบัน	simulation experiments
FERT_{12}	ค่าเฉลี่ยปริมาณปุ๋ย 12 เดือนย้อนหลัง	simulation experiments
NUPT_{12}	การดูดซึมไนโตรเจนจากการเพาะปลูก 12 เดือนย้อนหลัง	SWIM
$\text{FERT}_{\text{sald}}$	ความแตกต่างระหว่าง FERT และ NUPT	simulation experiments

ที่มา : Haberlandt *et al.* (2002)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจะใช้วิธีการแยกกลุ่มตัวอย่างของการจำลอง 30 ปี โดยประสิทธิภาพการทำนายในระยะยาวได้ผลที่ดีกว่าการประมาณปริมาณไนโตรเจนรายเดือนและรายปี ประสิทธิภาพของแบบจำลองฟิชชีลอจิกในการประมาณปริมาณไนโตรเจนที่ถูกชะจากลักษณะดินทั้ง 9 ชุด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่สูงที่สุดเท่ากับ 0.97 และ

2.3.3.1 โมเดลอ้างอิงหรือแบบจำลองอ้างอิง (Reference Model)

แบบจำลองอ้างอิง (FMRLC) รับค่าข้อมูลมาจากข้อมูลนำเข้า $r(kT)$ แล้วสร้างสัญญาณอ้างอิง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากระบบที่ต้องการควบคุม (Process) โดยทั่วไปแล้วสัญญาณอ้างอิงจะมีคุณลักษณะโดยภาพรวมเช่นเดียวกับคุณลักษณะของระบบโดยไม่เน้นเรื่องความถูกต้องแม่นยำ

2.3.3.2 กลไกการเรียนรู้ (Learning Mechanism)

หน้าที่หลักของกลไกการเรียนรู้คือทำหน้าที่สร้างสัญญาณปรับแต่งกฎของตัวควบคุมฟัซซีเพื่อให้ได้ค่า $y_c(kT)$ มีค่าต่ำ ซึ่งเป็นการทำให้ระบบควบคุมแบบปิดมีพฤติกรรมคล้ายกับแบบจำลองอ้างอิง โดยส่วนประกอบหลักของกลไกการเรียนรู้มีดังนี้

1. The fuzzy inverse model ทำหน้าที่สร้างสัญญาณ $p(kT)$ ที่ไปปรับแต่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวควบคุมแบบฟัซซีโดยรับสัญญาณขาเข้ามาจาก 2 แหล่งคือ ค่าความคลาดเคลื่อน $y_e(kT)$ และค่าการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน $y_c(kT)$ ที่เกิดจากการเปรียบเทียบสัญญาณจากระบบ $y(kT)$ และสัญญาณจากแบบจำลองอ้างอิง $y_m(kT)$

2. ตัวปรับแต่งกฎ (Knowledge-Based Modifier) ทำหน้าที่ปรับแต่งกฎภายในตัวควบคุมฟัซซีเพื่อให้ได้ค่า $y_c(kT)$ มีค่าต่ำและทำให้ระบบควบคุมแบบปิดมีพฤติกรรมคล้ายกับแบบจำลองอ้างอิง

2.3.3.3 ตัวควบคุมฟัซซี (Learning Controller)

ตัวควบคุมฟัซซี ทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมระบบ $u(kT)$ โดยรับสัญญาณขาเข้ามาจาก 2 แหล่งคือ ค่าความคลาดเคลื่อน $e(kT)$ และค่าการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน $c(kT)$ ที่เกิดจากการเปรียบเทียบสัญญาณจากระบบ $y(kT)$ และสัญญาณจากอินพุต $r(kT)$

ในการนำไปใช้งานเชิงเวลาจริงพบว่า FMRLC อาจเกิดการหน่วงเวลาในช่วงเริ่มต้นของการทำงานและต้องการเวลาในการปรับเปลี่ยนค่ากฎซึ่งสามารถร่นระยะเวลาได้โดยการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการขยาย g_p ได้ให้มีค่าที่เหมาะสม

บทที่ 3

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา

เนื้อหาในบทนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนโดยส่วนแรกจะกล่าวถึงข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาทั้งที่มีการรวบรวมจากหน่วยงานต่างๆ (ข้อมูลทุติยภูมิ) และข้อมูลที่มีการตรวจวัดโดยผู้วิจัย และส่วนที่สองจะเป็นเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

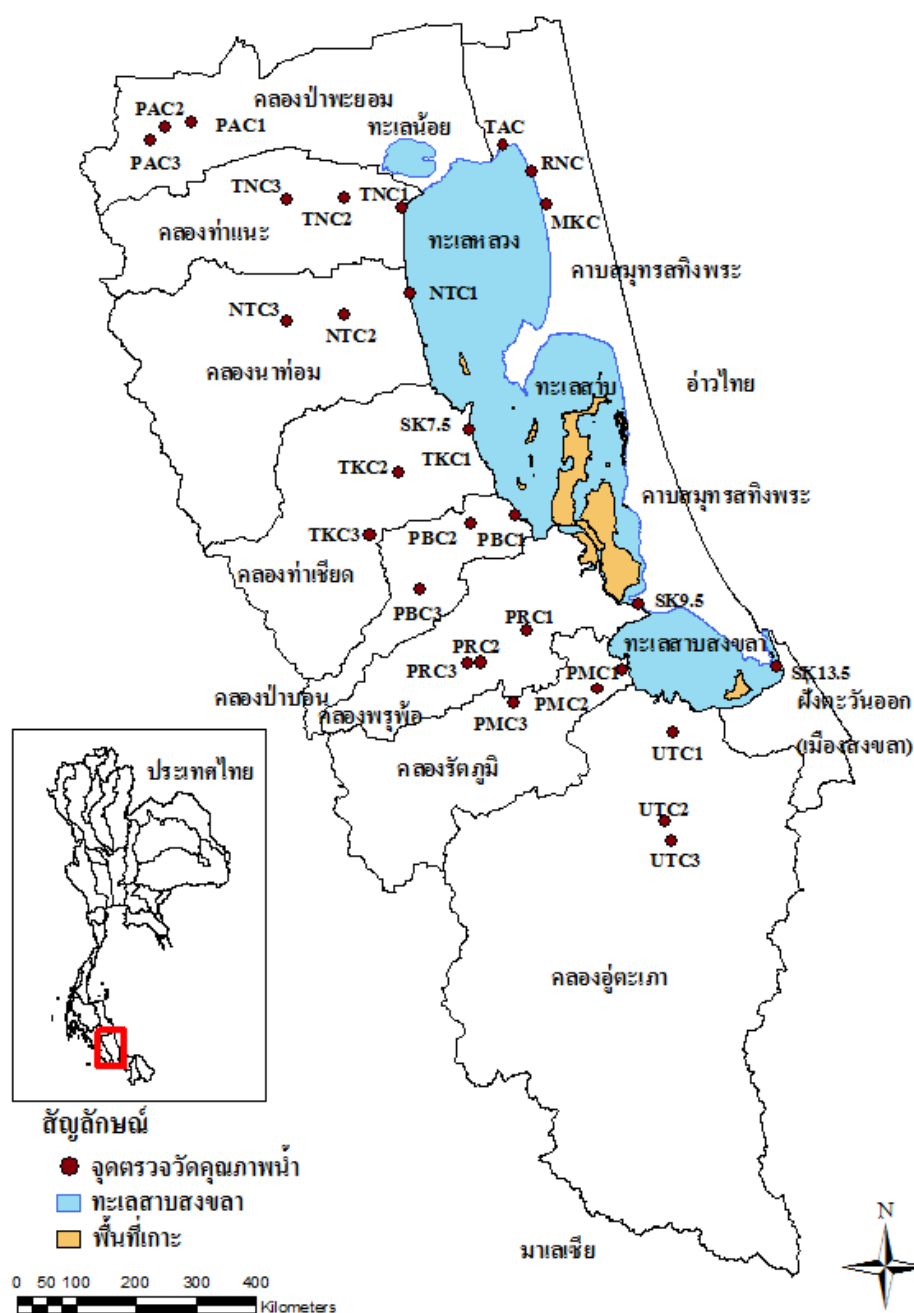
3.1 พื้นที่ศึกษา: พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา

พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นลุ่มน้ำหลักของภาคใต้ มีความสำคัญต่อประชากรจำนวนประมาณ 1.6 ล้านคนที่อาศัยทรัพยากรธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ในลุ่มน้ำสำหรับการดำรงชีวิต พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสงขลา นครศรีธรรมราช และพัทลุง มีพื้นที่รวมประมาณ 8,000 ตร.กม. และมีพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยรวม 10 ลุ่มน้ำย่อย (สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์, 2553) ขอบเขตและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาแสดงดังภาพที่ 3.1 ทะเลสาบสงขลาเป็นระบบนิเวศ 3 น้ำ มีการผสมผสานกันระหว่างน้ำจืด น้ำเค็มและน้ำกร่อย มีลักษณะทางกายภาพที่สามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วน คือ ทะเลน้อยซึ่งมีลักษณะเป็นทะเลสาบน้ำจืด ทะเลสาบตอนบนหรือทะเลหลวง ส่วนใหญ่ในรอบ 1 ปี จะมีลักษณะเป็นน้ำจืด ทะเลสาบตอนกลางมีลักษณะน้ำเป็นน้ำกร่อย และทะเลสาบตอนล่างมีลักษณะน้ำเป็นน้ำกร่อยถึงน้ำเค็ม (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

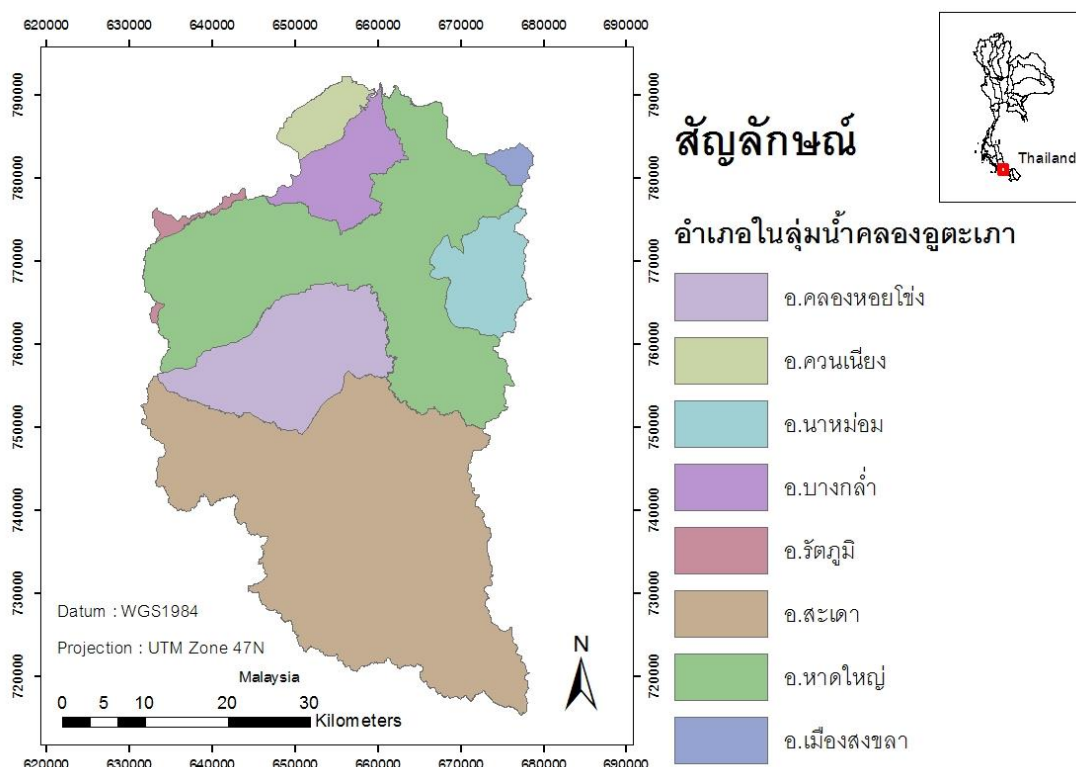
พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาเป็นลุ่มน้ำย่อยที่สำคัญในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีคลองอุตะเกาเป็นแม่น้ำสายหลักที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง จากการรวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในรูปแบบข้อมูลเชิงปริมาณ ข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีรายละเอียดของลุ่มน้ำคลองอุตะเกาดังนี้

3.1.1 ขอบเขตและที่ตั้ง

พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกาตั้งอยู่ระหว่าง ละติจูดที่ 6 องศา 28 ลิปดา ถึง 7 องศา 9 ลิปดาเหนือ และลองจิจูดที่ 100 องศา 9 ลิปดา 100 องศา 37 ลิปดาตะวันออก (ปิยะนัทรน้อยสำลี, 2557) ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 2,400 ตร.กม. ตั้งอยู่ในพื้นที่ 8 อำเภอของจังหวัดสงขลาซึ่งแสดงดังภาพที่ 3.2 โดยครอบคลุมพื้นที่ 5 อำเภอ คือ อำเภอสะเดา อำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอนาหม่อม อำเภอบางกล่ำและอำเภอหาดใหญ่ และบางส่วนของ 3 อำเภอ คือ อำเภอรัตภูมิ อำเภอเมืองสงขลาและอำเภอกวนเนียง



ภาพที่ 3.1 ขอบเขตลุ่มน้ำย่อยและจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
ที่มา : สถาบันวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
และสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16



ภาพที่ 3.2 ขอบเขตอำเภอในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา

ที่มา : สถาบันวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา มีลักษณะแตกต่างกันซึ่งสามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะ คือ พื้นที่ภูเขา พื้นที่ราบลูกคลื่นและพื้นที่ราบ โดยพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกของลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาเป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาบรรทัด ส่วนของทิศใต้และทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาสันกาลาศีรี ลักษณะภูมิประเทศที่เป็นพื้นที่ภูเขาเช่นนี้เป็นแหล่งกำเนิดต้นน้ำให้แก่คลองอุตะเถา (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2551) พื้นที่ราบลูกคลื่นจะอยู่ต่อเนื่องจากพื้นที่ภูเขาลงมาและมีลักษณะเป็นเนินเขาลูกคลื่นลอนลาดและลอนชันสลับกันไป กระจายอยู่ทางตอนกลางถึงตอนใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกยางพารา (ศูนย์วิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงานภาคใต้, 2553) พื้นที่ราบของลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาอยู่ทางทิศเหนือของพื้นที่ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำ ซึ่งเป็นที่ตั้งชุมชนและพื้นที่การเกษตร (ปิยะฉัตร น้อยสำลี, 2557)

3.1.3 ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา เป็นแบบมรสุมเขตร้อนและมี 2 ฤดูกาล คือฤดูฝนและฤดูแล้ง

3.1.3.1 ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนมกราคม โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งฤดูฝนออกเป็น 2 ช่วง (ศูนย์วิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงานภาคใต้, 2553) คือ

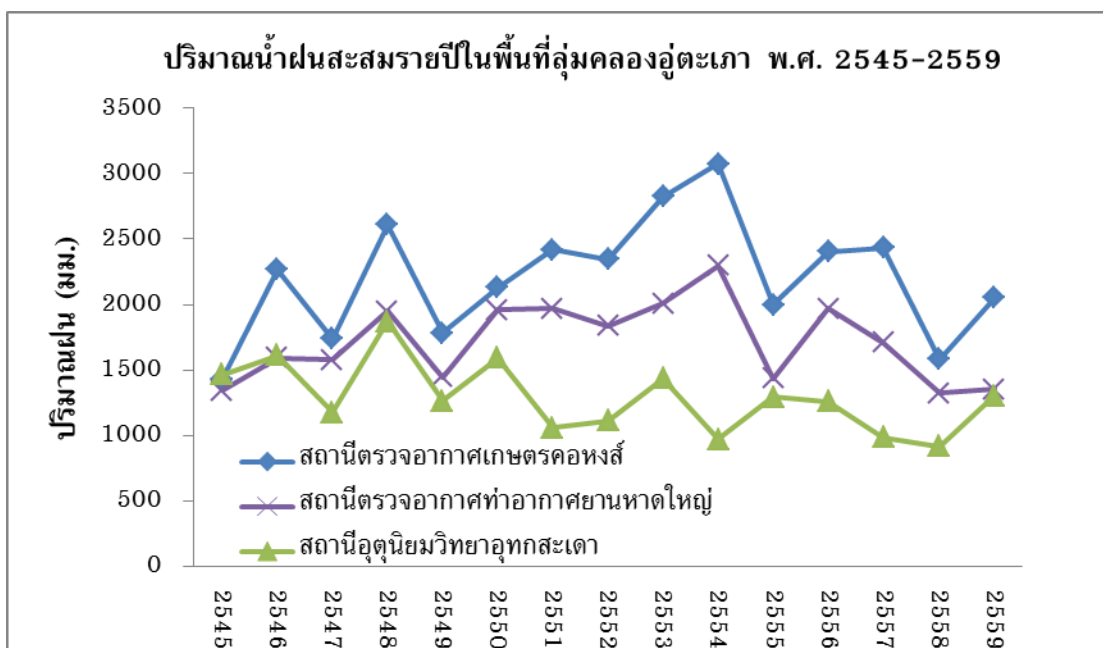
1. ฤดูฝนช่วงแรก เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงกันยายน โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงนี้มีปริมาณน้ำฝนค่อนข้างน้อย เนื่องจากมีเทือกเขาบรรทัดปะทะไว้

2. ฤดูฝนช่วงหลัง เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงมกราคม โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นหย่อมกดอากาศสูงพัดพาความชื้นจากอ่าวไทยมาสู่ภาคใต้ฝั่งตะวันออก ช่วงนี้มีปริมาณน้ำฝนค่อนข้างมาก และอุณหภูมิอากาศค่อนข้างเย็น

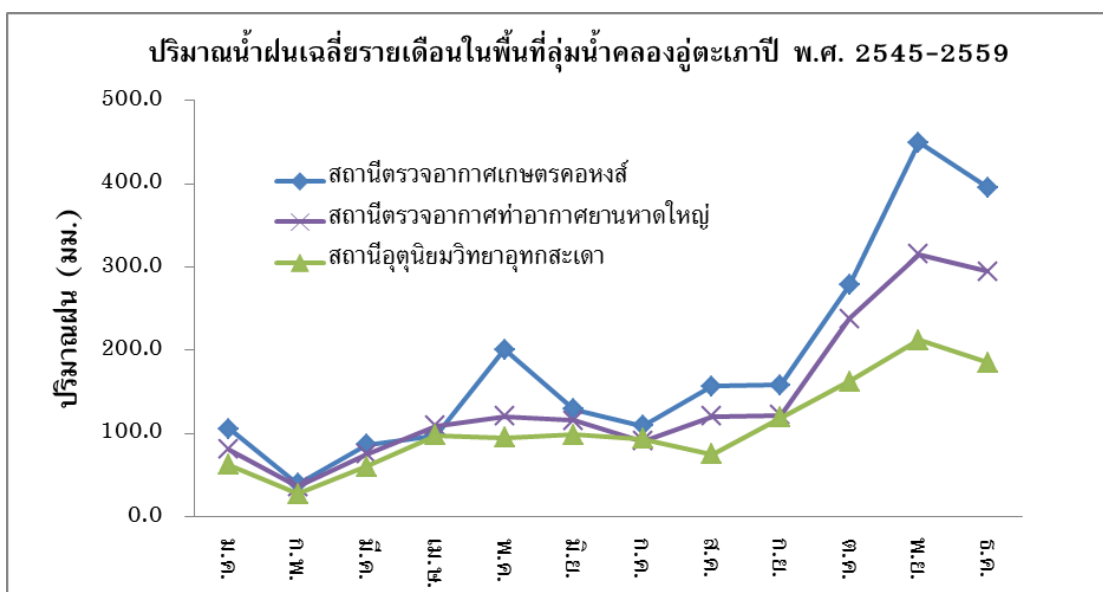
3.1.3.2 ฤดูแล้ง เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน เป็นช่วงที่มีอากาศร้อนและฝนตกในปริมาณน้อย เกิดจากอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทะเลจีนใต้ (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2551)

จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาซึ่งทำการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอยู่ตะเภาจำนวน 3 สถานี คือ สถานีตรวจอากาศเกษตรคองหงส์ สถานีตรวจอากาศท่าอากาศยานหาดใหญ่ และสถานีอุตุนิยมวิทยาอุทกสะเดา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545-2559 (15 ปี) โดยในปี พ.ศ. 2554 มีปริมาณน้ำฝนสูงสุด 3,074 มม. (มิลลิเมตร, mm.) วัดได้ที่สถานีตรวจอากาศเกษตรคองหงส์ ในปี พ.ศ. 2558 มีปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 917.9 มม. วัดได้ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาอุทกสะเดา ซึ่งในช่วง 15 ปีที่ผ่านมาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,736.7 มม. โดยปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอยู่ตะเภาแสดงดังภาพที่ 3.3 เมื่อพิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยแบบรายเดือนพบว่าเดือนพฤศจิกายนเป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงที่สุดและเดือนกุมภาพันธ์เป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่ำที่สุดในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของอยู่ตะเภา โดยข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยแบบรายเดือนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอยู่ตะเภาแสดงดังภาพที่ 3.4

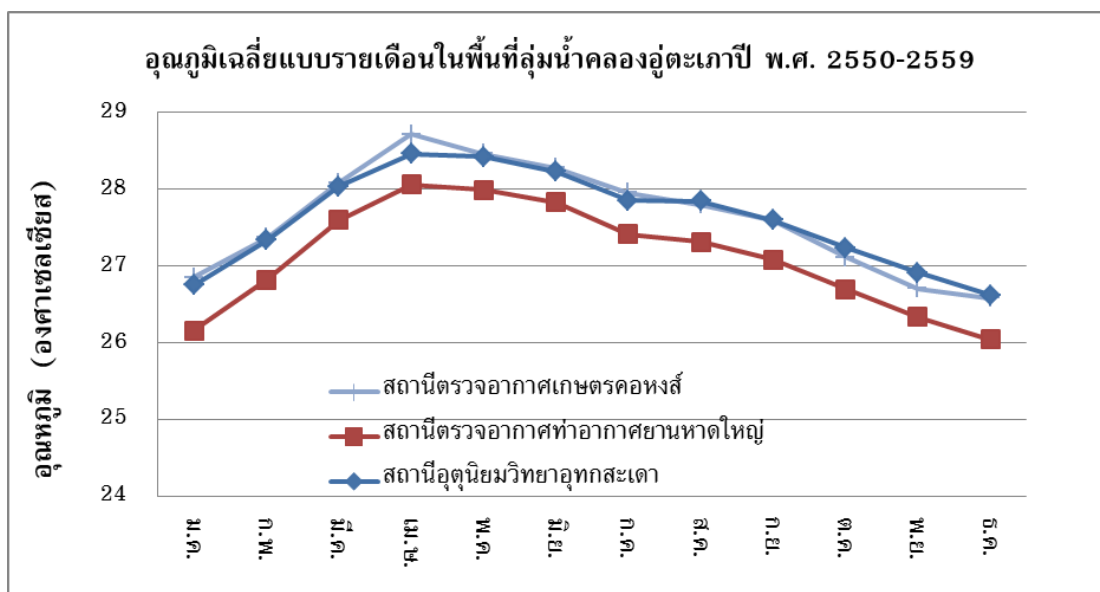
จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาซึ่งทำการตรวจวัดจำนวน 3 สถานี คือ สถานีตรวจอากาศเกษตรคองหงส์ สถานีตรวจอากาศท่าอากาศยานหาดใหญ่ และสถานีอุตุนิยมวิทยาอุทกสะเดา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2559 (10 ปี) พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยแบบรายเดือนในรอบปีมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 27 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดคือเดือนเมษายนและเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุดคือเดือนธันวาคมและมกราคม โดยอุณหภูมิเฉลี่ยแบบรายเดือนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอยู่ตะเภาแสดงดังภาพที่ 3.5 และอุณหภูมิเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2559 แสดงดังภาพที่ 3.6



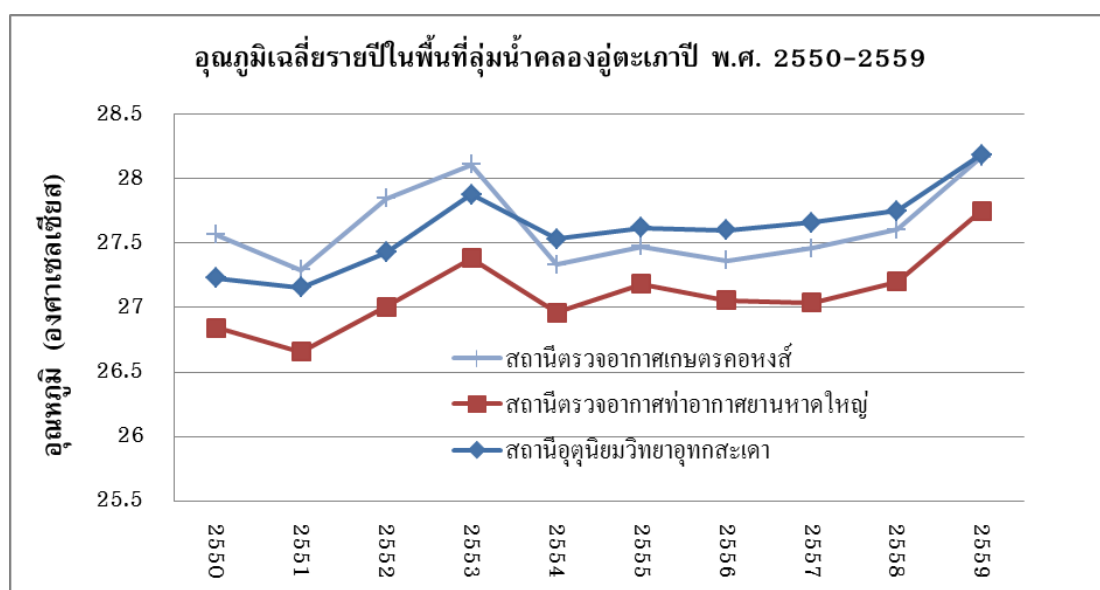
ภาพที่ 3.3 ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาปี พ.ศ. 2545-2559
ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก



ภาพที่ 3.4 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยแบบรายเดือนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา
ปี พ.ศ. 2545-2559
ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก



ภาพที่ 3.5 อุณหภูมิเฉลี่ยแบบรายเดือนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาปี พ.ศ. 2550-2559
ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก

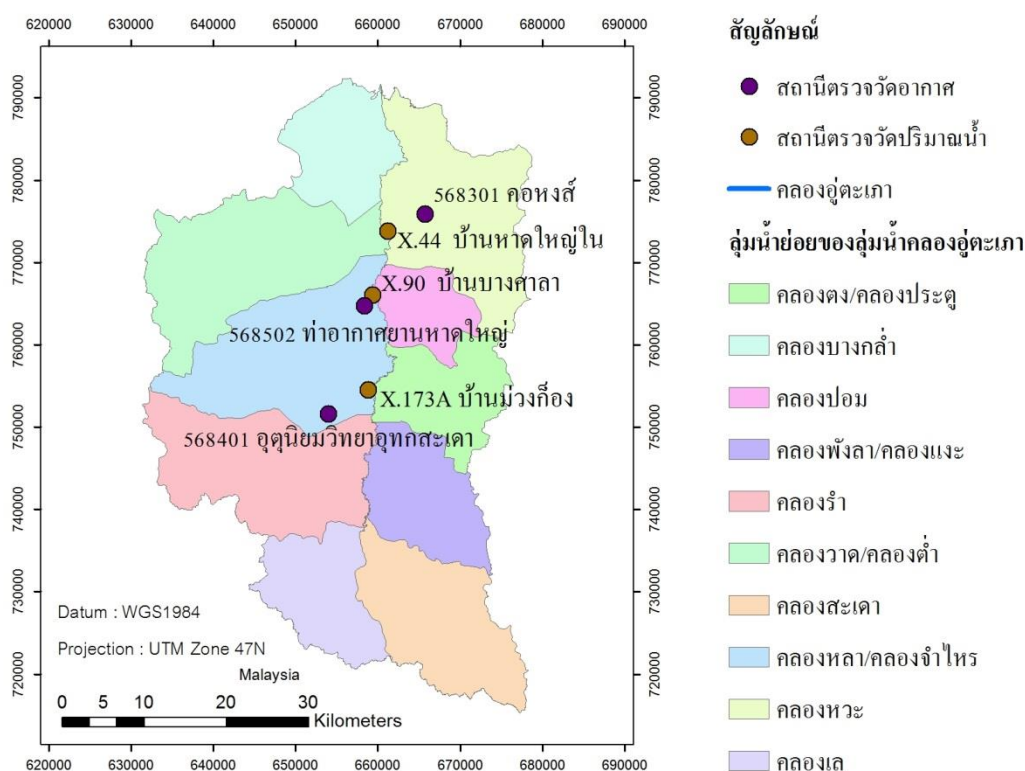


ภาพที่ 3.6 อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาปี พ.ศ. 2550-2559
ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก

3.1.4 ลักษณะทางอุทกวิทยา

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถามีลำน้ำสายหลักที่สำคัญคือคลองอุตะเถา ความยาวตามลำน้ำประมาณ 175 กิโลเมตร ซึ่งมีทิศทางการไหลจากทิศใต้ไปสู่ทิศเหนือมีต้นกำเนิดมาจากสันปันน้ำที่สำคัญ 3 แหล่ง ได้แก่ เทือกเขาน้ำค้าง เทือกเขาแก้วและเทือกเขาย่อยๆ ซึ่งเพิ่ม

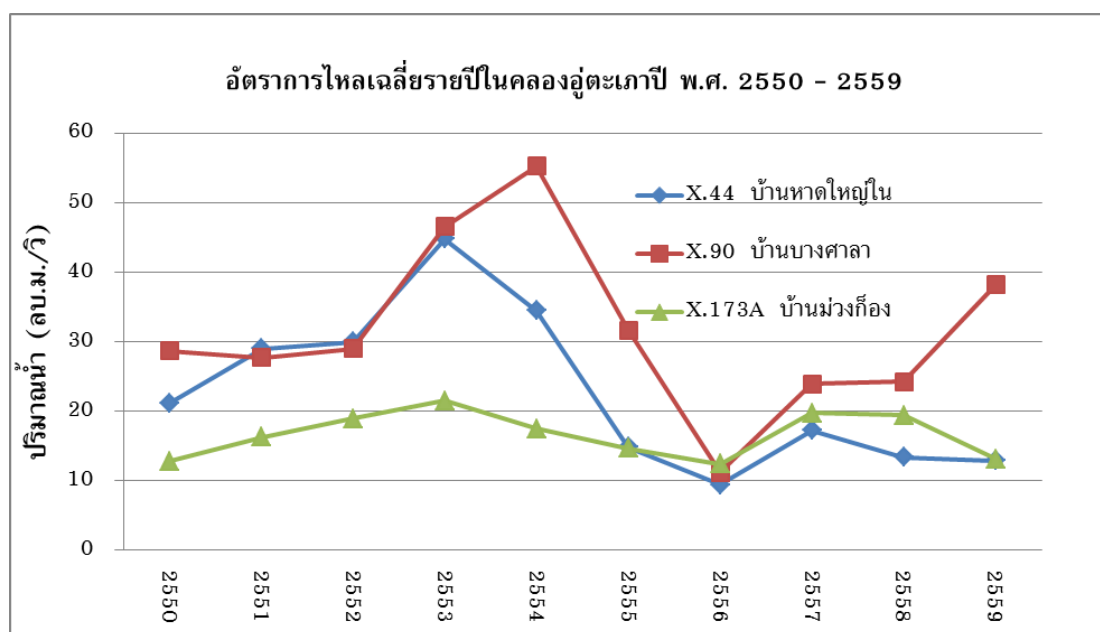
ปริมาณน้ำให้กับคลองอยู่ตะเภาในตอนกลางลำน้ำ (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2551) โดยคลองอยู่ตะเภาจะไหลผ่านเขตอำเภอสะเตาะและอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แล้วไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา (ปิยะฉัตร น้อยสำลี, 2557) นอกจากนี้คลองอยู่ตะเภายังมีลำคลองสาขาที่แยกออกจากคลองอยู่ตะเภา ได้แก่ คลองหะ คลองรำใหญ่ คลองหินเหล็กไฟ คลองตง คลองประตู่ คลองแงะ คลองพังลา คลองปริก คลองวาด คลองต่ำ คลองยาง คลองหลา คลองจำไทร คลองหลำนุ้ย คลองเล่ นอกจากนี้ยังมีคลองสำคัญที่อยู่บริเวณต้นน้ำ ได้แก่ คลองสะเตาะและคลองรำ สำหรับคลองสาขาย่อยบริเวณปากคลองก่อนไหลออกสู่ทะเลสาบสงขลา เช่น คลองเตย และไหลรวมกับคลองแห ก่อนไหลรวมกับคลองอยู่ตะเภาที่ตำบลคูเต่า อำเภอบางกล่ำ (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2551) โดยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอยู่ตะเภามีลุ่มน้ำย่อยรวม 10 ลุ่มน้ำย่อย ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยและสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำและอากาศในลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภา
ที่มา : สถานีวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ
สำนักงานชลประทานที่ 16 จังหวัดสงขลา

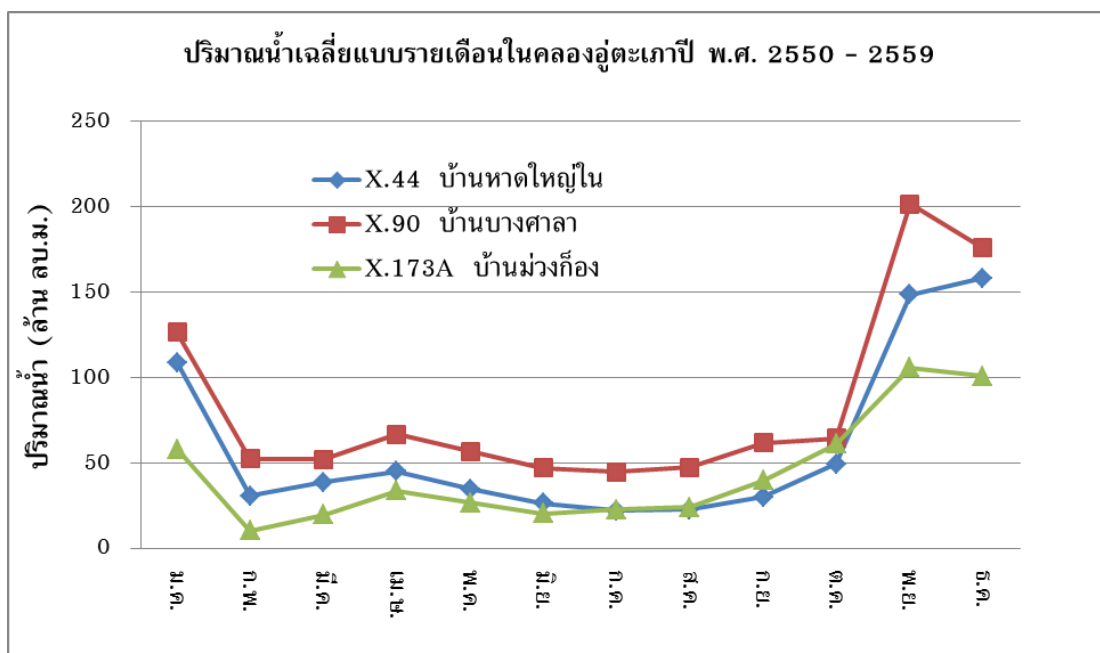
จากข้อมูลปริมาณน้ำในคลองอยู่ตะเภา จำนวน 3 สถานี คือ X.44 (บ้านหาดใหญ่ใน) X.90 (บ้านบางศาลา) และ X.173A (บ้านม่วงก้อง) ของศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคใต้ กรมชลประทาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2559 (10 ปี) โดยที่ตั่งสถานีตรวจวัด

แสดงดังภาพที่ 3.7 พบว่าในปี พ.ศ. 2554 มีปริมาณน้ำสูงสุด 1,741.7 ล้าน ลบ.ม. (ลูกบาศก์เมตร, m^3) วัดได้ที่สถานี X.90 บ้านบางศาลา ในปี พ.ศ. 2556 มีปริมาณน้ำต่ำสุด 296.05 ล้าน ลบ.ม. วัดได้ที่สถานี X.44 บ้านหาดใหญ่ใน ซึ่งในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา มีอัตราการไหลเฉลี่ยสูงสุดวัดได้ที่สถานี X.90 บ้านบางศาลา ในปี พ.ศ. 2554 โดยมีอัตราการไหลเฉลี่ยสูงถึง 55.23 ลบ.ม./วิ. (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที, m^3/s) และอัตราการไหลเฉลี่ยต่ำที่สุดวัดได้ที่สถานี X.44 บ้านหาดใหญ่ใน มีอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 9.39 ลบ.ม./วิ. ในปี พ.ศ. 2556 โดยอัตราการไหลเฉลี่ยรายปีในคลองอุตะเกาแสดงดังภาพที่ 3.8 เมื่อพิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำเฉลี่ยแบบรายเดือนในคลองอุตะเกาพบว่าเดือนพฤศจิกายนเป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำเฉลี่ยสูงที่สุดและเดือนกุมภาพันธ์เป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำที่สุดในคลองอุตะเกาซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยแบบรายเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงที่สุดในเดือนพฤศจิกายนและเดือนกุมภาพันธ์เป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่ำที่สุดในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา โดยข้อมูลปริมาณน้ำเฉลี่ยแบบรายเดือนในคลองอุตะเกาแสดงดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.8 อัตราการไหลเฉลี่ยรายปีในคลองอุตะเกาปี พ.ศ. 2550-2559

ที่มา : ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคใต้ กรมชลประทาน



ภาพที่ 3.9 ข้อมูลปริมาณน้ำเฉลี่ยแบบรายเดือนในคลองอุตะเถาปี พ.ศ. 2550-2559

ที่มา : ศูนย์อุทกวิทยาสลประทานภาคใต้ กรมชลประทาน

3.1.5 ทรัพยากรดิน

จากฐานข้อมูลภูมิศาสตร์ทรัพยากรดินของสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่าพื้นที่บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาประกอบด้วยชุดดินต่างๆรวม 46 ชุดดิน ชุดดินที่ลาดเชิงซ้อน (Slope Complex) เป็นชุดดินที่พบมากที่สุด ครอบคลุมพื้นที่ถึง 622.25 ตร.กม. หรือคิดเป็น 25.83 % ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา โดยชุดดินที่พบรองลงมาสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.1 ส่วนชุดดินอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึงในตารางที่ 3.1 พบกระจายอยู่ทั่วไป ลักษณะของเนื้อดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถานอกเหนือจากดินพื้นที่ภูเขา ส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายละเอียด ครอบคลุมพื้นที่ถึง 774.71 ตร.กม. คิดเป็น 32.15 % ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา โดยเนื้อดินที่พบในลุ่มน้ำคลองอุตะเถาสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ชุดดินที่พบมากในกลุ่มน้ำคลองอุตะเกา

ชุดดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)	%
ที่ลาดชันเชิงซ้อน	622.25	25.83
ดินชุดหาดใหญ่	295.14	12.25
ดินชุดยะลา	217.89	9.04
หน่วยสัมพันธ์ของดินคล้ายดินชุดสายบุรี แต่มีเนื้อดินเหนียวละเอียด / ดินชุดรือเสาะ	192.08	7.97
หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดระนอง / ดินชุดพะโต๊ะ	172.85	7.17
หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดหาดใหญ่ / ดินชุดปางดงเบซาร์	103.00	4.27

ที่มา : สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตารางที่ 3.2 เนื้อดินที่พบในกลุ่มน้ำคลองอุตะเกา

เนื้อดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)	%
ดินร่วนปนทรายละเอียด	774.71	32.15
ดินร่วนปนทราย	315.12	13.08
ดินร่วนปนดินเหนียว	227.90	9.46
ดินเหนียว	192.08	7.97
ดินร่วนปนทรายแป้ง	106.65	4.43
ดินเหนียวปนทรายแป้ง	50.17	2.08
ดินทรายปนดินร่วน	45.46	1.89
ดินร่วน	29.40	1.22
ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง	24.89	1.03
ดินทราย	11.42	0.47
ดินมีกรวดปนมาก	4.78	0.20
ดินพรุ	0.32	0.01
ไม่มีข้อมูล (พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน)	622.25	25.83
ไม่มีข้อมูล (พื้นที่อยู่อาศัย)	4.30	0.18

ที่มา : สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3.1.6 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเภามีความหลากหลายในการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเมื่อวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินจากข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมใน ปี พ.ศ. 2545 และ ปี พ.ศ. 2552 และข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินใน ปี พ.ศ. 2555 พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ในลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเภเป็นพื้นที่เกษตรกรรม รองลงมาคือพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินในการปลูกยางพาราและที่นาโดยแสดงตามตารางที่ 3.3 จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2555 พบว่าเป็นพื้นที่ปลูกยางพารา 1,578.02 ตร.กม. ซึ่งสูงถึง 65.58 % ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเภา และมีพื้นที่นา 130.33 ตร.กม. คิดเป็น 5.42 % ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเภา โดยการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2555 แสดงดังภาพที่ 3.10

จากการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่าพื้นที่ปลูกยางพารามีพื้นที่ลดลง ในขณะที่พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ชุมชนและแหล่งน้ำมีพื้นที่เพิ่มขึ้น

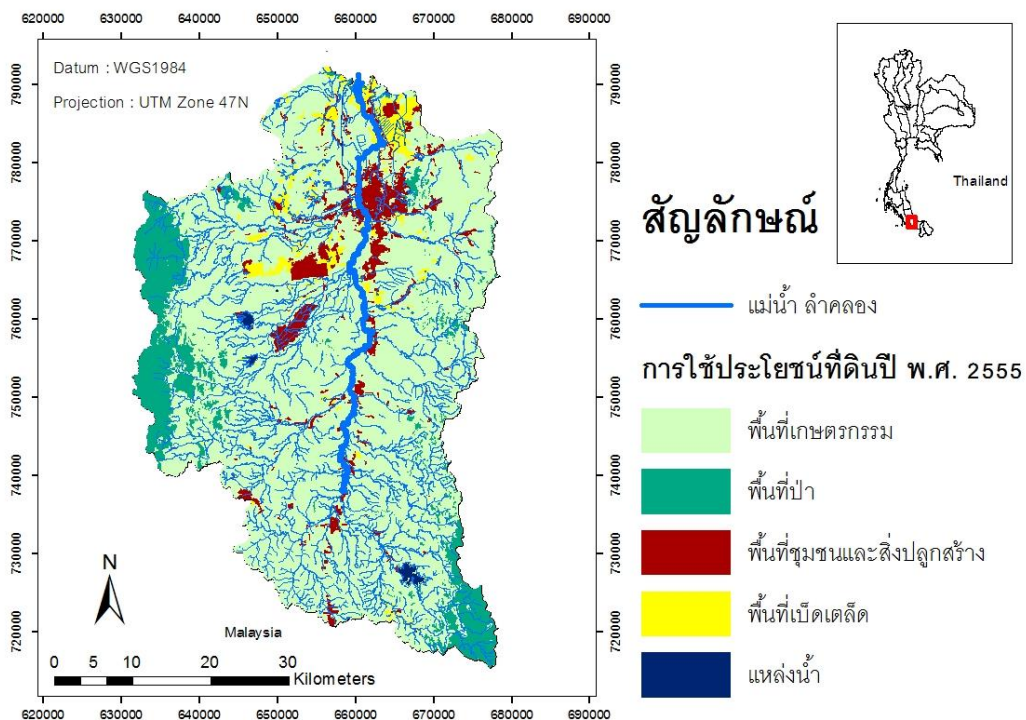
ตารางที่ 3.3 การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเภาปี 2545 2552 และ 2555

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ปี 2555 (ตร.กม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)		
		2555	2552	2545
พื้นที่เกษตรกรรม	1784.09	74.14	78.81	79.01
– ยางพารา	1578.02	65.58	69.91	69.93
– ที่นา	130.33	5.42	4.14	4.33
พื้นที่ป่าไม้	298.19	12.39	10.46	10.05
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	191.09	7.94	6.22	5.9
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	106.85	4.44	3.8	3.93
แหล่งน้ำ	26.04	1.08	0.82	0.66

ที่มา : สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และกรมพัฒนาที่ดิน

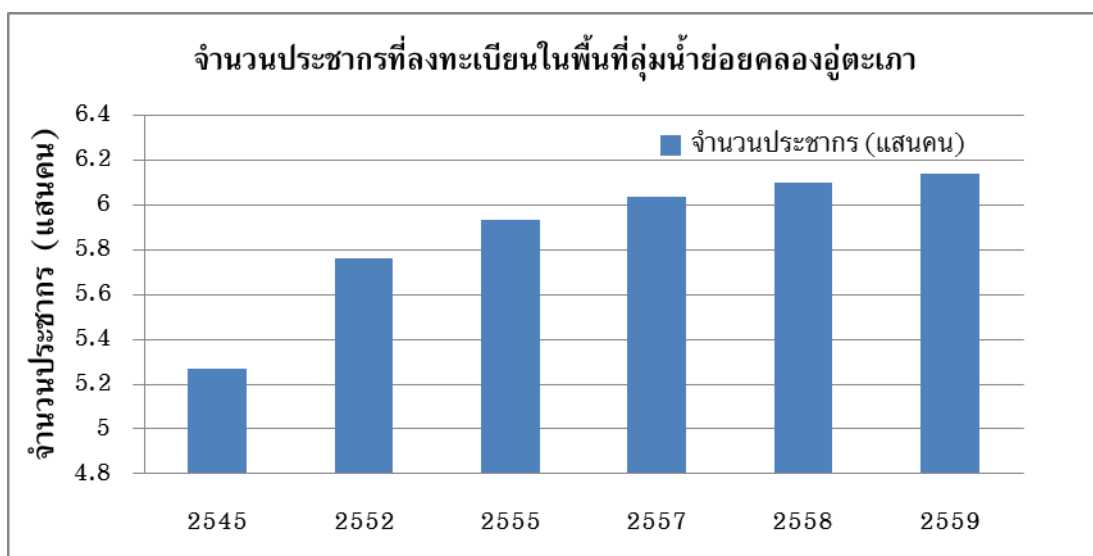
3.1.7 จำนวนประชากร

จากสถิติประชากรจากการลงทะเบียนที่รวบรวมจากสำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง พบว่าประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเภาได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2545 มีประชากรอาศัยอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเภาประมาณ 527,000 คนและเพิ่มขึ้นเป็น 609,000 คนในปี พ.ศ. 2558 โดยจำนวนประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเภาแสดงดังภาพที่ 3.11 และจำนวนประชากรในเขตและนอกเขตเทศบาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเภาแยกเป็นรายอำเภอแสดงดังตารางที่ 3.4



ภาพที่ 3.10 การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2555

ที่มา : สถานีวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ภาพที่ 3.11 จำนวนประชากรที่ลงทะเบียนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา

ที่มา : สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง

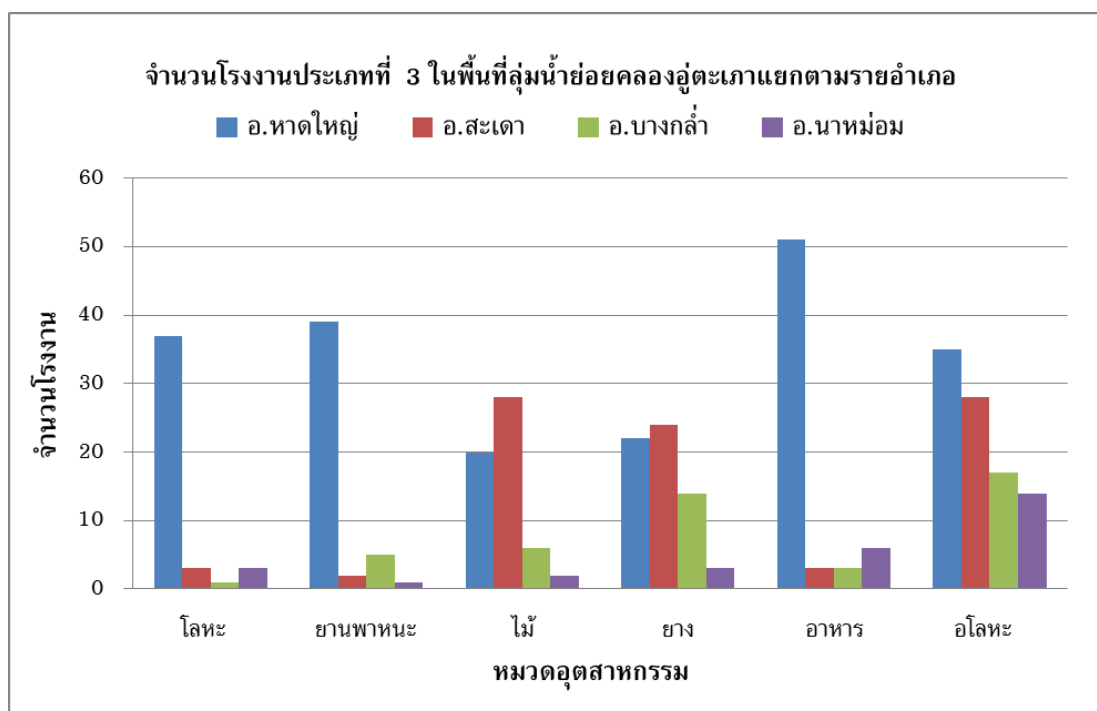
ตารางที่ 3.4 จำนวนประชากรที่ลงทะเบียนในเขตและนอกเขตเทศบาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาแยกเป็นรายอำเภอ

อำเภอ/เขตการปกครอง	จำนวนประชากร	
	2555 (คน)	2558 (คน)
1) อ.คลองหอยโข่ง	25,506	26,159
ในเขตเทศบาล	6,779	6,981
นอกเขตเทศบาล	18,727	19,178
2) อ.ควนเนียง	6,694	6,788
ในเขตเทศบาล	-	-
นอกเขตเทศบาล	6,694	6,788
3) อ.นาหม่อม	22,304	22,685
เทศบาล	-	-
นอกเขตเทศบาล	22,304	22,685
4) อ.บางกล่ำ	29,367	30,617
ในเขตเทศบาล	19,869	20,895
นอกเขตเทศบาล	9,498	9,722
5) อ.เมืองสงขลา	10,032	10,900
ในเขตเทศบาล	9,900	10,764
นอกเขตเทศบาล	132	136
6) อ.รัตภูมิ	421	441
ในเขตเทศบาล	421	441
นอกเขตเทศบาล	-	-
7) อ.สะเดา	123,380	125,003
ในเขตเทศบาล	63,532	60,889
นอกเขตเทศบาล	59,848	64,114
8) อ.หาดใหญ่	375,445	387,277
ในเขตเทศบาล	330,810	341,306
นอกเขตเทศบาล	44,635	45,971
ประชากรทั้งหมดในลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	593,149	609,870
ในเขตเทศบาล	431,311	441,276
นอกเขตเทศบาล	161,838	168,594

ที่มา : สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง

3.1.8 โรงงานอุตสาหกรรม

จากข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมที่รวบรวมจากอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลาและกรมโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า มีโรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา ประมาณ 700 โรงงาน โดยแบ่งโรงงานตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 พบว่ามีโรงงานจำพวกที่ 1 จำนวน 15.6 % โรงงานจำพวกที่ 2 จำนวน 13.4 % และโรงงานจำพวกที่ 3 จำนวน 71 % ของโรงงานที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา ทั้งนี้เมื่อพิจารณาเฉพาะโรงงานประเภทที่ 3 พบว่ามีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทที่ 3 ในหมวดโลหะหรือเกี่ยวกับการก่อสร้าง อุตสาหกรรมอาหารและยางพาราเป็นหลัก คิดเป็น 19 % 13 % และ 13 % ตามลำดับ รองลงมาคืออุตสาหกรรมแปรรูปไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้คิดเป็น 11 % โดยโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่และรองลงมาคืออำเภอสะเดา ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 จำนวนโรงงานประเภทที่ 3 ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาแยกตามรายอำเภอ
ที่มา : อุตสาหกรรมจังหวัดสงขลาและกรมโรงงานอุตสาหกรรม

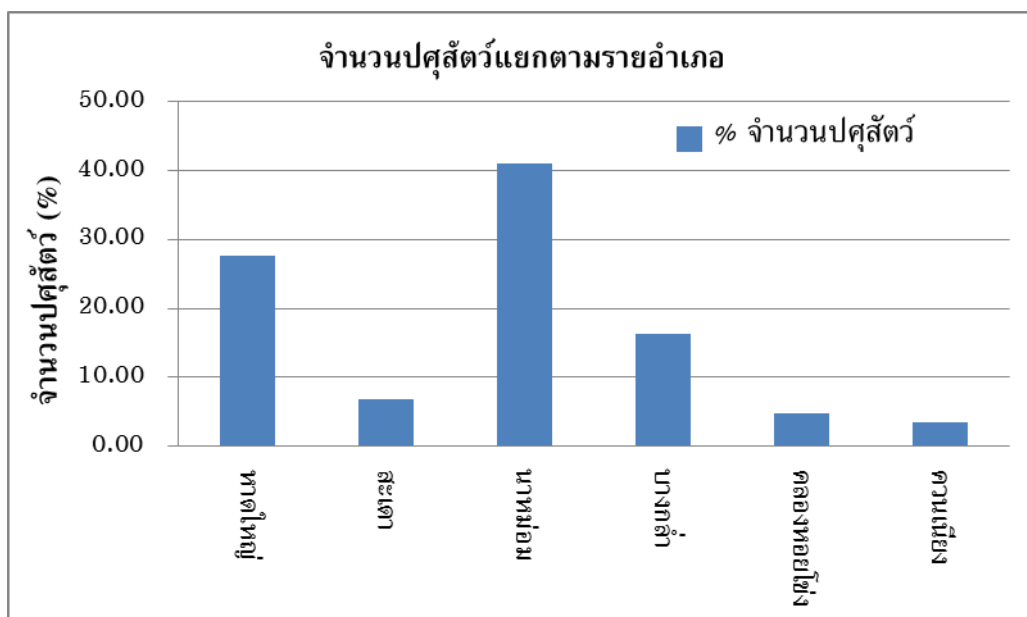
3.1.9 ปศุสัตว์

ข้อมูลปศุสัตว์ (โคเนื้อ ไก่ เป็ด และสุกร) จากสำนักงานปศุสัตว์สงขลาในปี 2555 มีจำนวนปศุสัตว์ทั้งหมดประมาณ 714,000 ตัวในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในอำเภอนาหม่อม (40.98 %) รองลงมาคืออำเภอหาดใหญ่ (27.54 %) และอำเภอ บางกล่ำ (16.25 %) ตามลำดับ โดยไม่คิดจำนวนปศุสัตว์ในพื้นที่อำเภอรัตภูมิเนื่องจากมีพื้นที่ที่สามารถเลี้ยงสัตว์ได้เพียง 0.73 % ของพื้นที่อำเภอรัตภูมิที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา รายละเอียดจำนวนปศุสัตว์ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาแสดงดังตารางที่ 3.5 และร้อยละจำนวนปศุสัตว์ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา แยกตามรายอำเภอแสดงดังภาพที่ 3.13

ตารางที่ 3.5 จำนวนปศุสัตว์ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาปี พ.ศ. 2555

อำเภอ	โคเนื้อ (ตัว)	ไก่ (ตัว)	เป็ด (ตัว)	สุกร (ตัว)	ปศุสัตว์ทั้งหมด (ตัว)
หาดใหญ่	10,564	125,231	49,629	11,305	196,729
สะเดา	3,526	40,313	3,426	869	48,134
นาหม่อม	1,767	275,215	6,480	9,244	292,706
บางกล่ำ	5,972	96,288	12,356	1,432	116,048
คลองหอยโข่ง	4,970	27,088	2,252	387	34,697
เมืองสงขลา	-	-	-	1,552	1,552
ควนเนียง	1,954	20,666	1,577	271	24,468
รวม	28,753	584,801	75,720	25,060	714,334

ที่มา : สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดสงขลา



ภาพที่ 3.13 จำนวนปลุ่สัตว์ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุ้ะเกาปี พ.ศ. 2555 แยกตามรายอำเภอ
ที่มา : สำนักงานปลุ่สัตว์จังหวัดสงขลา

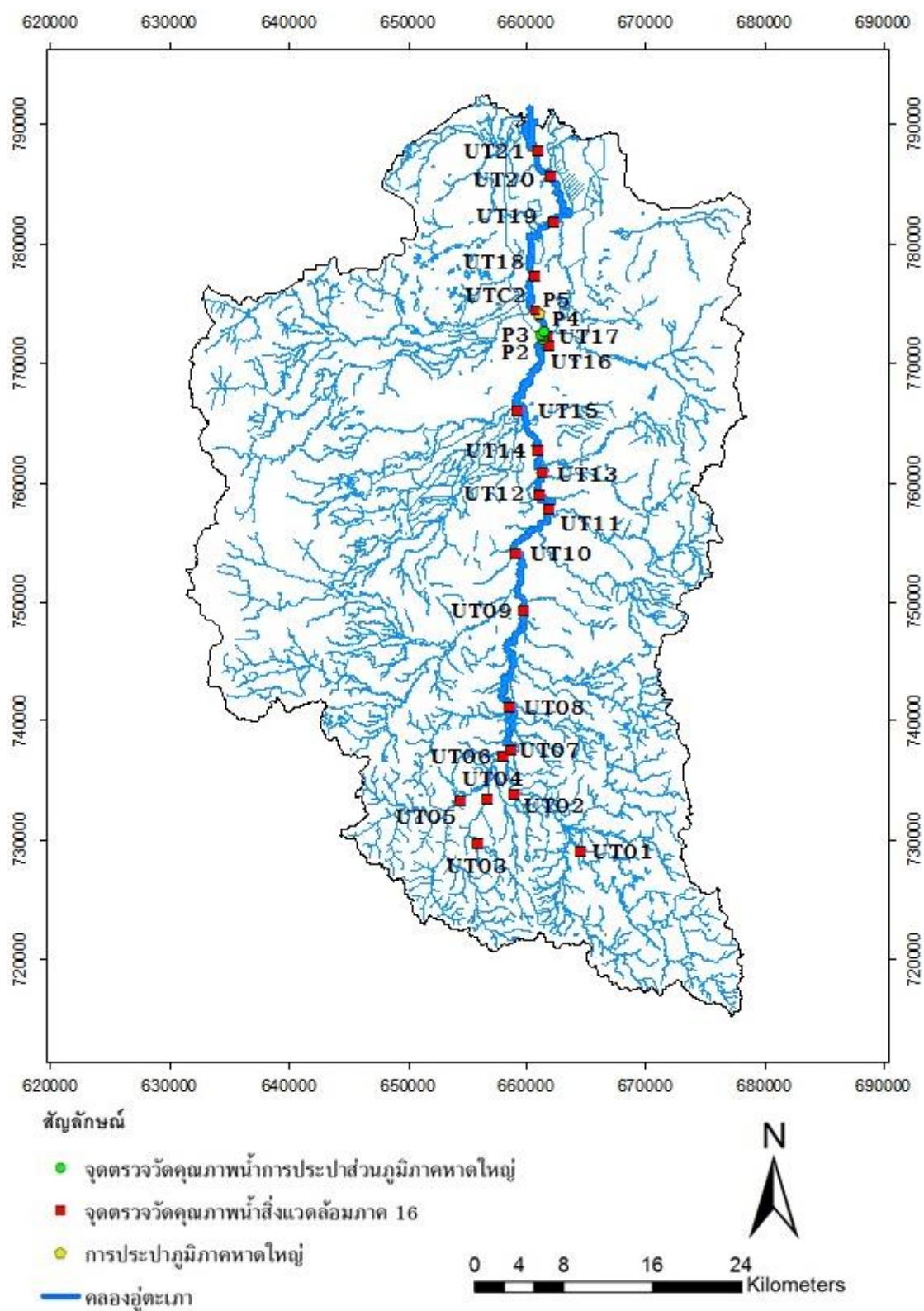
3.1.10 คุณภาพน้ำในคลองอุ้ะเกา

3.1.10.1 สถานีและจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในคลองอุ้ะเกา

จากการสำรวจข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุ้ะเกา ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้รับการตรวจวัดจาก 2 หน่วยงานดังนี้

1. สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำในคลองอุ้ะเกาและคลองสาขาบริเวณต้นน้ำของคลองอุ้ะเกา 3-4 ครั้งต่อปี จำนวน 21 จุดตรวจวัดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553-2556 และ 14 จุดตรวจวัดในปี พ.ศ. 2557 และ 2558 ทั้งนี้สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำคลองสาขาของทะเลสาบสงขลาจำนวน 30 จุดตรวจวัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2558 โดยมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำบริเวณปลายคลองอุ้ะเกาจำนวน 3 สถานี ข้อมูลและจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุ้ะเกาแสดงดังตารางที่ 3.6 และภาพที่ 3.14

2. การประปาส่วนภูมิภาคหาดใหญ่มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำในคลองอุ้ะเกาจำนวน 4 จุดตรวจวัด (UT16 P2 P3 และ P4) และ จุดตรวจวัดโรงสูบน้ำแรงต่ำบริเวณการประปาส่วนภูมิภาคหาดใหญ่ (P5) ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (จุดตรวจวัดละ 146 ชุดข้อมูล) ข้อมูลและจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำแสดงในตารางที่ 3.7 และภาพที่ 3.14-ภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.14 จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตตะเกา
ที่มา : สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 และการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่



ภาพที่ 3.15 จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในคลองอยู่ตะเภาของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่
ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่และ Google map

3.1.10.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอยู่ตะเภา

ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอยู่ตะเภาและคลองสาขา UT01-UT21 จำนวน 406 ชุดข้อมูล และ UTC1- UTC3 จำนวน 129 ชุดข้อมูล ที่ตรวจวัดโดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.8 และตารางที่ 3.9 ตามลำดับ โดยข้อมูลคุณภาพน้ำที่จุดตรวจวัด UTC1- UTC3 จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และข้อมูลคุณภาพน้ำที่จุดตรวจวัด UT01-UT21 จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอยู่ตะเภา

ผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำในคลองอยู่ตะเภาและคลองสาขาบริเวณต้นน้ำ โดยทำการตรวจวัดทุกเดือนเป็นเวลา 7 เดือนตั้งแต่เดือนมกราคม - กรกฎาคม 2558 จำนวน 14 จุดตรวจวัด (UT01 UT02 UT04 UT05 UT07 UT08 UT09 UT12 UT15 UT16 UT18 UT19 UT20 และ UT21) โดยมีข้อมูลคุณภาพน้ำจำนวน 95 ชุดข้อมูล สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.10 และข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอยู่ตะเภาจำนวน 550 ชุดข้อมูล ที่ตรวจวัดโดยการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 จำนวน 4 จุดตรวจวัด (P1 P2 P3 และ P4) สามารถสรุปได้ตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลและจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16

ST	ชื่อสถานี	ชื่อคลอง	X_UTM	Y_UTM
UT01	สะพานหลังวัดห้วยคู (บ้านท่าคลอง)	คลองสะเดา	664730	729095
UT02	สำนักงานประปาสะเดา	คลองสะเดา	659083	733842
UT03	หลังชุมชนมิตรสัมพันธ์บริษัทสะเดา	คลองครอบ	655884	729678
UT04	สะพานข้างโรงเรียนเสนพงศ์	คลองครอบ	656722	733392
UT05	สะพานบ้านหน้าฮั่ว	คลองเล่	654394	733327
UT06	หลังบริษัทเซฟสกิน	คลองเล่	658130	736990
UT07	สะพานบ้านหัวถนน	คลองอุตะเถา	658774	737533
UT08	บ้านตะเคียนเกา	คลองอุตะเถา	658731	741088
UT09	สะพานบ้านท่าโพธิ์ออก	คลองอุตะเถา	659883	749279
UT10	สะพานวัดม่วงก้อง	คลองอุตะเถา	659264	754133
UT11	สะพานบ้านพะตง	คลองอุตะเถา	662071	757846
UT12	สะพานหลังบ.สยามไฟเบอร์บอร์ด	คลองอุตะเถา	661236	759087
UT13	สะพานบ้านคลองปอม	คลองอุตะเถา	661418	760892
UT14	สะพานโยธาธิการ.คลองพลา-โคกพยอม	คลองอุตะเถา	661033	762692
UT15	สะพานวัดบางศาลา	คลองอุตะเถา	659416	766076
UT16 (UTC3)	สะพานมหาวิทยาลัยหาดใหญ่	คลองอุตะเถา	661984	771489
UT17	ปตร.คลองอุตะเถา	คลองอุตะเถา	661851	772341
UT18	สะพานทางเข้าวัดท่าแซ	คลองอุตะเถา	660804	777315
UT19	วัดนารังนก	คลองอุตะเถา	662471	781796
UT20 (UTC1)	สะพานวัดคูเต่า	คลองอุตะเถา	662140	785665
UT21	สะพานสงขลาถูน่า	คลองอุตะเถา	661073	787729
UTC2	ทำนน้ำวัดหาดใหญ่ใน	คลองอุตะเถา	660768	774330

ที่มา : สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลและจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในคลองอุต๊ะเกาของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่

ST	ชื่อสถานี	ชื่อคลอง	X_UTM	Y_UTM
P1 (UT16)	สะพานวิทยาลัยเมืองหาดใหญ่	คลองอุต๊ะเกา	661984	771489
P2	จุดกึ่งกลางระหว่าง P1 และ P4	คลองอุต๊ะเกา	661435	772003
P3	ปลายน้ำคลองหะ	คลองอุต๊ะเกา	661526	772317
P4	จุดบรรจบระหว่างน้ำคลองหะกับ คลองอุต๊ะเกา	คลองอุต๊ะเกา	661403	772340
P5	โรงสูบน้ำแรงต่ำ 1 กปภ.สาขา หาดใหญ่ (พ.)	คลองอุต๊ะเกา	661647	772680

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาคหาดใหญ่

ตารางที่ 3.8 ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุต๊ะเกา UT01-UT21 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553-2558 ที่ตรวจวัดโดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 (406 ชุดข้อมูล)

พารามิเตอร์	Unit	Min	Max	Mean	SD
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	25.30	34.00	29.26	1.56
pH	-	5.20	9.80	7.23	0.67
ความขุ่น	NTU	3.00	357.00	57.30	55.46
EC	µs/cm	14.18	15,064.00	433.34	1,410.26
ความเค็ม	ppt	ND	20.00	0.25	1.37
DO	mg/L	0.10	8.60	4.48	1.41
BOD	mg/L	0.40	32.20	3.43	2.65
TCB	MPN/100ml	23.00	240,000.00	14,954.17	31,205.73
FCB	MPN/100ml	20.00	160,000.00	11,286.21	27,258.77
NH ₃ -N	mg/L	ND	2.46	0.22	0.34

ที่มา : สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 , SD= Standard Deviation

ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากมีค่าต่ำมาก

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถา UTC1- UTC3 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2558 ที่ตรวจวัดโดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 (129 ชุดข้อมูล)

พารามิเตอร์	Unit	Min	Max	Mean	SD
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	26.00	34.00	29.51	1.66
pH	-	2.90	8.85	6.93	0.89
ความเค็ม	ppt	ND	9.00	0.28	1.19
EC	mS/cm	ND	52,800.00	1,908.36	7,920.65
ความขุ่น	NTU	3.30	319.00	60.42	55.96
DO	mg/L	ND	10.80	3.46	1.41
BOD	mg/L	0.80	47.30	4.13	4.33
TCB	MPN/100ml	220.00	900,000.00	31,150.24	90,460.61
FCB	MPN/100ml	78.00	300,000.00	20,051.17	44,882.23
TS	mg/L	13.00	10,212.00	433.94	1,103.37
SS	mg/L	2.00	908.00	56.11	101.32
TDS	mg/L	5.00	9,294.00	368.67	1,026.62
TP	mg/L	0.01	13.13	0.59	1.62
NO ₂ ⁻ -N	mg/L	0.0001	5.22	0.64	1.02
NO ₃ ⁻ -N *	mg/L	0.01	4.98	0.99	1.06
NH ₃ -N	mg/L	ND	9.73	1.16	1.50

ที่มา : สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 , SD= Standard Deviation

ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากมีค่าต่ำมาก

* NO₃⁻-N วิเคราะห์ด้วยวิธี Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method

ตารางที่ 3.10 ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถา ที่ผู้วิจัยตรวจวัดตั้งแต่เดือนมกราคม – กรกฎาคม 2558 (95 ชุดข้อมูล)

พารามิเตอร์	หน่วย	Min	Max	Mean	SD
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	25.00	33.80	29.07	1.99
pH	-	5.80	9.80	7.11	0.70
DO	mg/L	1.90	13.70	5.19	1.98
BOD	mg/L	0.10	6.10	2.16	1.43
TDS	mg/L	24.10	2,360.00	172.80	343.41
ORP (mV)	mV	27.00	206.00	134.87	31.95
EC	µs/cm	36.30	3,541.00	297.86	529.45
ความเค็ม	ppt	ND	0.20	0.02	0.03
TKN *	mg/L	2.00	19.00	5.80	3.28
NH ₃ -N	mg/L	0.07	8.03	0.68	1.26
NO ₃ ⁻ -N **	mg/L	ND	12.30	2.55	1.90

* TKN วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl Method, SD= Standard Deviation

ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากมีค่าต่ำมาก

** NO₃⁻-N วิเคราะห์ด้วยวิธี Photometric Method

ตารางที่ 3.11 ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถา ที่ตรวจวัดโดยการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (550 ชุดข้อมูล)

พารามิเตอร์	Unit	Min	Max	Mean	SD
NO ₃ ⁻ -N *	mg/L	ND	14.90	2.41	2.34
pH	-	5.51	9.02	6.56	0.42
ความขุ่น	NTU	9.40	512.00	60.06	74.92
DO	mg/L	0.85	17.15	5.30	2.04
EC	µs/cm	42.50	389.00	177.84	69.75
NH ₃ -N	mg/L	ND	7.25	0.77	1.01

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาคหาดใหญ่, SD= Standard Deviation

ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากมีค่าต่ำมาก

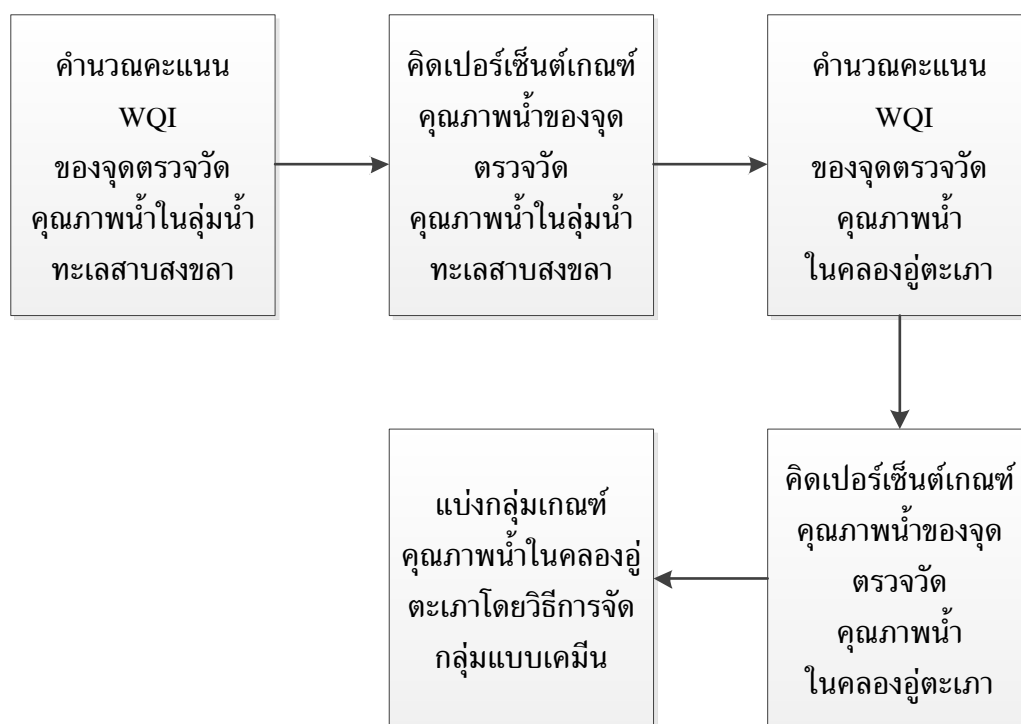
* NO₃⁻-N วิเคราะห์ด้วยวิธี Spectrophotometer (เครื่อง HACH รุ่น DR2800)

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การประเมินภาพรวมของคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถาโดยใช้วิธีการดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (General Water Quality Index, WQI) และการหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนกับค่าคุณภาพน้ำตัวอื่น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 การประเมินภาพรวมของคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถา

การประเมินภาพรวมของคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถาจะใช้วิธีการดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป และวิธีการจัดกลุ่มแบบเคมีน (K-Means, KM) โดยการประเมินภาพรวมของคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถาแสดงดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 ภาพรวมของการประเมินคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถา

3.2.1.1 ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป

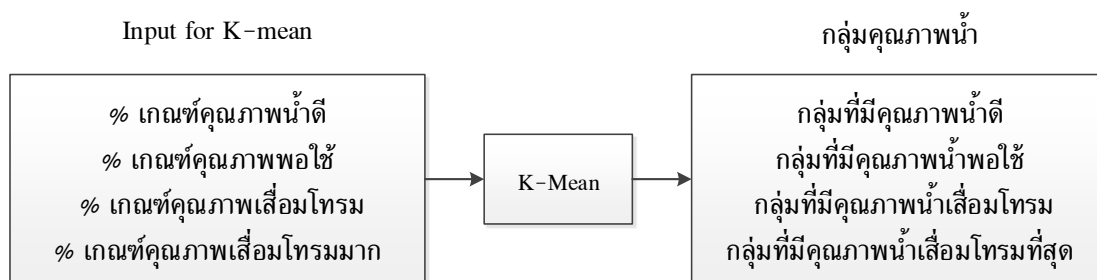
ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดินโดยทั่วไป โดยมีการคิดคะแนนจากค่าพารามิเตอร์ มีหน่วยเป็นคะแนน เริ่มจาก 0 ถึง 100 คะแนน ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปสามารถนำไปใช้ในการอธิบายภาพรวมของคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ รวมทั้งยังใช้เปรียบเทียบคุณภาพน้ำระหว่างแหล่งน้ำได้

ส่วนแหล่งน้ำจืด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ได้พัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพน้ำจากค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป ซึ่งเป็นการคำนวณค่าคะแนนรวมของคุณภาพน้ำ 5 พารามิเตอร์ คือ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria, TCB) แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria, FCB) และความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้สามารถใช้วิเคราะห์ร่วมกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินได้โดยมีวัตถุประสงค์เดียวกันกับดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป คือ ให้ผู้บริหารและประชาชนซึ่งไม่มีพื้นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้เข้าใจสภาพปัญหาคุณภาพน้ำที่เกิดขึ้นและง่ายต่อการมองภาพรวม โดยสมการที่ใช้คิดคะแนนด้วยวิธีดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของคุณภาพน้ำทั้ง 5 พารามิเตอร์ (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2555) แสดงดังตารางที่ 3.12 และเกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงคะแนน (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2555) แสดงดังตารางที่ 3.13

3.2.1.2 วิธีการจัดกลุ่มแบบเคมีน

วิธีการจัดกลุ่มแบบเคมีน เป็นเทคนิคการวิเคราะห์แบบกลุ่ม (Cluster Analysis) รูปแบบหนึ่งซึ่งเป็นวิธีการจัดกลุ่มอย่างง่ายโดยการไม่มีผู้สอน ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อจำแนกกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน (กาญจนา จริญศิริไพศาล, 2554; Li et al., 2016) ทั้งนี้วิธีการจัดกลุ่มแบบเคมีนได้ถูกนำไปใช้ในการจัดกลุ่มคุณภาพน้ำดื่มด้วยวิธีการดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปในประเทศปากีสถาน (Nazir et al., 2016)

ในการจัดกลุ่มเกณฑ์คุณภาพน้ำในคลองอุต๊ะเกาะจะแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ช่วงเวลา เนื่องจากข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองอุต๊ะเกาะมีจำนวนจุดตรวจวัดไม่เท่ากัน คือ ข้อมูลคุณภาพน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554-2556 มีจำนวนจุดตรวจวัด 21 จุดตรวจวัดและปี พ.ศ. 2557-2558 มีจำนวนจุดตรวจวัด 13 จุดตรวจวัด โดยมีข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการจัดกลุ่มคือข้อมูลเปอร์เซ็นต์ของเกณฑ์คุณภาพน้ำดี พอใช้ เสื่อมโทรมและเสื่อมโทรมมากที่คำนวณมาจากวิธีการดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป โดยผลการจัดกลุ่มด้วยวิธีการแบบเคมีนจะแบ่งกลุ่มจุดตรวจวัดออกเป็น 4 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมที่สุด กลุ่มที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม กลุ่มที่มีคุณภาพน้ำพอใช้และกลุ่มที่มีคุณภาพน้ำดีซึ่งแสดงดังภาพที่ 3.17 ทั้งนี้วิธีการจัดกลุ่มแบบเคมีนจะช่วยให้สามารถมองภาพรวมและแนวโน้มคุณภาพน้ำได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปเพียงอย่างเดียวจะสามารถประเมินคุณภาพน้ำได้ในช่วงเวลาที่มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ แต่เมื่อนำผลการประเมินด้วยวิธีการดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น พ.ศ. 2554-2556 มาจัดกลุ่มด้วยวิธีการแบบเคมีนจะทำให้ทราบว่าในช่วงเวลา พ.ศ. 2554-2556 มีคุณภาพน้ำโดยภาพรวมเป็นอย่างไรในแต่ละจุดตรวจวัด



ภาพที่ 3.17 การจัดกลุ่มเกณฑ์คุณภาพน้ำในคลองอุต๊ะเกาด้วยวิธีการแบบเคมีน

ตารางที่ 3.12 สมการการคิดคะแนน WQI เทียบกับค่าคุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	เงื่อนไข	สมการในการคิดคะแนน
DO	0.0– 4.0 mg/L	คะแนน = $15.25 \cdot (\text{DO}) + 0.1667$
	4.1 – 6.0 mg/L	คะแนน = $5 \cdot (\text{DO}) + 41$
	6.1 – 8.4 mg/L	คะแนน = $12.083 \cdot (\text{DO}) - 1.5$
	8.5 – 8.9 mg/L	คะแนน = $-78 \cdot (\text{DO}) + 755.2$
	9.0 – 11.2 mg/L	คะแนน = $-13.043 \cdot (\text{ค่า DO}) + 177.09$
	11.3 – (≥ 15.3) mg/L	คะแนน = $-7.561 \cdot (\text{ค่า DO}) + 115.68$
BOD	0.0 – 1.5 mg/L	คะแนน = $-19.333 \cdot (\text{BOD}) + 100$
	1.6 – 2.0 mg/L	คะแนน = $-20 \cdot (\text{BOD}) + 101$
	2.1 – 4.0 mg/L	คะแนน = $-15 \cdot (\text{BOD}) + 91$
	4.1 – (≥ 8.8) mg/L	คะแนน = $-6.4583 \cdot (\text{BOD}) + 56.833$
TCB (MPN/100ml)	0.0– 5,000	คะแนน = $-0.0058 \cdot (\text{TCB}) + 100$
	5,001 – 20,000	คะแนน = $-0.0007 \cdot (\text{TCB}) + 74.333$
	20,001 – 160,000	คะแนน = $-0.0002 \cdot (\text{TCB}) + 65.286$
	>160,000	คะแนน = $-8\text{E}-06 \cdot (\text{TCB}) + 32.292$
FCB (MPN/100ml)	0.0– 1,000	คะแนน = $-0.029 \cdot (\text{FCB}) + 100$
	1,001 – 4,000	คะแนน = $-0.0033 \cdot (\text{FCB}) + 74.333$
	4,001 – 90,000	คะแนน = $-0.0003 \cdot (\text{FCB}) + 62.395$
	>90,000	คะแนน = $-1\text{E}-05 \cdot (\text{FCB}) + 32.208$
NH ₃ -N (mg/l)	0.0– 0.22	คะแนน = $-131.82 \cdot (\text{NH}_3) + 100$
	0.23 – 0.50	คะแนน = $-35.714 \cdot (\text{NH}_3) + 78.857$
	0.51 – 1.83	คะแนน = $-22.556 \cdot (\text{NH}_3) + 72.278$
	>1.83	คะแนน = $-6.1024 \cdot (\text{NH}_3) + 42.167$

ที่มา : ส่วนแหล่งน้ำจัด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ

ตารางที่ 3.13 เกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงค่าคะแนน

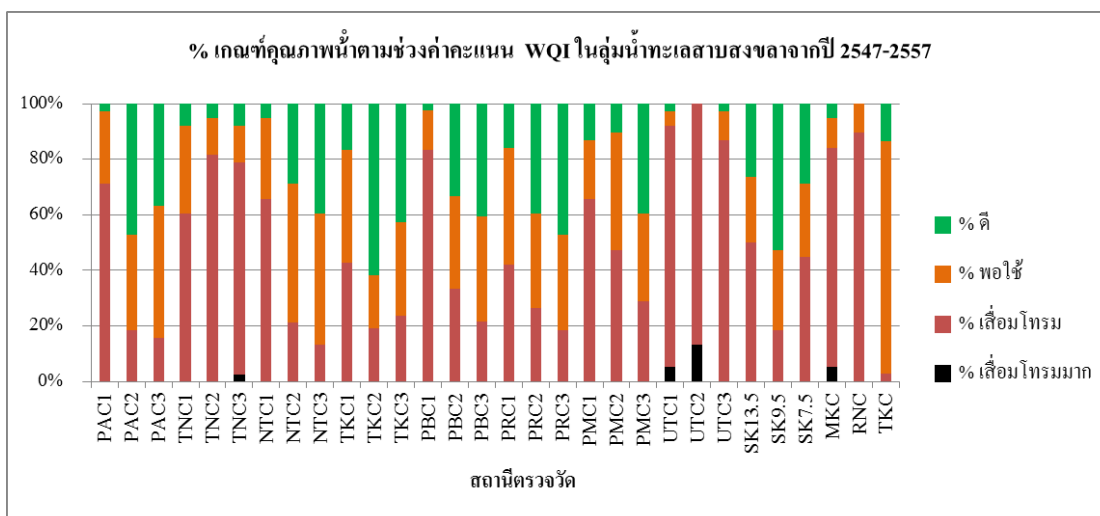
ช่วงคะแนน	เกณฑ์คุณภาพน้ำ
71-100	มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 (ดี)
61-70	มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 (พอใช้)
31-60	มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 (เสื่อมโทรม)
0-30	มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5 (เสื่อมโทรมมาก)

ที่มา :ส่วนแหล่งน้ำจืด สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ

คะแนนรวม= ค่าเฉลี่ยของคะแนนทั้ง 5 พารามิเตอร์-ค่าคะแนนพิเศษ

3.2.1.3 ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

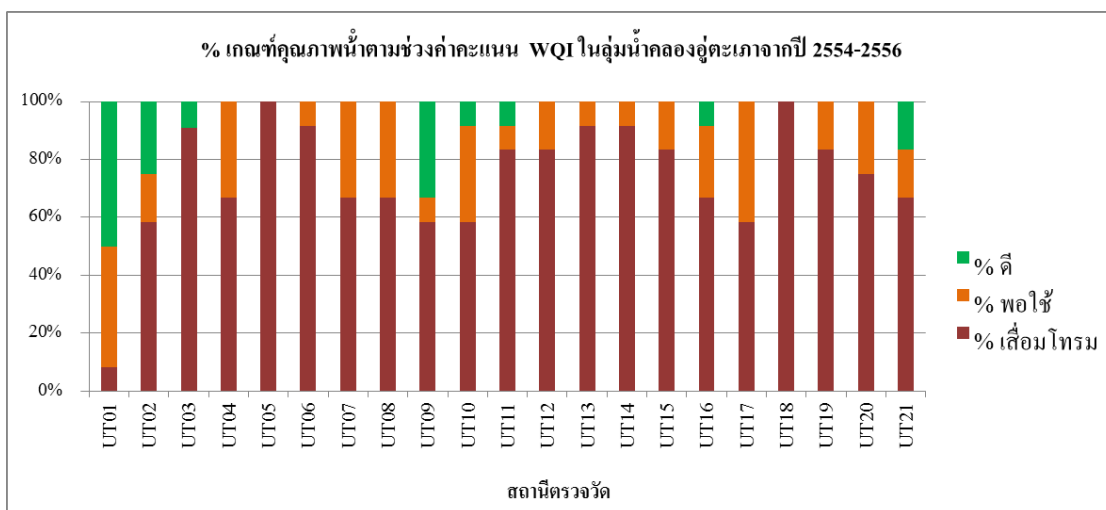
จากการคำนวณคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปจากค่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์มและความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2557 ของจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาซึ่งแสดงดังภาพที่ 3.1 พบว่า UTC2 คือจุดตรวจวัดที่มีเปอร์เซ็นต์คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมมากที่สุด โดยในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ยังมีจุดตรวจวัดที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมมากอีก 3 จุดตรวจวัด คือ TNC3 UTC1 และ MKC ในส่วนของพื้นที่ที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม คือ จุดตรวจวัด PAC1 TNC1 TNC2 NTC1 PBC1 PMC1 RNC และ UTC3 ทั้งนี้ UTC1 UTC2 และ UTC3 เป็นจุดตรวจวัดที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาทั้งหมด ดังนั้นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาคือพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำมากที่สุด โดยเปอร์เซ็นต์ของเกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาปี พ.ศ. 2547-2557 แสดงดังภาพที่ 3.18



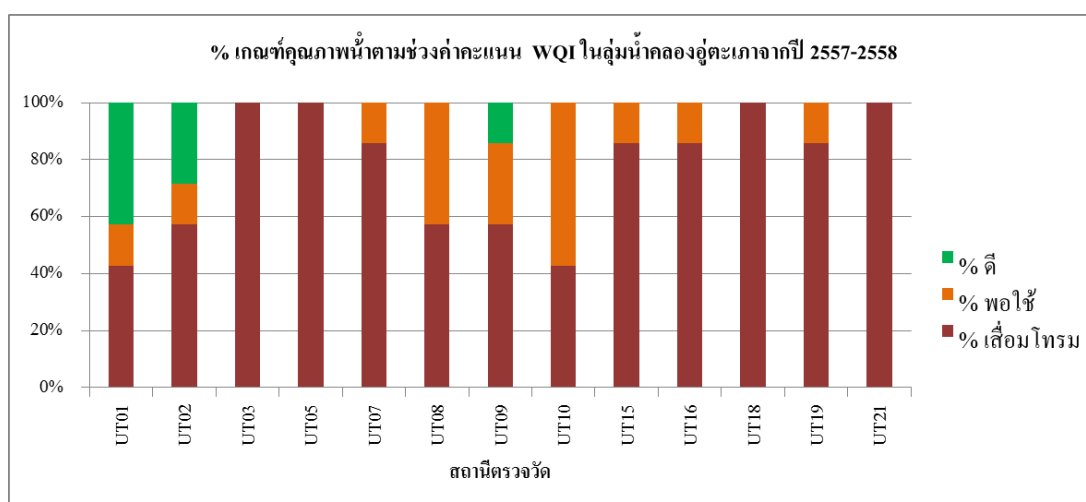
ภาพที่ 3.18 เปอร์เซนต์เกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาปี พ.ศ. 2547-2557

3.2.1.4 ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา

จากการคำนวณดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปในลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาและเปอร์เซ็นต์ของเกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปในปี พ.ศ. 2554-2556 และ 2557-2558 พบว่าคุณภาพน้ำมีเกณฑ์เสื่อมโทรมลงเนื่องจากเปอร์เซ็นต์ของเกณฑ์คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 73.71% เป็น 76.92 % ในขณะที่เกณฑ์คุณภาพน้ำดีมีค่าลดลงประมาณ 1 % จาก 7.57% ลดลงเป็น 6.59% และคุณภาพน้ำในเกณฑ์พอใช้มีค่าลดลงจาก 18.73% ลดลงเป็น 16.48% โดยเปอร์เซ็นต์ของเกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาปี พ.ศ. 2547-2557 และ 2557-2558 แสดงดังภาพที่ 3.19 และ ภาพที่ 3.20 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.19 เปอร์เซนต์เกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาปี พ.ศ. 2554-2556

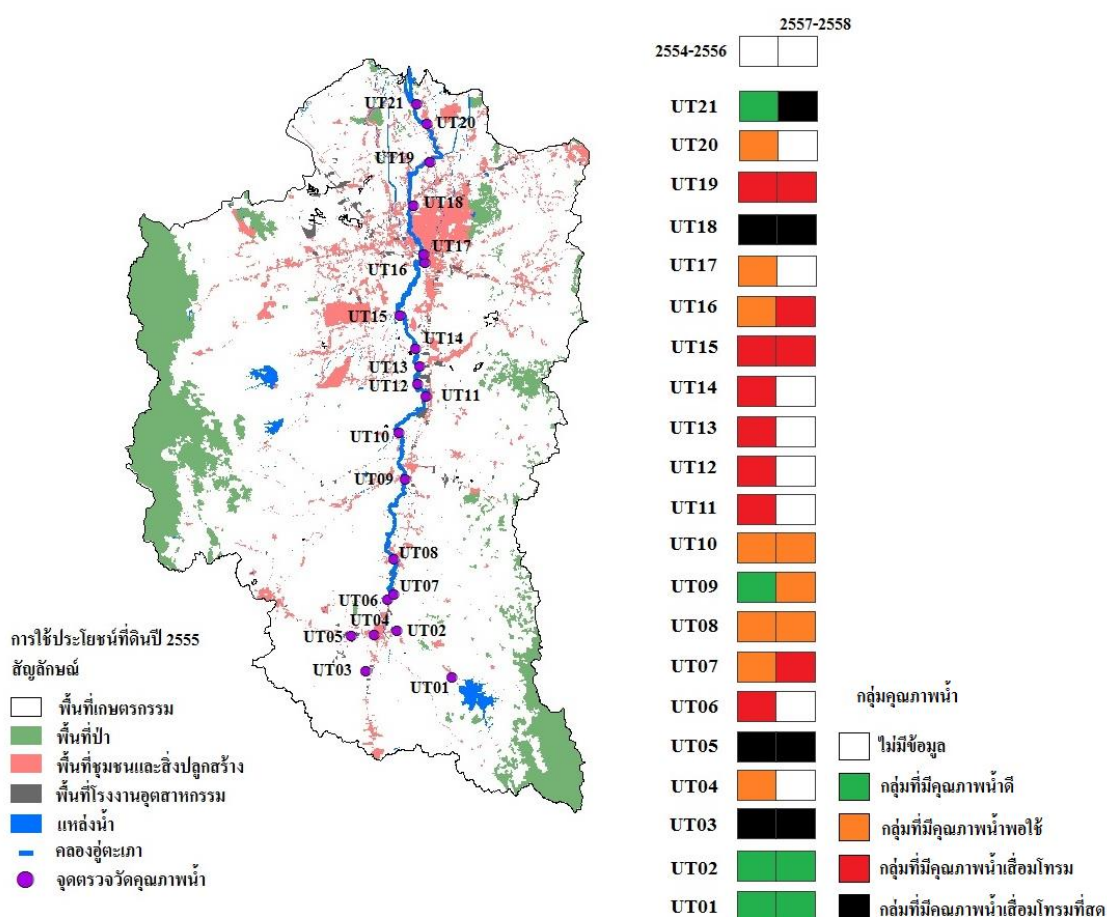


ภาพที่ 3.20 เปอร์เซนต์เกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาปี พ.ศ. 2557-2558

วิธีการจัดกลุ่มแบบเคมีนถูกนำมาจัดกลุ่มคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา โดยมีเปอร์เซนต์เกณฑ์คุณภาพน้ำตามช่วงคะแนนดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปเป็นข้อมูลนำเข้า ผลจากการการจัดกลุ่มแสดงดังภาพภาพที่ 3.21 จากการจัดกลุ่มข้อมูลในปี 2554-2556 มีจุดตรวจวัดที่อยู่ในกลุ่มที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมที่สุดในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถาคือ UT03 UT05 และ UT18 กลุ่มที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม คือ UT06 UT11 UT12 UT13 UT14 UT15 และ UT19 กลุ่มคุณภาพน้ำดี UT01 UT02 UT09 และ UT21 โดยจุดตรวจวัดที่เหลือจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีคุณภาพน้ำพอใช้ จากการพิจารณาภาพที่ 3.19 และภาพที่ 3.20 พบว่า

UT05 และ UT18 คือสองจุดตรวจวัดที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมที่สุดโดยมีเปอร์เซ็นต์คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม 100%

จากการจัดกลุ่มข้อมูลในปี พ.ศ. 2557-2558 จำนวน 13 จุดตรวจวัดพบว่า UT03 UT05 และ UT18 ยังคงเป็นกลุ่มที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมที่สุดในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา โดยจุดตรวจวัด UT21 ถูกจัดเข้ามาเพิ่มในกลุ่มที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมที่สุด กลุ่มที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม คือ UT07 UT15 UT16 และ UT19 ในขณะที่ UT01 และ UT02 ยังคงเป็นกลุ่มคุณภาพน้ำดี และ UT08 UT09 และ UT10 คือกลุ่มที่มีคุณภาพน้ำพอใช้ และเมื่อพิจารณาร่วมกับภาพที่ 3.20 พบว่า UT03 UT05 UT18 และ UT21 คือจุดตรวจวัดที่มีเปอร์เซ็นต์คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม 100% ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 3.21 ซึ่งแสดงผลการจัดกลุ่มคุณภาพน้ำในคลองอุตะเถาด้วยวิธีการแบบเคมีน จะพบว่าคุณภาพน้ำมีความเสื่อมโทรมมากขึ้นจากการเปลี่ยนกลุ่มคุณภาพน้ำในจุดตรวจวัด UT07 UT09 UT16 และ UT21



ภาพที่ 3.21 กลุ่มคุณภาพน้ำของสถานีวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเถา

ในส่วนของจุดตรวจวัด UT21 ที่มีการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มคุณภาพน้ำอย่างมาก จากกลุ่มที่มีคุณภาพน้ำดีไปเป็นกลุ่มที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมที่สุด จากการวิเคราะห์พบว่าในปี พ.ศ. 2557-2558 มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำจำนวน 6 ครั้ง ซึ่งเมื่อประเมินคุณภาพน้ำด้วยวิธีการดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปพบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมทั้ง 6 ครั้ง โดยค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์และแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์มเป็นพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญที่ทำให้การประเมินคุณภาพน้ำด้วยวิธีการดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปมีเกณฑ์คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม ในปี พ.ศ. 2554-2556 พบว่าคุณภาพน้ำจะอยู่ในเกณฑ์ดีและพอใช้ในเดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูแล้ง) แต่ในปี พ.ศ. 2557-2558 ของเดือนกุมภาพันธ์ค่า ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำ เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำฝนในช่วงปี พ.ศ. 2554-2558 พบว่าในปี พ.ศ. 2557 และ 2558 เป็นปีที่ไม่มีปริมาณน้ำฝนเลยในเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมกราคมมีปริมาณน้ำฝนน้อยมาก ในขณะที่ในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ของปี พ.ศ. 2554-2556 มีปริมาณน้ำฝนรวมตั้งแต่ 170-340 มม. ซึ่งเป็นการเจือจางปริมาณสารอินทรีย์ลงได้

เนื่องจากคลองอุต๊ะเกาคือแหล่งน้ำดิบที่สำคัญในการผลิตน้ำเพื่ออุปโภคบริโภค สำหรับประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ คุณภาพน้ำในคลองอุต๊ะเกาจึงมีความสำคัญมาก ทั้งนี้จุดตรวจวัด UT16 บริเวณสะพานมหาวิทยาลัยหาดใหญ่เป็นจุดตรวจวัดที่ใกล้กับสถานีสูบน้ำดิบจากคลองอุต๊ะเกาของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ซึ่งมีระยะห่างประมาณ 3.2 กิโลเมตร จึงเป็นจุดตรวจวัดที่มีความสำคัญเพื่อใช้พิจารณาคุณภาพน้ำก่อนสูบน้ำเพื่อนำไปผลิตน้ำประปาต่อไป โดยข้อมูลคุณภาพน้ำที่จุดตรวจวัด UT16 แสดงดังตารางที่ 3.14

จากการประเมินคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกาที่แสดงดังภาพที่ 3.21 พบว่าคุณภาพน้ำที่จุดตรวจวัด UT16 มีความเสื่อมโทรมมากขึ้นและข้อมูลจากการตรวจวัดโดยการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 พบว่าที่จุดตรวจวัด UT16 มีความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 13.8 mg/L ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้น้ำผิวดินควรมีความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนไม่เกิน 5 mg/L โดยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกาประกอบไปด้วยการใช้ประโยชน์ที่ดินที่หลากหลายรูปแบบ จากการแปลข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2555 ที่แสดงตารางที่ 3.3 มีพื้นที่เกษตรกรรมที่สูงถึง 74.14 % ทั้งนี้การเกษตรกรรมจะมีการใช้ปุ๋ยที่มีสารประกอบไนโตรเจนเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร และจากข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมประเภทที่ 3 ในปี 2552 ที่แสดงภาพที่ 3.12 มีโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับยางพาราประมาณ 70 โรงงาน ซึ่งบางโรงงานมีการเติมแอมโมเนียในน้ำยางสดเพื่อปรับสภาพน้ำยางสดให้เหมาะสม จาก 2 ประเด็นที่ได้กล่าวมาข้างต้น อาจเป็นแหล่งที่มาของภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกา ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจเลือกค่าภาระบรรทุกไนโตรเจนและความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนเป็นดัชนีหลักในการพัฒนาแบบจำลอง

ตารางที่ 3.14 ข้อมูลคุณภาพน้ำที่จุดตรวจวัด UT16 ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (146 ชุดข้อมูล)

พารามิเตอร์	หน่วย	Min	Max	Mean	SD
pH	-	5.51	7.20	6.51	0.26
ความขุ่น	NTU	10.60	512.00	67.91	83.97
DO	mg/l	0.85	9.00	4.65	1.19
EC	$\mu\text{s/cm}$	46.10	337.00	166.12	64.43
NH ₃ -N	mg/l	ND	3.30	0.53	0.46
NO ₃ ⁻ -N *	mg/l	ND	13.80	2.36	2.34

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่, SD= Standard Deviation

ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากมีค่าต่ำมาก

* NO₃⁻-N วิเคราะห์ด้วยวิธี Spectrophotometer (เครื่อง HACH รุ่น DR2800)

3.2.2 การหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนกับค่าคุณภาพน้ำค่าอื่น

ข้อมูลคุณภาพน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ที่มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำในคลองอุทะเอาจำนวน 4 จุดตรวจวัด คือ P1-P4 ถูกวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel correlation analysis เพื่อหาความสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพน้ำ 5 พารามิเตอร์กับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน โดยในการวิเคราะห์มีจำนวนข้อมูล จุดตรวจวัดละ 146 ชุดข้อมูลตั้งแต่ธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.15-ตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพน้ำกับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัด P1 (UT16) ตั้งแต่ธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (146 ชุดข้อมูล)

พารามิเตอร์	หน่วย	ฤดูฝนช่วงแรก	ฤดูฝนช่วงหลัง	ฤดูแล้ง
pH	-	0.077	-0.113	0.312
ความขุ่น	NTU	-0.435	-0.557	-0.390
DO	mg/L	0.118	-0.129	-0.003
NH ₃ -N	mg/L	0.014	0.247	-0.268
EC	$\mu\text{s/cm}$	0.504	0.731	0.154
อัตราการไหล	m ³ /s	-0.047	-0.638	-0.314

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่

ตารางที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพน้ำกับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัด P2 ตั้งแต่ธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (146 ชุดข้อมูล)

พารามิเตอร์	หน่วย	ฤดูฝนช่วงแรก	ฤดูฝนช่วงหลัง	ฤดูแล้ง
pH	-	0.047	-0.185	0.167
ความขุ่น	NTU	-0.456	-0.647	-0.376
DO	mg/L	0.147	-0.067	-0.063
NH ₃ -N	mg/L	0.024	0.006	-0.208
EC	µs/cm	0.544	0.738	0.094
อัตราการไหล	m ³ /s	-0.012	-0.611	-0.263

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่

ตารางที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพน้ำกับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัด P3 ตั้งแต่ธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (146 ชุดข้อมูล)

พารามิเตอร์	หน่วย	ฤดูฝนช่วงแรก	ฤดูฝนช่วงหลัง	ฤดูแล้ง
pH	-	-0.081	-0.413	0.151
ความขุ่น	NTU	-0.279	-0.561	-0.013
DO	mg/L	-0.029	-0.459	0.134
NH ₃ -N	mg/L	-0.154	0.505	-0.537
EC	µs/cm	0.077	0.634	-0.196
อัตราการไหล	m ³ /s	-0.024	-0.500	-0.394

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่

ตารางที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพน้ำกับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัด P4 ตั้งแต่ธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 (146 ชุดข้อมูล)

พารามิเตอร์	หน่วย	ฤดูฝนช่วงแรก	ฤดูฝนช่วงหลัง	ฤดูแล้ง
pH	-	-0.081	-0.413	0.151
ความขุ่น	NTU	-0.279	-0.561	-0.013
DO	mg/L	-0.029	-0.459	0.134
NH ₃ -N	mg/L	-0.154	0.505	-0.537
EC	µs/cm	0.077	0.634	-0.196
อัตราการไหล	m ³ /s	-0.024	-0.500	-0.394

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่

สำหรับการพิจารณาระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะสามารถบอกได้ด้วยค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Absolute Value of the Correlation Coefficient, r) ซึ่ง Evans (1996) ได้แนะนำไว้ดังตารางที่ 3.19 ทั้งนี้เครื่องหมายบวก (+) และลบ (-) หน้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยเครื่องหมายบวกจะแสดงความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกันของข้อมูลและเครื่องหมายลบจะแสดงความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้ามของข้อมูล

ตารางที่ 3.19 ระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่า r	ระดับของความสัมพันธ์
0.00-0.19	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก
0.20-0.39	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.40-0.59	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.60-0.79	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.80-1.0	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก

ที่มา : Evans (1996)

จากการวิเคราะห์พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) และความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์กันในช่วงฤดูฝนโดยเฉพาะฤดูฝนช่วงหลังจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุดในทุกจุดตรวจวัด ในส่วนของฤดูแล้งยังมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำระหว่างค่าการนำไฟฟ้าและความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน นอกจากค่าการนำไฟฟ้าที่พบว่ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนแล้วยังพบว่าความขุ่น (Turbidity) และอัตราการไหลยังมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในทิศทางตรงกันข้าม โดยในช่วงฤดูฝนช่วงหลังจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุดเช่นกัน ทั้งนี้ที่จุดตรวจวัด P1 (UT16) และ P2 เป็นจุดตรวจวัดที่พบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนและอัตราการไหลสูงกว่าจุด P3 และ P4 เนื่องจากเมื่อพิจารณาภาพที่ 3.15 พบว่าจุด P3 และ P4 มีอัตราการไหลจากคลองหะมาเกี่ยวข้องด้วยซึ่งทำให้การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนและอัตราการไหลในคลองอยู่ตะเภาเปลี่ยนไป ทั้งนี้จุดตรวจวัดที่ P1 และ P2 จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นจุดที่พิจารณาเมื่อมีการประมาณการความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนโดยใช้ความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ตัวอื่น

การวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอยู่ตะเภาที่นำเสนอมาข้างต้นเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงเวลา แต่แหล่งกำเนิดปริมาณไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอยู่ตะเภาที่มีผลกระทบกับคลองอยู่ตะเภา

หลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ โดยเฉพาะเมื่อจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ผู้วิจัยสนใจคือ จุดตรวจวัด UT16 ซึ่งเป็นจุดตรวจวัดที่ใกล้กับสถานีสูบน้ำดิบจากคลองอู่ตะเภาของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ ซึ่งบริเวณเหนือจุดตรวจวัด UT16 จะประกอบไปด้วยการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ก่อให้เกิดการระบายน้ำไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ เช่น พื้นที่ชุมชน พื้นที่เกษตรกรรม เป็นต้น ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงพื้นที่ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา จึงมีความสำคัญในการวิเคราะห์แหล่งที่มาของไนโตรเจนในคลองอู่ตะเภาและจะถูกกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 4

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนาย ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอู่ตะเภา

จากการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานและศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าการขาดข้อมูลพื้นฐานทางกายภาพหรือข้อมูลที่จำเป็นบางค่าหรือบางช่วงเวลา ทำให้การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) หรือแบบจำลองทางสถิติ (Statistical Model) ที่ใช้ในการทำนายคุณภาพน้ำในบางพื้นที่ประสบปัญหา (Wu *et al.*, 2000; Singh *et al.*, 2009) ทั้งนี้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานทางกายภาพของแหล่งน้ำมาใช้ในการทำนายหรือพยากรณ์คุณภาพน้ำ ในปัจจุบันจึงมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายหรือพยากรณ์คุณภาพน้ำอย่างแพร่หลายมากขึ้น (Maier *et al.*, 2010, Singh *et al.*, 2009) เช่น ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Sahoo *et al.*, 2006; Zou *et al.*, 2007), ค่าความเค็ม (Salinity) (Bowden *et al.*, 2005; Kingston *et al.*, 2005), ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll-a) (Lu *et al.*, 2016) เป็นต้น

ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 2 รูปแบบ คือ FFBP และ CFBP เพื่อทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอู่ตะเภาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นโดยเลือกใช้ค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการไหลเป็นข้อมูลนำเข้าในการพัฒนาแบบจำลอง

4.1 ข้อมูลนำเข้าในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา

การประสานส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่มีการตรวจวัดดัชนีคุณภาพน้ำแบบรายวันบริเวณสะพาน ปตท. ทางหลวง 43 ข้ามคลองอู่ตะเภาหรือบริเวณสะพานมหาวิทยาลัยหาดใหญ่ (UT16) ซึ่งอยู่ห่างจากสถานีสูบน้ำดิบจากคลองอู่ตะเภาประมาณ 3.2 กิโลเมตรแสดงดังภาพที่ 3.15 โดยดัชนีคุณภาพน้ำ 6 พารามิเตอร์ (ค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรดและด่าง ความขุ่น ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน) ถูกวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ร่วมกับค่าอัตราการไหลซึ่งได้รับข้อมูลจากสำนักชลประทานที่ 16 และศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้ในช่วงเดือนธันวาคม 2557 ถึง มีนาคม 2558 จำนวนข้อมูล 96 ชุดข้อมูล โดยข้อมูลพื้นฐานทางสถิติของค่าอัตราการไหลและดัชนีคุณภาพน้ำบริเวณสถานีตรวจวัด UT16 แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลอัตราการไหลและดัชนีคุณภาพน้ำที่สถานีตรวจวัด UT16 ในช่วงเดือนธันวาคม 2557-มีนาคม 2558 (96 ชุดข้อมูล)

พารามิเตอร์	หน่วย	Min	Max	Mean	SD
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	ND	6.60	2.36	1.46
pH	-	5.51	6.99	6.47	0.25
ความขุ่น	NTU	13.10	512.00	53.18	79.97
DO	mg/L	2.90	9.00	4.91	0.95
NH ₃ -N	mg/L	0.10	2.00	0.53	0.31
EC	µs/cm	49.90	337.00	172.05	72.05
อัตราการไหล	m ³ /s	3.62	725.60	82.71	173.80

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่, สำนักชลประทานที่ 16 และศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้, ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากมีค่าต่ำมาก, SD= Standard Deviation

* NO₃⁻-N วิเคราะห์ด้วยวิธี Spectrophotometer (เครื่อง HACH รุ่น DR2800)

ความสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพน้ำ 6 พารามิเตอร์และอัตราการไหลบริเวณจุดเก็บตัวอย่างสถานีตรวจวัด UT16 ถูกวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel Correlation Analysis เพื่อหาความสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพน้ำ 5 พารามิเตอร์และอัตราการไหลเทียบกับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2

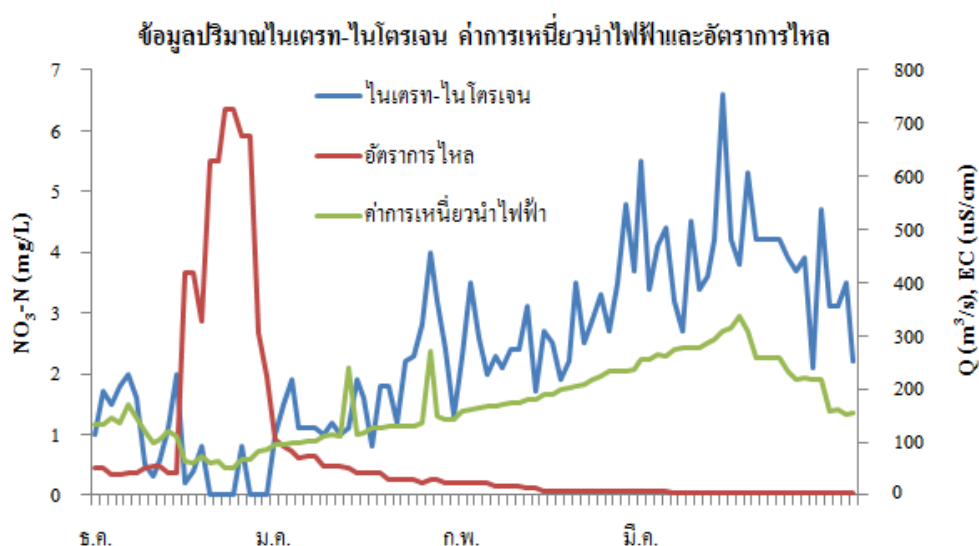
ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีคุณภาพน้ำ 6 พารามิเตอร์และอัตราการไหลที่สถานีตรวจวัด UT16 ในช่วงเดือนธันวาคม 2557-มีนาคม 2558 (96 ชุดข้อมูล)

พารามิเตอร์	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	DO (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	EC (µs/cm)	Q (m ³ /s)
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	1						
pH	0.19	1					
ความขุ่น (NTU)	-0.53	-0.05	1				
DO (mg/L)	0.18	0.16	-0.06	1			
NH ₃ -N (mg/L)	0.27	-0.09	-0.1	-0.13	1		
EC (µs/cm)	0.87	0.25	-0.55	0.16	0.37	1	
อัตราการไหล (m ³ /s)	-0.59	-0.12	0.74	-0.03	-0.24	-0.6	1

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่, สำนักชลประทานที่ 16 และศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้

จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีคุณภาพน้ำ 6 พารามิเตอร์และอัตราการไหลที่แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งพิจารณาระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามที่ไดกล่าวถึงในบทที่ 3 และตารางที่ 3.19 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าและความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันสูงสุด ($r=0.87$) เมื่อเทียบกับค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น โดยเมื่อค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูง ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนจะมีค่าสูงขึ้นด้วยและเมื่อค่าการนำไฟฟ้ามีค่าต่ำลง ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนจะมีค่าต่ำลงด้วยซึ่งแสดงดัง

ภาพที่ 4.1 ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กันสูงสุดในทิศทางตรงกันข้าม ($r=-0.59$) และมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางเมื่อพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งถ้าอัตราการไหลมีค่าสูงมาก ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนจะมีค่าต่ำมากแสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ข้อมูลความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน ค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการไหล

การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่องเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยสนับสนุนการบริหารจัดการเรื่องคุณภาพน้ำได้ ทั้งนี้การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำที่สนใจโดยการติดตั้งระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการจะใช้เวลาในการดำเนินการและมีค่าใช้จ่ายที่สูง การติดตามตรวจสอบดัชนีคุณภาพน้ำนิยมนิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการหรือติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของการบำรุงรักษาด้วย ดังนั้นการเลือกพารามิเตอร์คุณภาพน้ำบางค่าที่มีการตรวจวัดได้ง่ายกว่ามาเป็นพารามิเตอร์ตัวแทนหรือตัววัดทดแทน (Surrogate Parameter) จึงเป็นอีกทางเลือกที่สามารถลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการติดตามตรวจสอบดัชนีคุณภาพน้ำที่สนใจ

จากการสืบค้นวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีคุณภาพน้ำ ถูกนำมาใช้เพื่อเลือกตัววัดทดแทน โดยดัชนีคุณภาพน้ำที่มีการตรวจวัดง่ายกว่าจะถูกนำมาใช้เพื่อประเมินหรือทำนายค่าดัชนีคุณภาพน้ำที่สนใจ เช่น ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS) ถูกเลือกให้เป็นตัววัดทดแทนเพื่อประมาณค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP) (Miguntanna, 2009; Miguntanna *et al.*, 2010) และค่าความนำไฟฟ้าถูกเลือกให้เป็นตัววัดทดแทนเพื่อประมาณปริมาณคลอไรด์ chloride (Cl^-) (Welagedara *et al.*, 2014) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen, TN) (Yamazaki *et al.*, 2014) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ของการใช้ตัววัดทดแทนแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำคือการวัดความสามารถของสารละลายในการนำกระแสไฟฟ้าในน้ำ โดยประจุที่มีอยู่ในสารละลายจะช่วยให้สารละลายสามารถนำไฟฟ้าได้ (Talling, 2009) ในเตรทโอออนเป็นหนึ่งในโอออนองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในน้ำผิวดิน (Clarke, 1924; Nhandumbo *et al.*, 2016) ซึ่งมีผลกับค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ ดังนั้นจึงมีความสัมพันธ์กันระหว่างค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณไนโตรเจนในน้ำ โดยค่าการนำไฟฟ้าสามารถใช้ในการประมาณค่าปริมาณไนโตรเจนโดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Gali *et al.*, 2012; Joarder *et al.*, 2008) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการใช้ค่าการนำไฟฟ้าเป็นตัววัดทดแทนค่าไนโตรเจนแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการใช้ตัววัดทดแทน

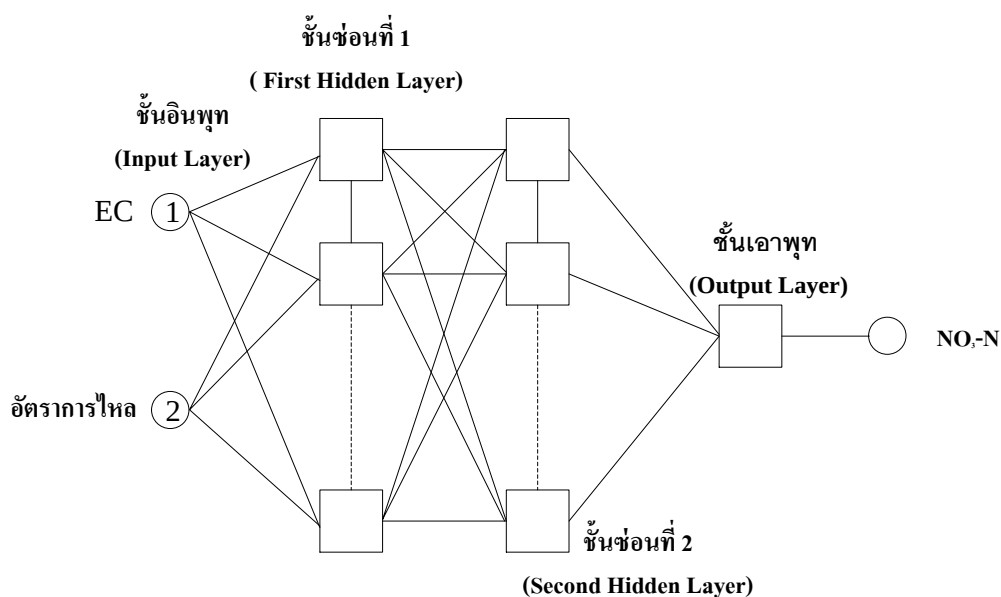
ตัววัดทดแทน	ดัชนีคุณภาพน้ำที่สนใจ	ค่าทางสถิติ	ที่มา
TS	TP	$r = 0.693$	Miguntanna <i>et al.</i> (2009)
TS	TP	$R^2 = 0.84$	Miguntanna <i>et al.</i> (2010)
EC	Cl^-	$R^2 = 0.509$	Welagedara <i>et al.</i> (2014)
EC	TN	$r = 0.79-0.92$	Yamazaki <i>et al.</i> (2014)
EC	Nitrate	$R^2 = 0.6041$	Gali <i>et al.</i> (2012)
EC	NO_3	$R^2 = 0.881$	Joarder <i>et al.</i> (2008)

Hanslk *et al.* (2016) Jarvie *et al.* (2003) Mosley (2015) และ van Vliet and Zwolsman (2008) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของปริมาณไนเตรทและอัตราการใช้ไนโตรเจน โดยปริมาณไนเตรทจะมีค่าต่ำในขณะที่ยอดการใช้ไนโตรเจนต่ำ แต่ในบางพื้นที่พบว่ามีปริมาณไนเตรทที่มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอัตราการใช้ไนโตรเจนซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอนของธาตุอาหาร เช่น แหล่งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น (Jarvie *et al.*, 2003; Mosley, 2015) และอัตราการใช้ของปริมาณธาตุอาหารมีค่าต่ำ (Hanslk *et al.*, 2016)

ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการไหลจึงถูกเลือกเป็นข้อมูลนำเข้าในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกาบริเวณสถานีตรวจวัด UT16

4.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกา

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 2 สถาปัตยกรรม คือ สถาปัตยกรรมแบบ FFBP (Goyal and Goyal, 2011; Svozil *et al.*, 1997) และ CFBP (Goyal and Goyal, 2011; Elbisy *et al.*, 2014) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน โดยทั้งสองสถาปัตยกรรมจะใช้การเรียนรู้แบบ Levenberg–Marquardt algorithm (LMA) โดยมีค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการไหลเป็นข้อมูลนำเข้าและความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนเป็นข้อมูลออก (Output Data) โดยโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกาแสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกา

ฟังก์ชันถ่ายโอนในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของชั้นข้อมูลออกและชั้นซ่อนจะถูกสร้างเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 ฟังก์ชัน tan-sigmoid จะถูกใช้ในข้อมูลออก ฟังก์ชัน log-sigmoid จะถูกใช้ในชั้นซ่อนที่ 1 และฟังก์ชัน purelin จะถูกใช้ในชั้นซ่อนที่ 2

รูปแบบที่ 2 ฟังก์ชัน log-sigmoid จะถูกใช้ในข้อมูลออก ฟังก์ชัน purelin จะถูกใช้ในชั้นซ่อนที่ 1 และฟังก์ชัน tan-sigmoid จะถูกใช้ในชั้นซ่อนที่ 2

ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า อัตราการไหลและความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน ในช่วงเดือนธันวาคม 2557 ถึงมีนาคม 2558 จะถูกแบ่งโดยวิธี Five-Fold Cross-Validation เป็น 5 ส่วนที่มีจำนวนข้อมูลเท่ากันเพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดย 4 ส่วน (233 ชุดข้อมูล) จะถูกใช้ในการเรียนรู้แบบจำลองและอีกหนึ่งส่วน (96 ชุดข้อมูล) จะถูกใช้ในการทดสอบแบบจำลอง ในส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองมีจำนวน 8 ชุดตัวอย่าง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ตรวจวัดในช่วงเดือนเมษายน 2558 ถึงมิถุนายน 2558 โดยแบบจำลองทั้งหมดจะประมวลผลบนโปรแกรม MATLAB (MathWorks, Inc., Natick, MA)

4.3 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมทุกโครงสร้างจะแสดงในตารางที่ 4.4 โครงสร้างของแบบจำลองที่แตกต่างกันจะถูกใช้ในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอู่ตะเภา โดยโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดจะถูกเลือกโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่มีค่าต่ำทั้งในกระบวนการเรียนรู้ (Training) และทดสอบ (Testing) ในงานวิจัยครั้งนี้พบว่าโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดคือแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ FFBBP ซึ่งประกอบด้วย 2 neurons ในชั้นข้อมูลนำเข้า 20 neurons ในชั้นซ่อนที่หนึ่ง 30 neurons ในชั้นซ่อนที่สอง (2-20-30-1) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.913 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.833 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.714 เมื่อพิจารณาในส่วนของการเรียนรู้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.937 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.878 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.514 และในส่วนของ การทดสอบความถูกต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.849 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.722 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.772 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของทุกแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้พัฒนาขึ้นจะแสดงในตารางที่ 4.4 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่มีการตรวจวัดและค่าที่ได้จากการทำนายโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม

FFBP ที่ดีที่สุดแสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถทำนายได้ดีเมื่อค่าความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าต่ำกว่า 3.0 mg/L

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายเมื่อมีการใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่แตกต่างกันในชั้นออกซึ่งแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าการใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน tan-sigmoid ในชั้นออกจะให้ค่าประสิทธิภาพในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่ดีกว่าการใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน log-sigmoid ในชั้นออก โดยตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่มีการตรวจวัดและค่าที่ได้จากการทำนายโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังภาพที่ 4.3-ภาพที่ 4.4 ในส่วนของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP และ CFBP เมื่อใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นแบบ tan-sigmoid ในชั้นออกพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP ให้ค่าประสิทธิภาพในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่ดีกว่าสถาปัตยกรรม CFBP ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.4 โดยค่าประสิทธิภาพในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 3 โครงสร้าง (2-20-20-1, 2-20-30-1, 2-25-30-1) ของสถาปัตยกรรม FFBP จะดีกว่าแบบ CFBP และมีเพียงโครงสร้างเดียวคือ โครงสร้างโหมดแบบ 2-30-30-1 สถาปัตยกรรม CFBP มีค่าประสิทธิภาพในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่ใกล้เคียงกัน

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นถูกพัฒนาขึ้นมา 2 รูปแบบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยรูปแบบแรกจะมีการเลือกใช้อัตราการเรียนรู้ในการวิเคราะห์ 2 ตัวแปรคือค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการไหล และรูปแบบที่สองจะมีการเลือกใช้อัตราการเรียนรู้ในการวิเคราะห์เพียงตัวแปรเดียวคือค่าการนำไฟฟ้า จากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.5 พบว่ารูปแบบที่สองที่มีการเลือกใช้อัตราการเรียนรู้เพียงตัวแปรเดียวจะให้ค่าประสิทธิภาพในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่ดีกว่า

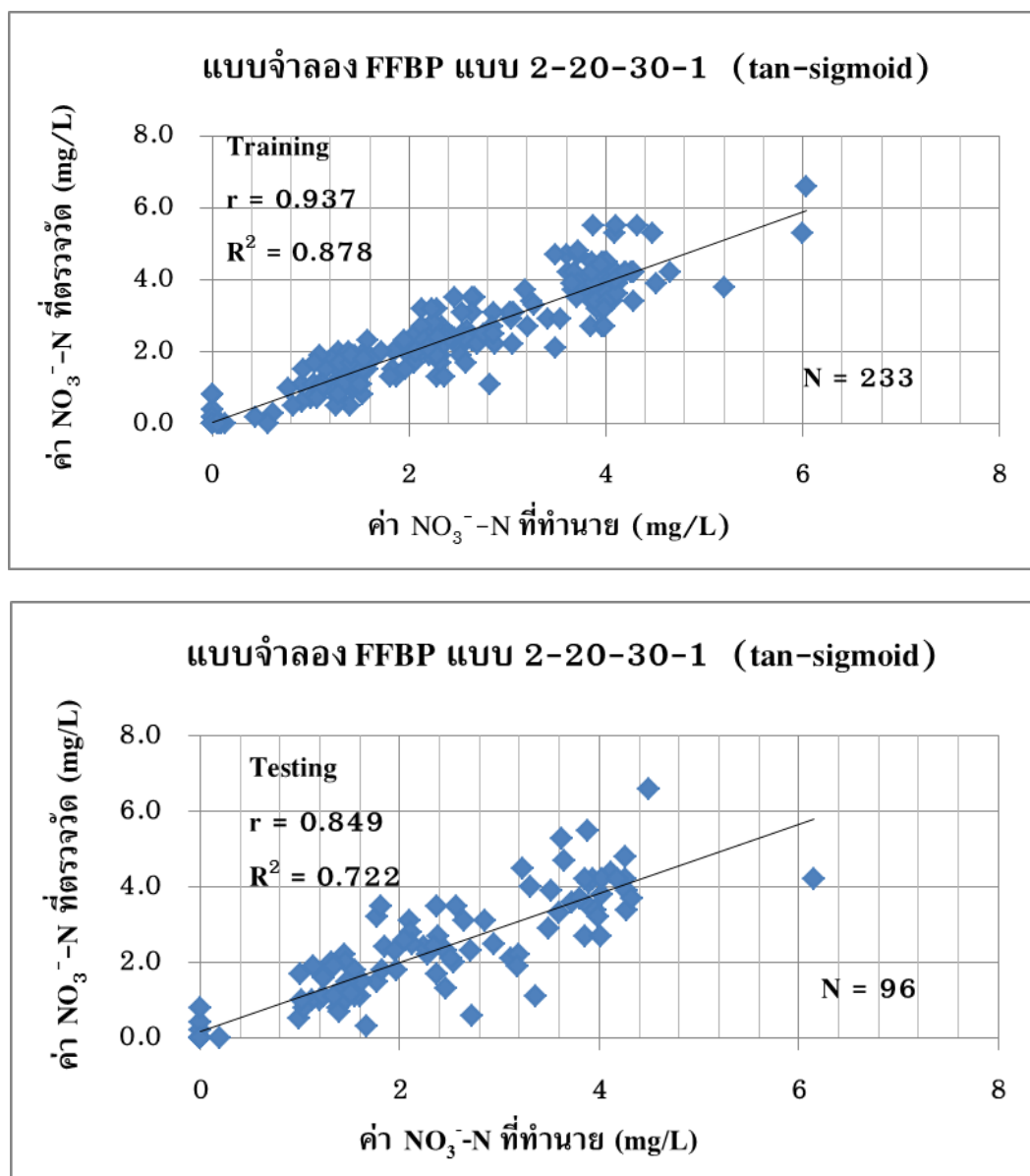
เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนระหว่างการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP ที่ดีที่สุดพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นประมาณ 10 % เพราะการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นจะให้ผลการทำนายที่ไม่ดีเมื่อความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าต่ำกว่า 1.5 mg/L แต่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP จะทำนายได้ดีเมื่อความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าต่ำกว่า 3.0 mg/L ดังนั้นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP สามารถเป็นเครื่องมือทางเลือกที่ใช้ในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกาได้

ในการวิจัยครั้งนี้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP ที่ดีที่สุด (2-20-30-1) ถูกพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองด้วยข้อมูล 8 ชุดข้อมูล ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพในกระบวนการพิสูจน์ความถูกต้องดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.930 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.864 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.495 โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่มีการตรวจวัดและค่าที่ได้จากการทำนายโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในกระบวนการพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 4.6

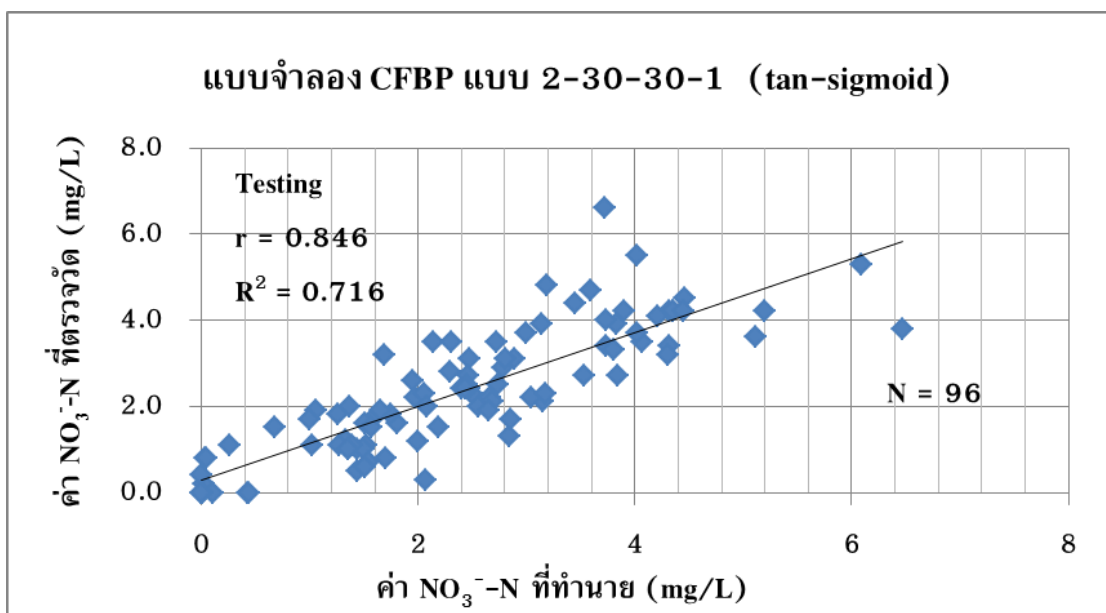
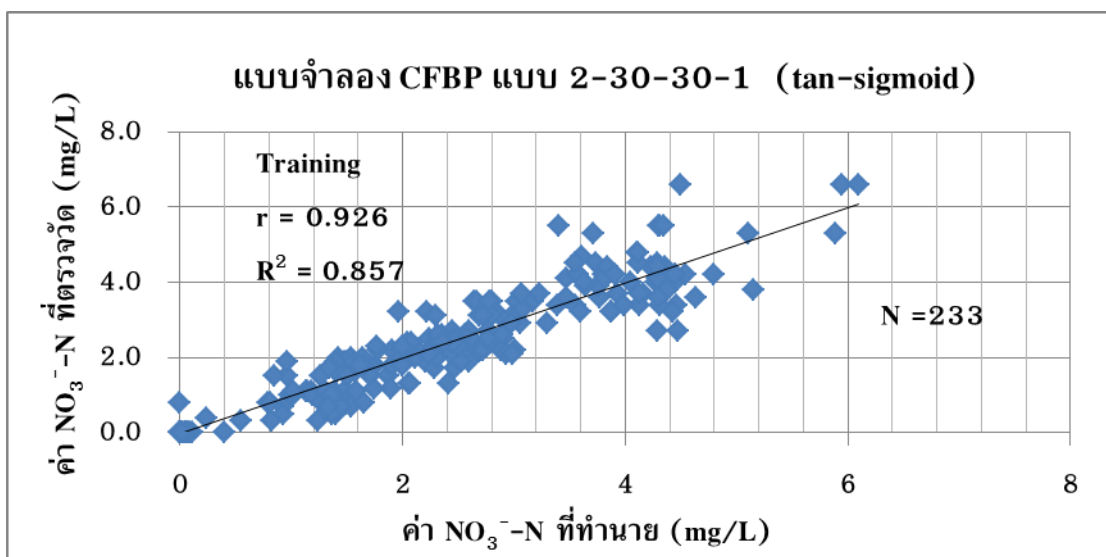
เมื่อพิจารณาข้อมูลที่วัดจริงและค่าที่ทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP ที่ดีที่สุดซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้ง (Dry Season) ซึ่งอยู่ในช่วงข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม 2558 อาจมีสาเหตุมาจากการมีปริมาณน้ำฝนน้อยซึ่งจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนพบว่าไม่มีปริมาณฝนในเดือนมีนาคม 2558 ทำให้การเจือจางสารละลายหรือธาตุอาหารมีค่าต่ำ และคลองอยู่ตะกอนล้อมรอบด้วยพื้นที่การเกษตร โรงงานอุตสาหกรรม ชุมชนและพื้นที่เมืองจึงได้รับปริมาณไนโตรเจนจากแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งแบบแหล่งกำเนิดแบบแน่นอนและไม่แน่นอน ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ทำให้อัตราการไหลมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน ในส่วนของฤดูฝน (Wet Season) ซึ่งอยู่ในช่วงข้อมูลเดือนธันวาคม 2557 และมกราคม 2558 พบว่าเมื่ออัตราการไหลมีค่าประมาณ 400-750 ลบ.ม./วิ. ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนจะมีค่าต่ำที่สุดโดยมีค่าเป็น 0 หรือใกล้เคียง 0 ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากปริมาณธาตุอาหารถูกพัดพาไปอย่างรวดเร็วและไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP CFBP และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกาที่สถานีตรวจวัด UT16 (96 ชุดข้อมูล)

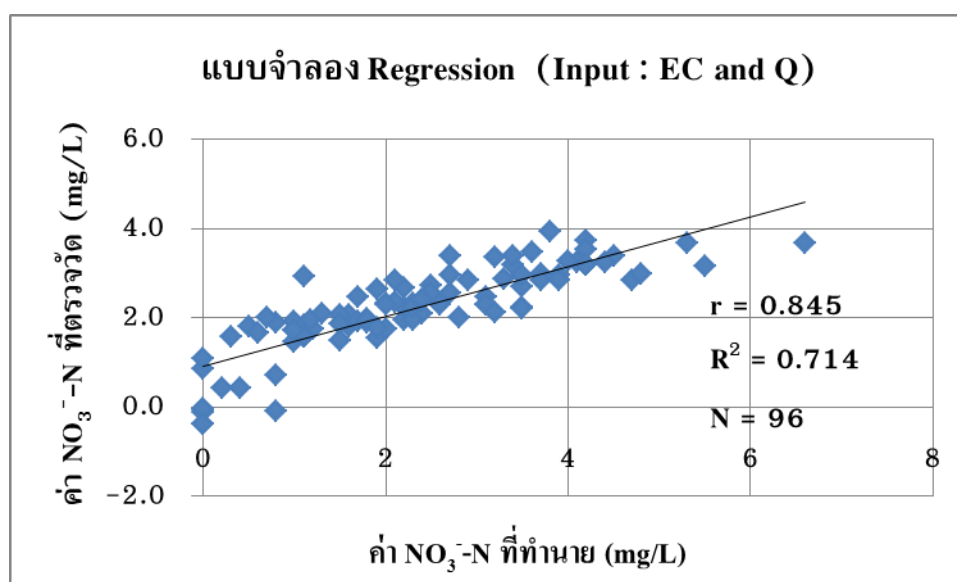
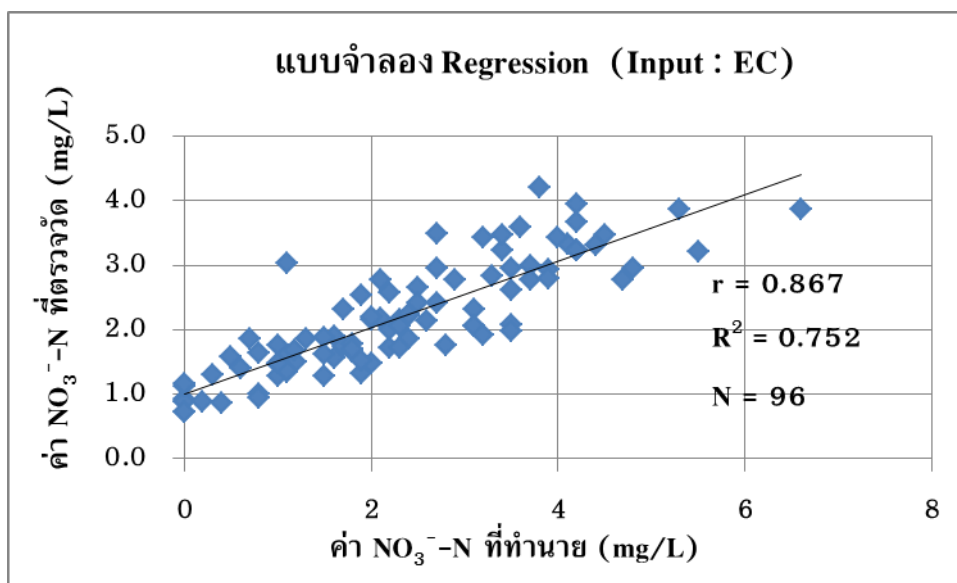
แบบจำลอง	โครงสร้าง		ฟังก์ชันถ่ายโอน tan-sigmoid ในชั้นเอาต์พุต			ฟังก์ชันถ่ายโอน log-sigmoid ในชั้นเอาต์พุต		
			r	R ²	RMSE	r	R ²	RMSE
FFBP	2-30-30-1	Total	0.900	0.810	0.729	0.507	0.257	2.026
		Training	0.924	0.855	0.527	0.508	0.258	1.697
		Test	0.843	0.710	0.787	0.511	0.261	1.728
	2-25-30-1	Total	0.865	0.749	0.928	0.512	0.262	1.974
		Training	0.900	0.810	0.679	0.532	0.284	1.671
		Test	0.780	0.609	0.987	0.512	0.262	1.641
	2-20-30-1	Total	0.913	0.833	0.714	0.626	0.392	1.917
		Training	0.937	0.878	0.514	0.646	0.418	1.604
		Test	0.849	0.722	0.772	0.574	0.330	1.637
	2-20-20-1	Total	0.902	0.814	0.748	0.439	0.192	1.967
		Training	0.920	0.846	0.575	0.480	0.231	1.646
		Test	0.86	0.74	0.746	0.353	0.125	1.683
	2-20-10-1	Total	0.888	0.789	0.792	0.554	0.307	1.946
		Training	0.912	0.833	0.597	0.568	0.322	1.631
		Test	0.830	0.689	0.821	0.520	0.270	1.657
CFBP	2-30-30-1	Total	0.901	0.812	0.754	0.549	0.302	1.950
		Training	0.926	0.857	0.552	0.586	0.344	1.625
		Test	0.846	0.716	0.801	0.458	0.209	1.682
	2-25-30-1	Total	0.760	0.578	1.567	0.479	0.230	1.825
		Training	0.794	0.630	1.220	0.492	0.242	1.534
		Test	0.689	0.474	1.536	0.446	0.198	1.544
	2-20-30-1	Total	0.768	0.590	1.197	0.429	0.184	2.003
		Training	0.790	0.624	0.954	0.442	0.195	1.696
		Test	0.718	0.515	1.129	0.410	0.168	1.662
	2-20-20-1	Total	0.899	0.809	0.807	0.603	0.364	1.739
		Training	0.912	0.831	0.648	0.622	0.387	1.448
		Test	0.86	0.75	0.752	0.556	0.309	1.496
	2-20-10-1	Total	0.906	0.820	0.758	0.608	0.369	1.519
		Training	0.926	0.858	0.577	0.616	0.379	1.263
		Test	0.855	0.731	0.768	0.588	0.346	1.316
Linear Regression	$\text{NO}_3\text{-N} = (0.00938 \cdot \text{EC}) - (0.00227 \cdot \text{Q}) + 0.79153$					0.845	0.714	0.829
	$\text{NO}_3\text{-N} = (0.01212 \cdot \text{EC}) + 0.12403$					0.867	0.752	0.831



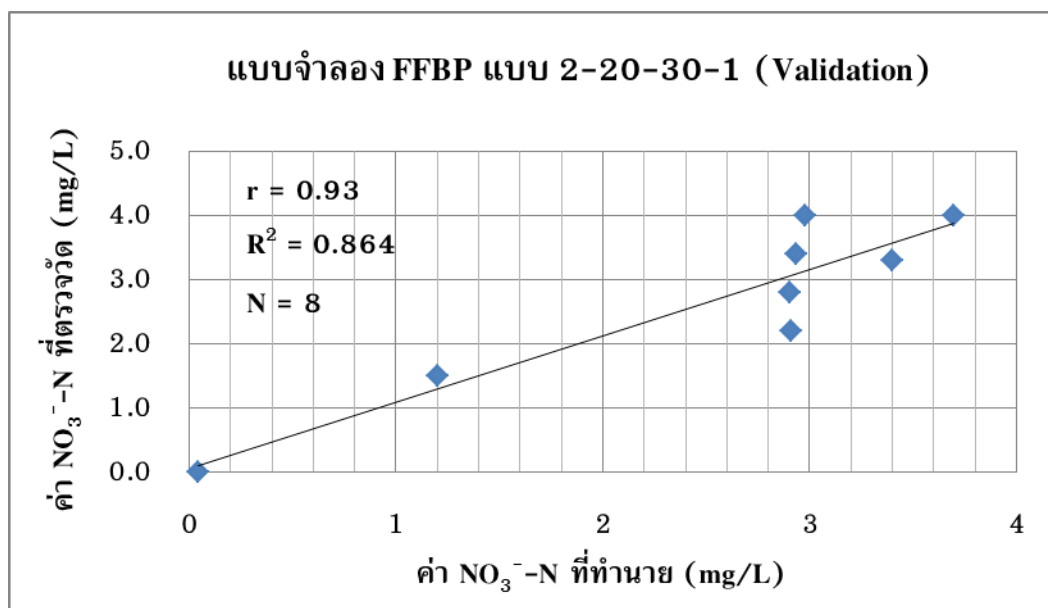
ภาพที่ 4.3 ค่า NO_3^- -N ที่ทำนายด้วยแบบจำลอง FFBP (ฟังก์ชันถ่ายโอน tan-sigmoid ในชั้นออก) และค่า NO_3^- -N ที่ตรวจวัดจริงในคลองอุตะเกา



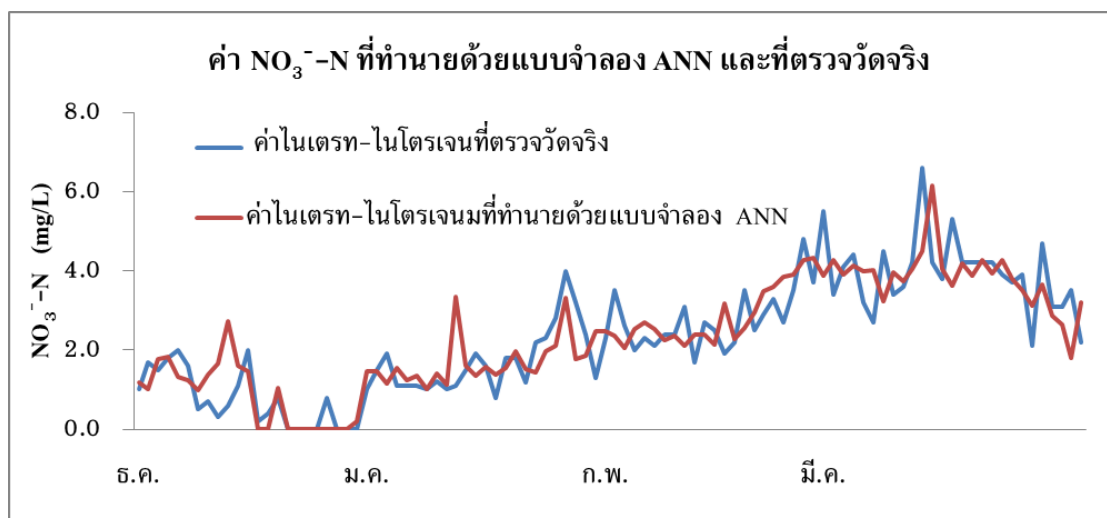
ภาพที่ 4.4 ค่า NO_3^- -N ที่ทำนายด้วยแบบจำลอง CFBP (ฟังก์ชันถ่ายโอน tan-sigmoid ในชั้นออก) และค่า NO_3^- -N ที่ตรวจวัดจริงในคลองอุตะเกา



ภาพที่ 4.5 ค่า NO_3^- -N ที่ทำนายด้วยสมการ Regression และค่า NO_3^- -N ที่ตรวจวัดจริงในคลองอุตะเกา



ภาพที่ 4.6 ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่มีการตรวจวัดและค่าที่ได้จากการทำนายโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง



ภาพที่ 4.7 ข้อมูลที่วัดจริงและค่าที่ทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในคลองอู่ตะเภา ที่สถานีตรวจวัด UT16

บทที่ 5

แบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจนสำหรับ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา

การพัฒนาแบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจนสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือแบบจำลอง GWLF แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองการเรียนรู้การพยากรณ์ของฟิซซีลอจิกแบบแบบจำลองอ้างอิง โดยในบทที่ 4 ได้กล่าวถึงการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในบทนี้จะกล่าวถึงการเลือกใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาซึ่งมีความสำคัญมาก การประเมินภาระบรรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาด้วยแบบจำลอง GWLF การรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูล รวมถึงการเปรียบเทียบแบบจำลองซึ่งสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 5.1 สุดท้ายเป็นการเสนอรูปแบบการจำลองที่สามารถปรับคุณสมบัติของแบบจำลองด้วยตัวเองโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์เพื่อประมาณการความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนทั้งหมดแบบรายเดือนหรือแบบจำลองการเรียนรู้การพยากรณ์ของฟิซซีลอจิกแบบแบบจำลองอ้างอิง

5.1 การคัดเลือกแบบจำลอง

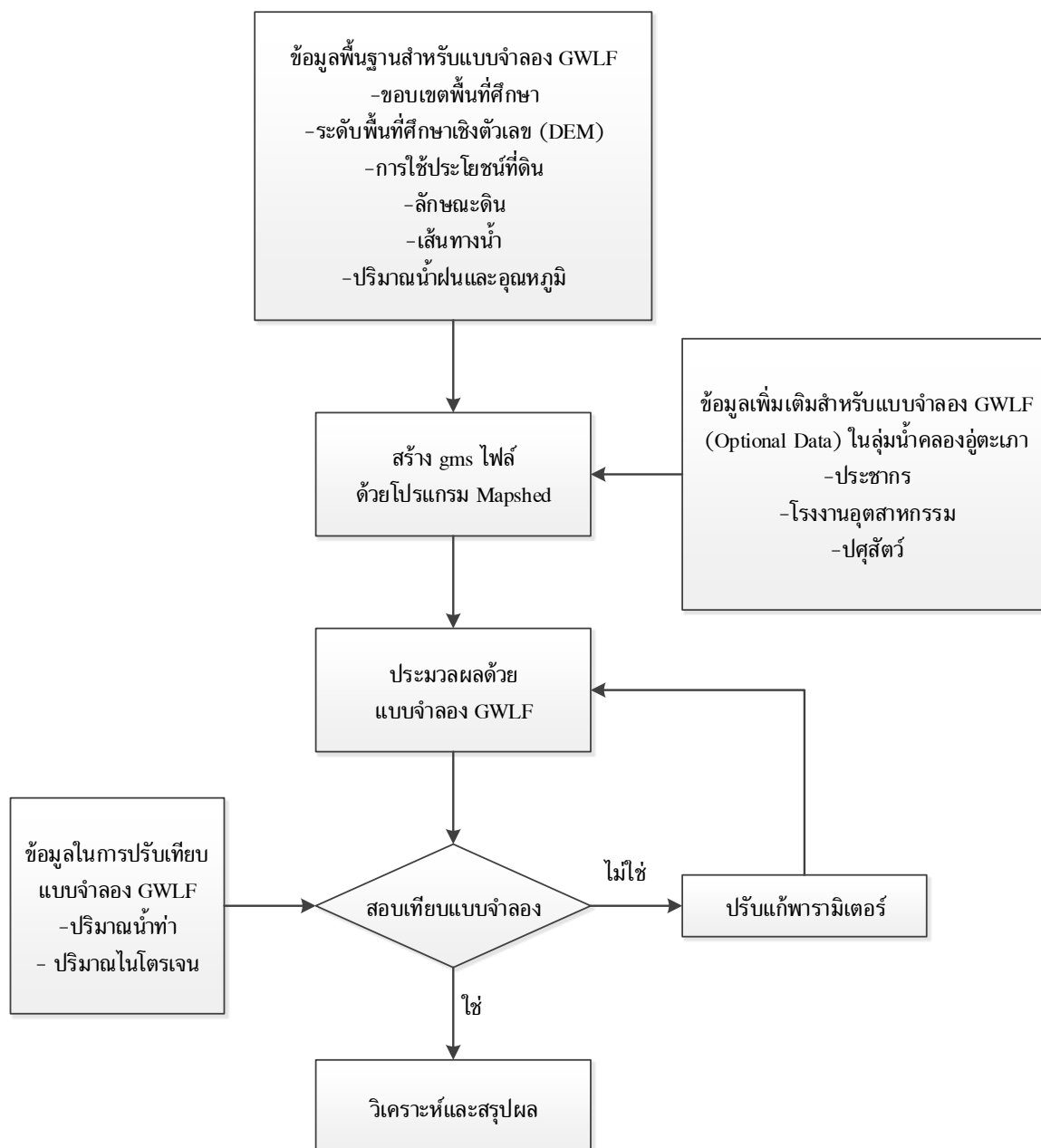
แบบจำลองคณิตศาสตร์เป็นแบบจำลองอีกรูปแบบหนึ่งที่นิยมใช้ในการประมาณการหรือทำนายค่าพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำ โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการทำนายคุณภาพน้ำ เป็นการใช้สมการต่างๆ มาอธิบายถึงลักษณะของแหล่งน้ำ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ สภาพการไหลของน้ำ การแพร่กระจายของอนุภาคหรือสารและคุณภาพน้ำ โดยอาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์และสมการที่ประกอบด้วยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เพื่อให้สามารถจำลองถึงสภาพต่างๆ ของระบบที่ศึกษาให้มีความถูกต้องหรือใกล้เคียงที่สุด (พิสิฐ ศรีวรานันท์, 2534)

เกณฑ์ในการเลือกแบบจำลองขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง มีนักวิจัยหลายท่านได้เสนอแนวทางในการเลือกแบบจำลอง เช่น Tuo *et al.* (2015) และ U.S. EPA (2008) สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้แนวทางใน Tuo *et al.* (2015) เนื่องจากมีลักษณะการใช้งานและเป้าหมายคล้ายกันโดยหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกแบบจำลองมีดังนี้

5.1.1 วัตถุประสงค์ของการจำลอง

วัตถุประสงค์ของการจำลองที่ต่างกันจะเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองที่แตกต่างกันออกไป เช่น ถ้าต้องการเห็นการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั้งในเชิงเวลาและพื้นที่ สามารถเลือกใช้ Physical-Based Model ได้ซึ่งเป็นตัวเลือกที่ดี แต่ถ้าต้องการรู้ปริมาณของคุณภาพน้ำโดยไม่สนใจการเปลี่ยนทั้งเชิงเวลาและสถานที่ สามารถเลือกใช้ Empirical-Based

Model ได้และเป็นทางเลือกที่ดี สำหรับวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาแบบจำลองนี้จะเน้นเรื่อง
การบรรเทาไนโตรเจนที่อาจเกิดขึ้นในภาพกว้างและในช่วงเวลาที่ค่อนข้างยาวเป็นหลัก



ภาพที่ 5.1 การประมาณการการบรรเทาไนโตรเจนด้วยแบบจำลอง GWLF

5.1.2 ความพร้อมของข้อมูล

ปัญหาการถึงพร้อมของข้อมูลในการทำแบบจำลองเป็นปัญหาเกือบทั่วโลกยกเว้นประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งข้อมูลสำหรับการทำแบบจำลองมีให้ดาวน์โหลดได้มากมายและความน่าเชื่อถือของข้อมูลจะสูงมาก เนื่องจากการเปิดให้ผู้ใช้งานนำข้อมูลไปใช้งานได้ซึ่งจะได้ประโยชน์ทางอ้อมคือผู้ใช้งานจะเป็นผู้ทวนสอบข้อมูลไปด้วย สำหรับข้อมูลของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกานันแม้จะมีหลาย ๆ หน่วยงานติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดและเปิดให้ผู้ใช้งานเข้าถึงข้อมูลได้ก็ตาม ก็ยังปรากฏปัญหาในทางปฏิบัติดังนี้

5.1.2.1 ปัญหาความไม่ครบถ้วนของข้อมูล โดยข้อมูลบางช่วงจะหายไป ทำให้ผู้วิจัยต้องหาข้อมูลจากแหล่งอื่นมาห่อรวมหรือใช้วิธีการประมาณการในส่วนที่ขาดหายไป

5.1.2.2 ปัญหาความไม่ถูกต้องของข้อมูล สาเหตุหลักมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าวัดได้ผิดพลาด แต่เนื่องจากผู้ใช้งานข้อมูลมีน้อยทำให้เกิดการสะท้อนปัญหากลับไปยังผู้ดูแลข้อมูลมีน้อยหรือไม่ครอบคลุม

5.1.2.3 ปัญหาข้อมูลย้อนหลัง เนื่องจากการทำแบบจำลองจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลย้อนหลังไปหลายปีและบางหน่วยงานก็ไม่อนุญาตให้เข้าถึงข้อมูล หรือแม้จะอนุญาตก็ต้องมีค่าใช้จ่ายหรือต้องทำหนังสือขออนุญาต บางหน่วยงานที่อนุญาตให้เข้าถึงแต่ไม่อนุญาตให้ดาวน์โหลดข้อมูล ทำให้ต้นทุนในการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการทำวิจัยสูงขึ้นโดยไม่จำเป็น

5.1.2.4 ปัญหารูปแบบของข้อมูลที่ไม่พร้อมใช้ บางหน่วยงานยังให้ข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบเอกสาร หรือให้ข้อมูลในรูปแบบของกราฟ เป็นต้น ในขณะที่เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตก้าวหน้าไปถึงอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing, IoT) และเทคโนโลยีเว็บเซิร์ฟเวอร์ซึ่งอนุญาตให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถรับส่งข้อมูลกันได้โดยตรงและถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่เทคโนโลยีดังกล่าวก็ยังไม่ถูกนำมาใช้งานสำหรับการให้บริการข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา

5.1.3 ความคุ้มค่า

ต้นทุนสำหรับการทำแบบจำลองครอบคลุมทั้งในส่วนของอุปกรณ์ (Hardware) ชุดคำสั่งหรือโปรแกรมที่ใช้งาน (Software) การเก็บรวบรวมข้อมูล และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ การเลือกรูปแบบการจำลองที่มีต้นทุนรวมสูงอาจจะกระทบถึงความยั่งยืนของโครงการหรืองานวิจัย ดังเช่นที่หลายโครงการต้องหยุดให้บริการหรือให้บริการได้เพียงบางส่วนเนื่องจากขาดงบประมาณสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง ผลที่ได้จากการจำลองอาจจะไม่มีผลกระทบโดยตรงกับประชาชนทั่วไปทราบใดที่ความเดือดร้อนยังไม่ได้เกิดขึ้น การใช้ผลการจำลองสำหรับการศึกษาผลกระทบยังถูกจำกัดอยู่เฉพาะกลุ่มนักวิจัย การประเมินความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์จึงทำได้ค่อนข้างยาก โดยทั่วไปในสถานะที่มีงบประมาณจำกัด การจัดสรรงบประมาณสำหรับการบำรุงรักษาเชิงป้องกันจะได้รับการจัดลำดับความสำคัญน้อยกว่างบประมาณสำหรับการแก้ปัญหา

จากข้อเท็จจริงดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลองลักษณะ Process-Based Model และเลือกใช้แบบจำลอง GWLF ซึ่งมีคุณสมบัติหลักตรงกับความต้องการของงานวิจัยดังนี้

1. เป็นโปรแกรมที่ไม่มีค่าใช้จ่ายความสลับซับซ้อนอยู่ในระดับปานกลาง
2. ต้องการทรัพยากรในการทำงานไม่สูง
3. รองรับการใช้งานร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ทำให้การปรับเปลี่ยนข้อมูลทำได้โดยง่าย
4. มีพัฒนาการมาอย่างยาวนานและมีการประยุกต์ใช้หลากหลาย
5. มีเอกสารประกอบการใช้งานและวิดีโอสอนการใช้งานโดยไม่มีค่าใช้จ่าย
6. มีโปรแกรมต้นฉบับในศึกษาจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

5.2 การรวบรวมและการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง GWLF

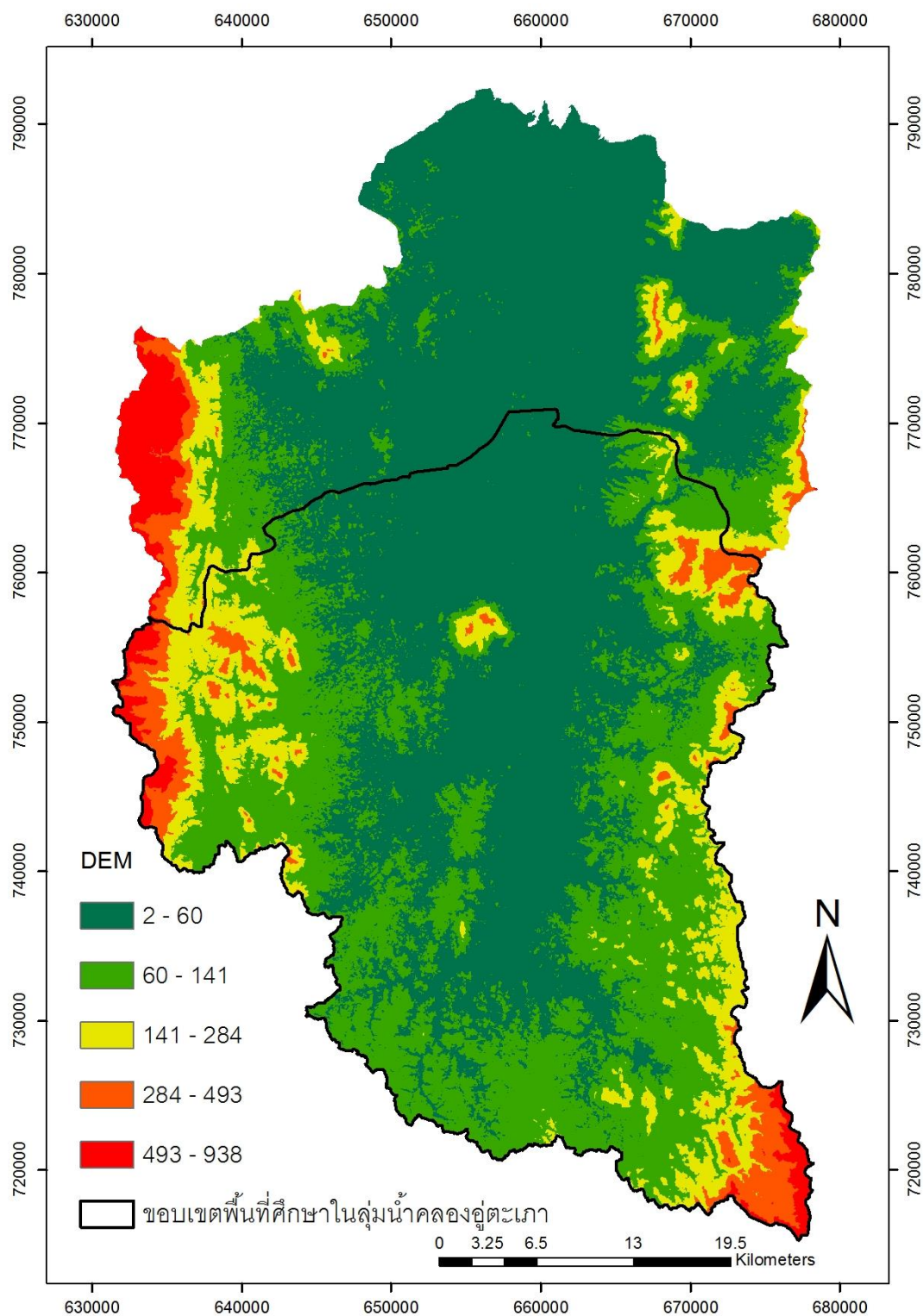
5.2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยแบบจำลอง GWLF เพื่อใช้ในการประเมินภาระบรรทุกไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกาที่บริเวณจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ UT16 เป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกาซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 4 อำเภอคือ นาม่อม คลองหอยโข่ง หาดใหญ่และสะเดา มีขนาดพื้นที่ประมาณ 1,550 ตารางกิโลเมตร ซึ่งแบ่งตามขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกาโดยแสดงดังภาพที่ 5.2

5.2.2 ข้อมูลสำหรับการประมวลผลแบบจำลอง GWLF

5.2.2.1 ข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model: DEM) เป็นข้อมูลที่แสดงถึงความสูงลักษณะภูมิประเทศ โดยข้อมูล DEM ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกาดาวนโหลดจากดาวเทียม Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) และมีขนาดความละเอียด 30 เมตร ข้อมูล DEM ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกาแสดงดังภาพที่ 5.2

5.2.2.2 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองซึ่งแสดงดังภาพที่ 3.10 ถูกแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็น 8 ประเภทในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2555 เนื่องจากเป็นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปีล่าสุดของสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.1



ภาพที่ 5.2 แผนที่ระดับความสูงเชิงตัวเลขและขอบเขตพื้นที่ศึกษาในกลุ่มน้ำคลองอุตตะเกาปี 2560

ที่มา DEM: U.S. Geological Survey (<https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>)

ข้อมูล ณ วันที่ 31 มีนาคม 2560

ตารางที่ 5.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2555 ในพื้นที่ศึกษา

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2555	
	พื้นที่ (km ²)	%
พื้นที่เพาะปลูก	1210.43	78.28
พื้นที่ป่า	186.56	12.07
หญ้าแห้ง พืชเลี้ยงสัตว์	68.30	4.42
พื้นที่อยู่อาศัย	43.72	2.83
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	27.18	1.76
เหมืองถ่านหิน เหมืองหิน หลุมกรวด	4.77	0.31
สนามหญ้า สนามกอล์ฟ	3.10	0.20
Open Land	2.13	0.14

ที่มา : สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

5.2.2.3 ข้อมูลลักษณะดิน ลักษณะของเนื้อดินในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภานอกเหนือจากดินพื้นที่ภูเขา ส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายละเอียด ดินร่วนปนทราย โดยเนื้อดินที่พบในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.2 และคุณลักษณะทางอุทกวิทยาของดิน (Hydrologic Soil Group) ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาแสดงดังภาพที่ 5.3 ในการประมวลผลปริมาณไนโตรเจนด้วยแบบจำลอง GWLF จะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์จากลักษณะเนื้อดิน 3 พารามิเตอร์ ดังนี้

1. ความสามารถในการกักเก็บน้ำของชั้นดิน (Available Water Capacity, AWCA) ซึ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภามีค่าระหว่าง 8.0–20 cm ตามลักษณะเนื้อดิน (USDA, 1997)

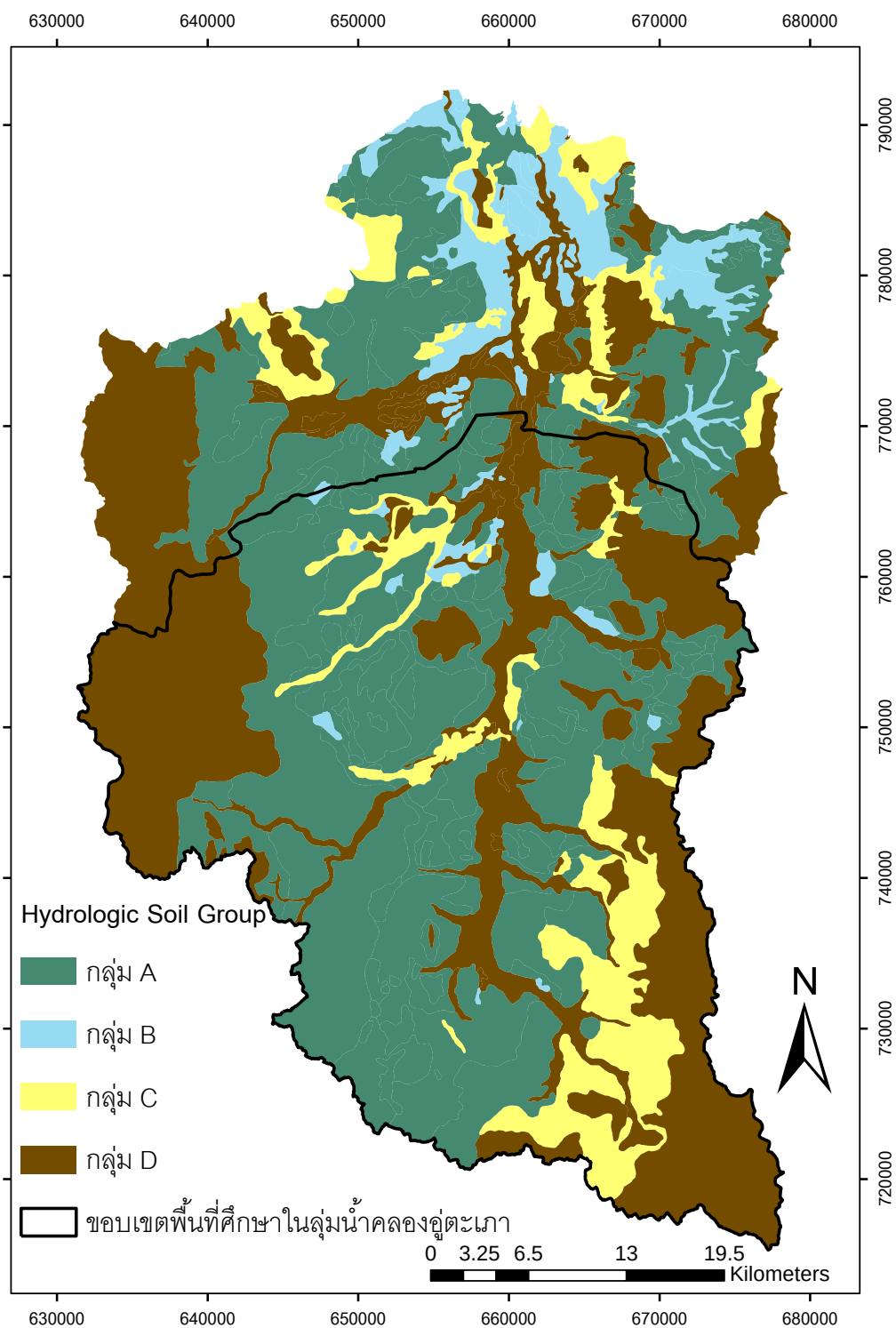
2. ค่า K factor ซึ่งเป็นค่าปัจจัยความคงทนต่อการกร่อนของดิน โดยกรมพัฒนาที่ดินได้ประเมินค่า K factor ของดินในภาคใต้ตามลักษณะเนื้อดิน (ประทุมพร พันเพ็ง, 2556) โดยมีค่าระหว่าง 0.04–0.57

3. คุณลักษณะทางอุทกวิทยาของดิน (Hydrologic Soil Group) โดยแบ่งตามคุณลักษณะการซึมน้ำ (Infiltration) ของดินได้ 4 กลุ่ม (ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ, 2556) คือ กลุ่ม A: ดินมีศักยภาพของการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินต่ำ ดินมีอัตราการซึมน้ำสูง เช่น ดินทราย เป็นต้น

กลุ่ม B: ดินมีอัตราการซึมน้ำปานกลาง เช่น ดินร่วน เป็นต้น

กลุ่ม C: ดินมีอัตราการซึมน้ำช้า เช่น ดินร่วนปนดินเหนียว เป็นต้น

กลุ่ม D: ดินมีศักยภาพการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินสูง ดินมีอัตราการซึมน้ำช้ามาก เช่น ดินเหนียว เป็นต้น

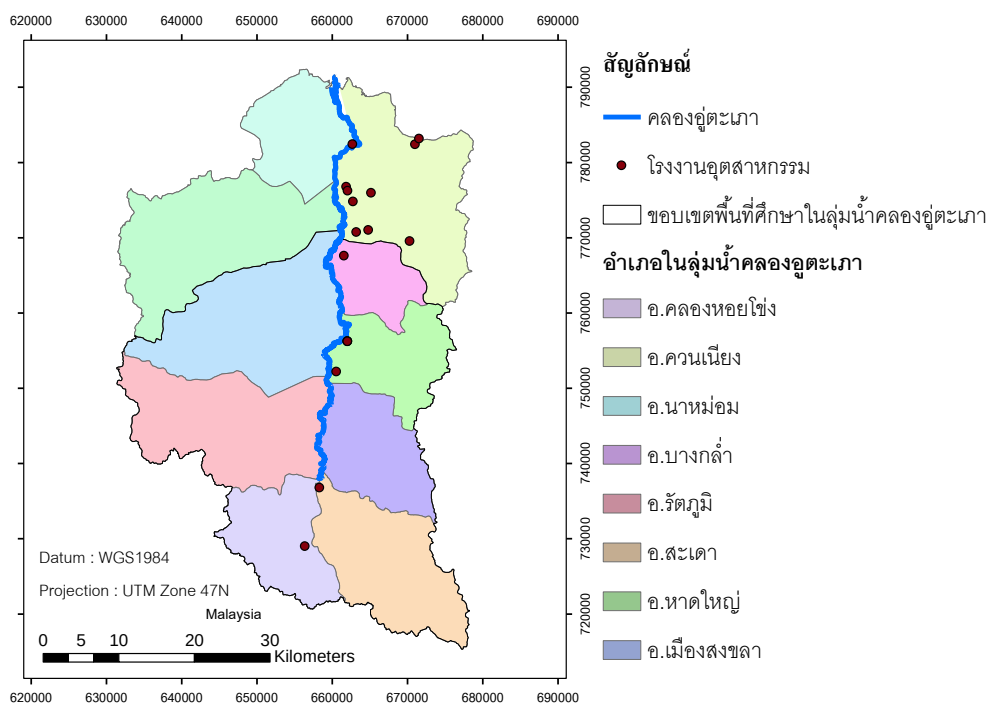


ภาพที่ 5.3 คุณลักษณะทางอุทกวิทยาของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา
 ที่มา : สถานีวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 ข้อมูล ปี 2552

5.2.2.4 ข้อมูลเส้นทางน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกามิ คลองอุตะเกาเป็นลำน้ำสายหลัก โดยเส้นลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาแสดงดังภาพที่ 3.10 ในบทที่ 3

5.2.2.5 ข้อมูลภูมิอากาศ ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกามิ ข้อมูลสถานีตรวจวัดสภาพอากาศที่รวบรวมได้จำนวน 3 สถานี โดยในขอบเขตพื้นที่ศึกษาที่แสดงดังภาพที่ 5.2 มีข้อมูลสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ 2 สถานี คือ สถานีตรวจอากาศท่าอากาศยานหาดใหญ่ และสถานีอุตุนิยมวิทยาอุทกเสเดา ข้อมูลภูมิอากาศที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง GWLF คือปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ยแบบรายวัน

5.2.2.6 ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรม ในการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนด้วยแบบจำลอง GWLF จะมีการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนจากโรงงานอุตสาหกรรม จากข้อมูลที่สืบค้น ณ วันที่ 1 พฤษภาคม 2560 ของกรมโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า มีโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาที่มีการระบายน้ำทิ้งจำนวน 17 โรงงาน โดยรายละเอียดแสดงในภาคผนวกและภาพที่ 5.4 ในการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่ถูกปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมจะคำนวณจากข้อมูลอัตราการไหลและความเข้มข้นของ TKN สูงที่สุดตามที่กฎหมายกำหนดในมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจน (ตารางที่ 6.2 ในบทที่ 6)



ภาพที่ 5.4 โรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาที่มีน้ำเสียและระบายน้ำทิ้ง

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (<http://reg.diw.go.th/water/data2.asp?prov=90>)

ข้อมูล ณ วันที่ 1 พฤษภาคม 2560

5.2.2.7 ข้อมูลจำนวนประชากร ในแบบจำลอง GWLF จะมี ส่วนของการประมาณการการระบรทุกไนโตรเจนด้วยข้อมูลระบบบำบัด (Septic System) ซึ่ง จะพิจารณาจากจำนวนประชากรที่อยู่ภายในและนอกเขตเทศบาลของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอยู่ ตะเกา โดยกำหนดจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตเทศบาลจะมีการบำบัดของเสียด้วยระบบ บำบัดบำบัด โดยรายละเอียดแสดงในภาคผนวก

5.2.2.8 ข้อมูลปศุสัตว์ ในการประมาณการการระบรทุกไนโตรเจนด้วยแบบจำลอง GWLF จะมีการประมาณการการระบรทุกไนโตรเจนจากการปศุสัตว์ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูล โคเนื้อ ไก่ เป็ด และสุกร ซึ่งเป็นข้อมูลปศุสัตว์แบบรายตำบล โดย รายละเอียดแสดงในภาคผนวก

5.2.3 ข้อมูลสำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง GWLF

5.2.3.1 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าแบบรายเดือนบริเวณจุดตรวจวัด UT16 ในหน่วยเซนติเมตรถูกคำนวณจากอัตราการไหลรายวันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2558 เพื่อ ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง โดยข้อมูลปริมาณน้ำที่ใช้ในการสอบเทียบแสดงในภาคผนวก

5.2.3.2 ข้อมูลการระบรทุกไนโตรเจนแบบรายเดือนบริเวณจุด ตรวจวัด UT16 ในหน่วยกิโลกรัม/เดือน (kg/month) ถูกคำนวณจากผลรวมของความเข้มข้น ของไนเตรท-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนตั้งแต่ปี 2550-2558

5.3 การใช้แบบจำลอง GWLF ในการประมาณการการระบรทุกไนโตรเจน

การนำเข้าข้อมูลสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง GWLF เพื่อใช้ในการประมาณ การการระบรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอยู่ตะเกาที่บริเวณจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ UT16 มีการนำเข้าข้อมูล 2 รูปแบบ คือ ข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ เช่น ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลลักษณะดิน เป็นต้น และข้อมูลที่เป็นตาราง เช่น ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งมีขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองดังนี้

5.3.1 การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ

การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำในแบบจำลอง GWLF สามารถทำได้โดยใช้ข้อมูล DEM เพื่อให้แบบจำลองได้คำนวณสภาพทางกายภาพของพื้นที่ เช่น ขอบเขตสันปันน้ำ ขนาดพื้นที่รับ น้ำ ความลาดชันของพื้นที่ เป็นต้น โดยพิกัดภูมิศาสตร์ที่ใช้คือระบบ UTM-1984 Zone 47 ซึ่งเป็นพิกัดเดียวกับข้อมูลนำเข้าอื่นๆ

5.3.2 การนำเข้าข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้จะมีการนำเข้าข้อมูลที่ใช้ประมวลผลในแบบจำลองดังนี้

5.3.2.1 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและลักษณะดิน ใน แบบจำลอง GWLF ต้องกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดินและลักษณะดินให้สอดคล้องกับฐานข้อมูล

ของแบบจำลอง GWLF ในส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดินจะต้องกำหนดประเภทการใช้ที่ดินตามรูปแบบของแบบจำลอง GWLF โดยประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตตะเกาได้อธิบายในหัวข้อ 5.2.2.2

5.3.2.2 ข้อมูลลักษณะดิน ในส่วนของลักษณะดินต้องมีการกำหนดรหัสและค่าพารามิเตอร์ตามลักษณะเนื้อดินซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อ 5.2.2.3

5.3.2.3 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ในแบบจำลอง GWLF ต้องนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศ 2 รูปแบบ คือ ข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ซึ่งเป็นข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดและข้อมูลเชิงตารางซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิแบบรายวันโดยจะต้องมีข้อมูลครบถ้วนทุกวันในช่วงเวลาที่พัฒนาแบบจำลองการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจน

5.3.2.4 ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรม ในแบบจำลอง GWLF ต้องนำเข้าข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรม 2 รูปแบบคือข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ซึ่งเป็นข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมและข้อมูลเชิงตารางซึ่งเป็นข้อมูลภาระบรรทุกไนโตรเจนแบบรายเดือนของแต่ละโรงงานอุตสาหกรรม

5.3.2.5 ข้อมูลประชากรและปศุสัตว์ ข้อมูลจะถูกนำเข้าในรูปแบบข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ โดยในแต่ละตำบลจะมีข้อมูลจำนวนประชากรและปศุสัตว์แต่ละชนิด

5.3.2.6 ข้อมูลเส้นทางน้ำ ข้อมูลจะถูกนำเข้าในรูปแบบข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่

5.3.3 การสร้างไฟล์นำเข้าแบบจำลอง GWLF

ในการสร้างไฟล์นำเข้าแบบจำลอง GWLF จะถูกประมาณผลด้วยโปรแกรม Mapshed โดยจะสร้างไฟล์ gms ซึ่งจะมีข้อมูลนำเข้าและค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบที่จะนำไปประมวลผลด้วยแบบจำลอง GWLF ต่อไป

5.4 การสอบเทียบแบบจำลอง GWLF

การสอบเทียบแบบจำลอง GWLF เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับแบบจำลองในการประมาณการปริมาณน้ำและภาระบรรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตตะเกา โดยจะนำปริมาณน้ำและภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ประมาณการโดยแบบจำลอง GWLF มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีการตรวจวัดจริง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลโดยมีการกำหนดเกณฑ์ในการใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สำหรับกำหนดระดับประสิทธิภาพการใช้งานของแบบจำลองไว้ดังภาพที่ 5.5

พารามิเตอร์ทางสถิติ	ค่าสัมประสิทธิ์ที่ยอมรับได้			
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	← 0.75 — 0.80 — 0.85 — 0.90 — 0.96 →			
ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)	← 0.6 — 0.7 — 0.8 — 0.9 →			
แบบจำลองแบบรายวัน	แย่	พอใช้	ดี	ดีมาก
แบบจำลองแบบรายเดือน	แย่	พอใช้	ดี	ดีมาก

ภาพที่ 5.5 เกณฑ์ในการใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับกำหนดระดับประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ที่มา : สาทิกา บุญแก้ววรรณ (2556) และวรวงศ์ ฤกษ์เกลี้ยง (2558)

5.5 ผลการปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)

5.5.1 ผลการสอบเทียบปริมาณน้ำ

การสอบเทียบแบบจำลอง GWLF จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็นเกณฑ์พิจารณา ซึ่งในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะสอบเทียบด้วยปริมาณน้ำท่า (Stream Flow) บริเวณสถานีตรวจวัด UT16 โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนในช่วงปี 2550-2558

การสอบเทียบปริมาณน้ำท่าในครั้งนี้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า โดยมีรายละเอียดการปรับแก้ดังตารางที่ 5.2

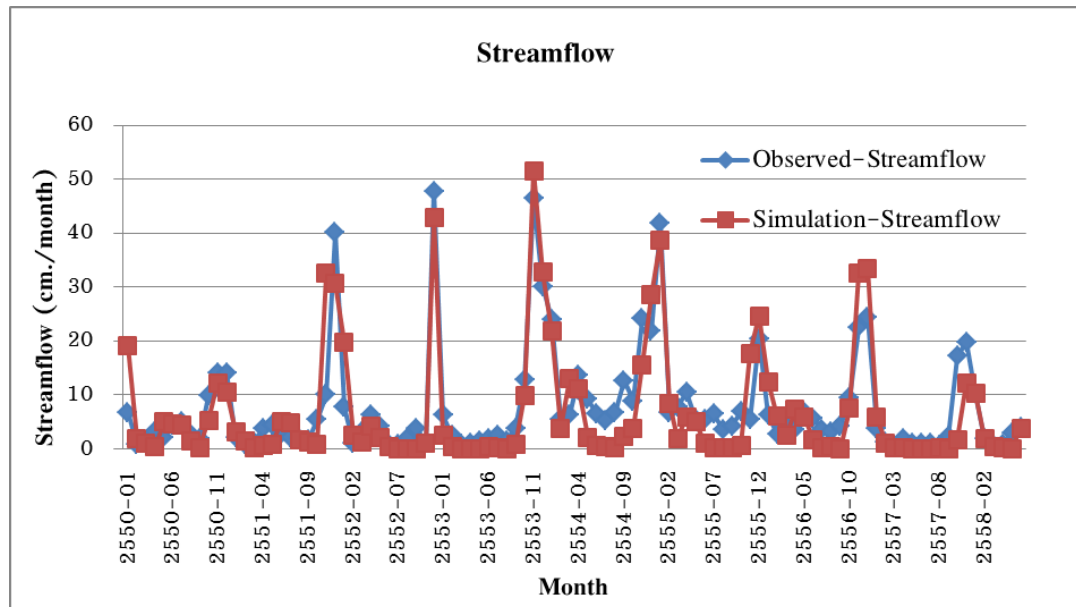
ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเพื่อสอบเทียบปริมาณน้ำท่า

พารามิเตอร์	ความหมายของตัวแปร	ค่าที่ใช้	Normal Range
CN	SCS Runoff Curve Number	58-87	39-98 ^[1]
Avail Water Cap	ความสามารถในการกักเก็บน้ำของชั้นดิน	11	8-20 ^[2]
GW Recess Coeff	สัดส่วนของน้ำใต้ดินที่เพิ่มเข้าไปในลำธาร	0.05	0.01-0.2 ^[3]
Seepage Coeff	การสูญเสียน้ำใต้ดินในชั้นหินอุ้มน้ำ	0	0-1 ^{[3],[4]}

ที่มา [1] USDA (1986), [2] USDA (1997), [3] Hong *et al.* (2013), [4] Barry and Kenneth (2014)

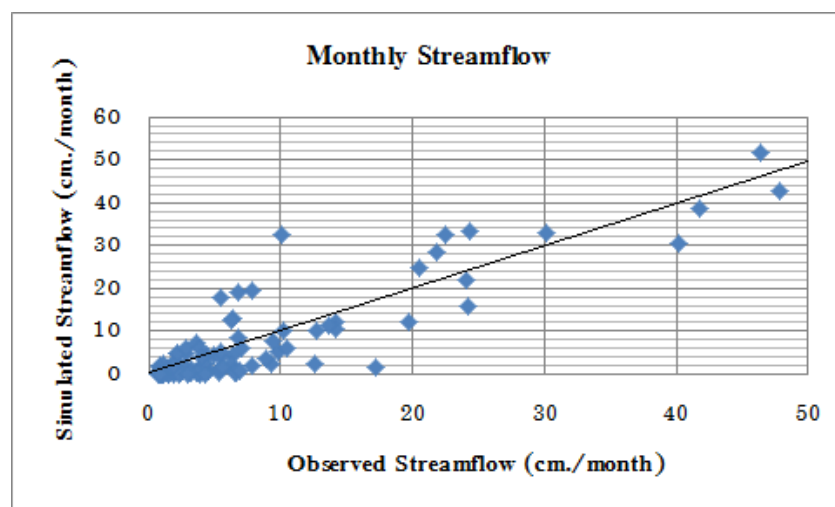
ผลการสอบเทียบปริมาณน้ำท่าแสดงดังภาพที่ 5.6 และภาพที่ 5.7 เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองและการตรวจวัดที่แสดงดังภาพที่

5.6 พบว่าผลของแบบจำลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับข้อมูลการตรวจวัด ซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.88 และ 0.78 ตามลำดับ



ภาพที่ 5.6 ผลการสอบเทียบปริมาณน้ำท่าบริเวณ UT16 (100 ข้อมูล)

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 5.7 พบว่าแบบจำลองจะจำลองปริมาณน้ำท่าได้ดีเมื่อปริมาณน้ำท่ามีค่าต่ำกว่า 10 เซนติเมตร/เดือน (cm./month) โดยผลของแบบจำลองจะแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดจริงมีค่าสูง โดยเฉพาะในช่วงเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมของทุกปีซึ่งจะมีปริมาณฝนมาก



ภาพที่ 5.7 ผลการสอบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนบริเวณ UT16 (100 ข้อมูล)

5.5.2 ผลการสอบเทียบภาระบรรทุกไนโตรเจน

การสอบเทียบภาระบรรทุกไนโตรเจนในการศึกษาครั้งนี้ จะสอบเทียบปริมาณภาระบรรทุกไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen Load, TN Load) แบบเฉลี่ยรายเดือนซึ่งเป็นผลจากแบบจำลองกับข้อมูลผลรวมของความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่คำนวณเป็นภาระบรรทุกไนโตรเจนที่จุดตรวจวัด UT16 โดยใช้ข้อมูลในช่วงปี 2550-2558 จากการตรวจวัดของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 ทั้งนี้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเพื่อสอบเทียบภาระบรรทุกไนโตรเจน

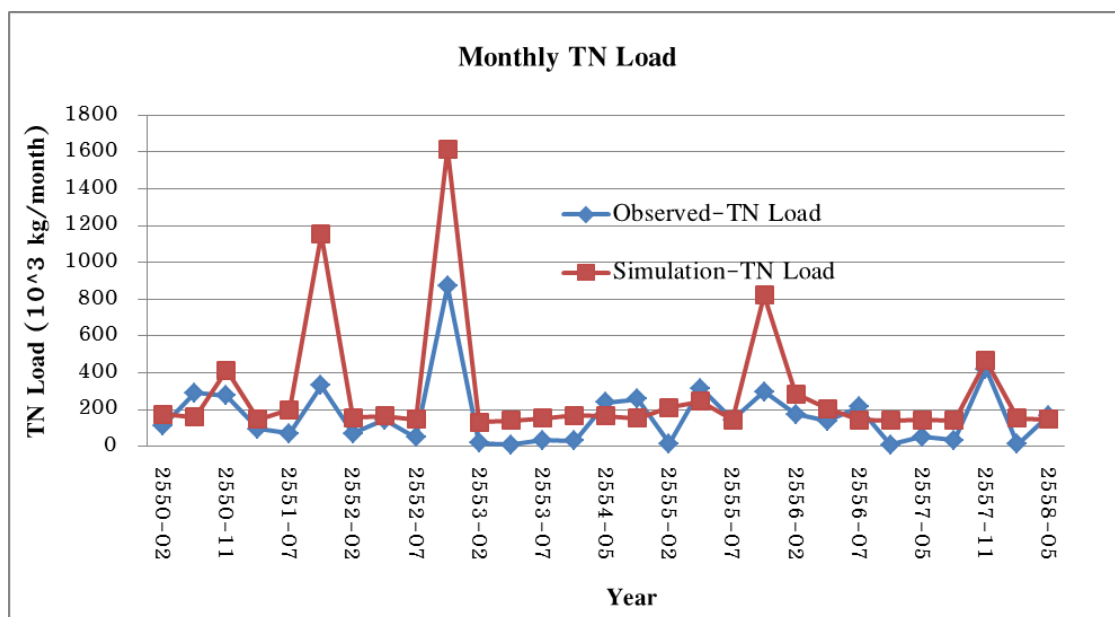
พารามิเตอร์	ความหมายของตัวแปร	ค่าที่ใช้	Normal Range
Groundwater Conc. (mg/L)	ความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำใต้ดิน	0.5	<0.9 - 54 ^[1]
Soil Conc. (mg/Kg)	ความเข้มข้นของไนโตรเจนในดิน	275	NO ₃ -N = 0-31 mg-N/Kg ^[2] TKN = 273-2478 mg-N/Kg ^[2]
Per Capita Tank Load (g/d)	ภาระบรรทุกไนโตรเจนต่อคนใน 1 วัน	9.5	3.3 - 6.68 kg N/year ^[3] 9.04-18.3 g N/day

ที่มา : [1] ส่วนเฝ้าระวังทรัพยากรน้ำบาดาล (2558), [2] วรพงศ์ ฤกษ์เกลี้ยง (2558),

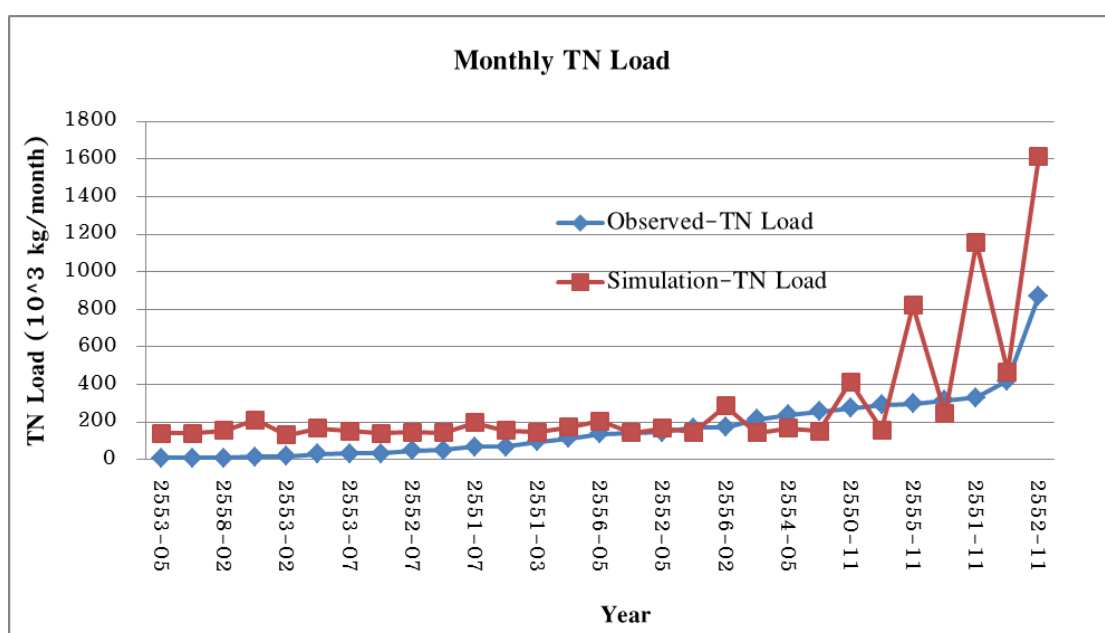
[3] Badruzzaman *et al.* (2012)

ผลการสอบเทียบภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ประมาณการจากแบบจำลอง GWLF กับค่าที่ตรวจวัดได้แสดงดังภาพที่ 5.8 จากการพิจารณารูปพบว่าภาระบรรทุกไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดได้แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.82 และ 0.67 ตามลำดับ โดยปริมาณน้ำฝนมีผลต่อภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา โดยภาระบรรทุกไนโตรเจนจะมีค่ามากในช่วงฤดูฝน (เดือน 11) และภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ประมาณการโดยแบบจำลอง GWLF จะมีค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดมากเมื่อในเดือนนั้นมีปริมาณน้ำฝนสะสมสูงซึ่งแสดงดังภาพที่ 5.9 โดยเดือน 11 ของปี 2551 2552 และ 2555 จะมีปริมาณน้ำฝนสะสมประมาณ 40-70 cm./month ทำให้ภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ประมาณการโดยแบบจำลอง GWLF มีค่าสูงมาก

เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลปริมาณไนโตรเจนที่นำมาสอบเทียบแบบจำลองทำให้ค่าไนโตรเจนทั้งหมดที่นำมาสอบเทียบไม่ได้คำนวณไนโตรเจนในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) รวมอยู่ด้วย และการตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนมีเพียง 3-4 ครั้งในแต่ละปีตามช่วงฤดูกาล ซึ่งอาจส่งผลให้การปรับเทียบแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อน



ภาพที่ 5.8 ผลการสอบเทียบภาระบรรทุกไนโตรเจนบริเวณ UT16 (29 ข้อมูล)

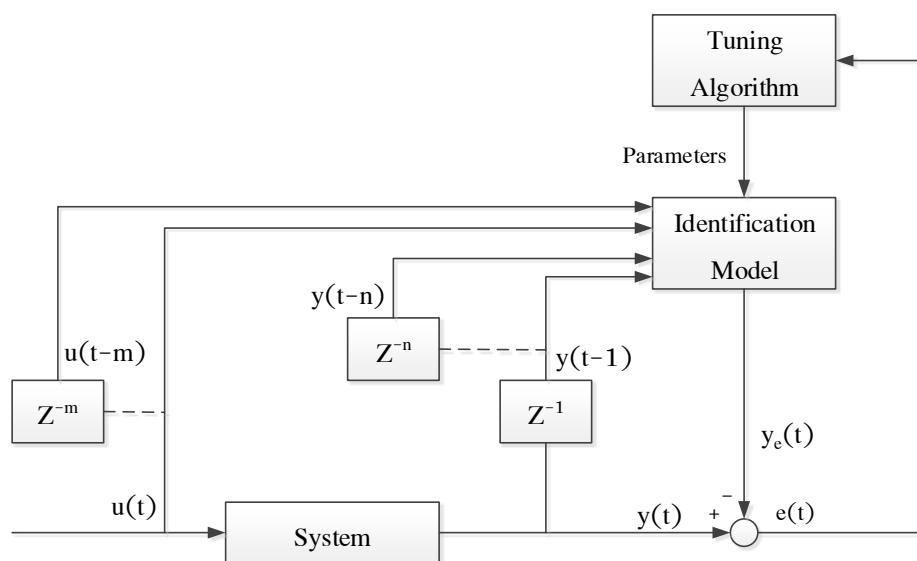


5.6 แบบจำลองที่เรียนรู้การพยากรณ์ของฟิชชีลอจิกแบบแบบจำลองอ้างอิง

จากข้อจำกัดของข้อมูลการสอบเทียบแบบจำลอง GWLF ทำให้พบว่าปัญหาหลักของการประมาณการหรือพยากรณ์ปริมาณไนโตรเจนคือเรื่องข้อมูลนำเข้า ทั้งในรูปแบบข้อมูลเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ จำนวนข้อมูลที่ไม่เพียงพอต่อการสอบเทียบ เช่น ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกาที่มีการตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ เพียงปีละ 3-4 ครั้ง ทำให้ยากต่อการสอบเทียบข้อมูลให้มีความแม่นยำในระดับที่ดี เป็นต้น อีกทั้งเรื่องความถูกต้องของข้อมูลและความยากในการปรับจูนพารามิเตอร์ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่มีลักษณะเฉพาะในพื้นที่นั้น ๆ จึงควรมีการพัฒนาแบบจำลองที่สามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์บางค่าเมื่อสิ่งแวดล้อมมีค่าเปลี่ยนไปเพื่อให้เข้ากับสถานการณ์สิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศ (Climate Change) เป็นต้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎี การออกแบบ และการทดสอบแบบจำลองการเรียนรู้การพยากรณ์ของฟิชชีลอจิกแบบแบบจำลองอ้างอิงเพื่อใช้ประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกา โดยแบบจำลองนี้สามารถปรับตัวตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้

5.6.1 หลักการสร้างข้อมูลพยากรณ์

การพยากรณ์ของระบบอาศัยหลักการสร้างข้อมูลพยากรณ์ ($y_c(t)$) ซึ่งแสดงในภาพที่ 5.10 โดย $y_c(t)$ จะถูกสร้างจากชุดข้อมูลนำเข้า ($u(t)$ และ $u(t-m)$) และชุดข้อมูลขาออก ($y(t)$ และ $y(t-n)$) ของระบบที่พิจารณา (System) โดยที่ตัวพยากรณ์ (Identification Model) จะต้องสร้าง $y_c(t)$ ซึ่งความแตกต่างของ $y_c(t)$ และ $y(t)$ ที่เป็นข้อมูลขาออกของระบบที่พิจารณา จะสร้าง $e(t)$ โดยกรณีที่ $e(t)$ มีค่าสูงเกินค่าที่กำหนด กระบวนการพยากรณ์ในตัวพยากรณ์จะถูกปรับเปลี่ยนโดยตัวปรับแต่ง (Model Tuner) เพื่อให้ค่า $e(t)$ มีค่าภายในกรอบที่กำหนดไว้



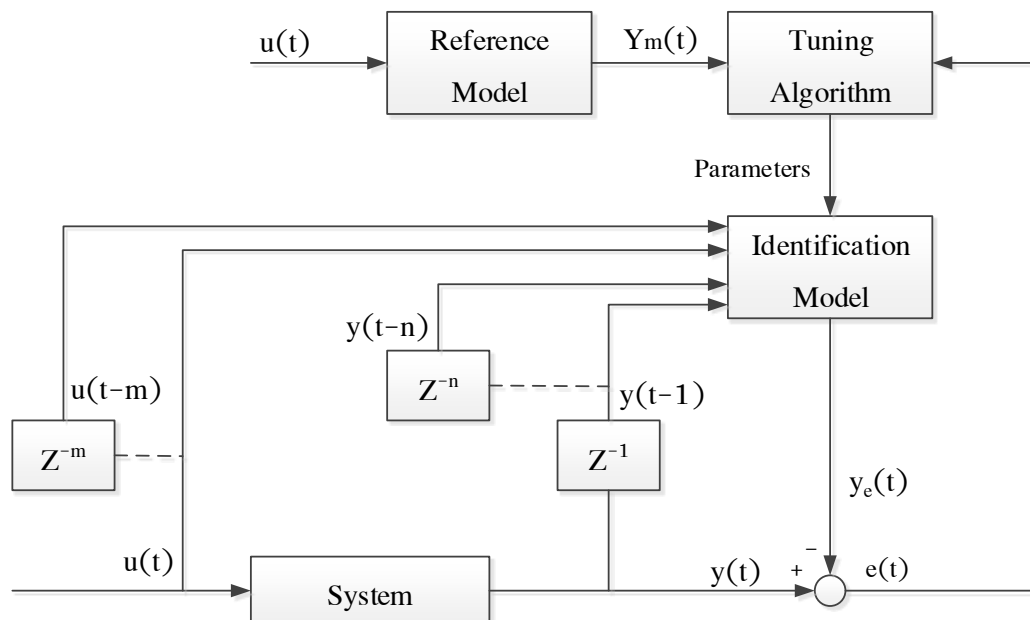
ภาพที่ 5.10 หลักการสร้างข้อมูลพยากรณ์

ที่มา : Aguilar et.al. (2002)

หลักการข้างต้นถูกนำมาใช้ในการประมาณการภาระบรรทุกในโตรเจนในคลองอุต๊ะเกา และพิจารณาปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในทางปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. ปัญหาความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลด้าน input $u(t)$
2. ปัญหาความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลด้าน output $y(t)$
3. ปัญหาความแปรปรวนของระบบซึ่งแทนค่าด้วย $z(t)$

ผลของปัญหาดังกล่าวข้างต้นอาจจะส่งผลให้ไม่สามารถออกแบบให้ตัวปรับแต่งสามารถรักษาค่า $e(t)$ ให้มีค่าภายในช่วงที่กำหนดได้ การใช้ค่าอ้างอิงที่สร้างจากแบบจำลองอ้างอิง (Reference Model) ดังแสดงในภาพที่ 5.11 เข้ามาช่วยตรึงค่า $y_e(t)$ ไม่ให้ก่อให้เกิดค่า $e(t)$ ที่สูงเกินไป

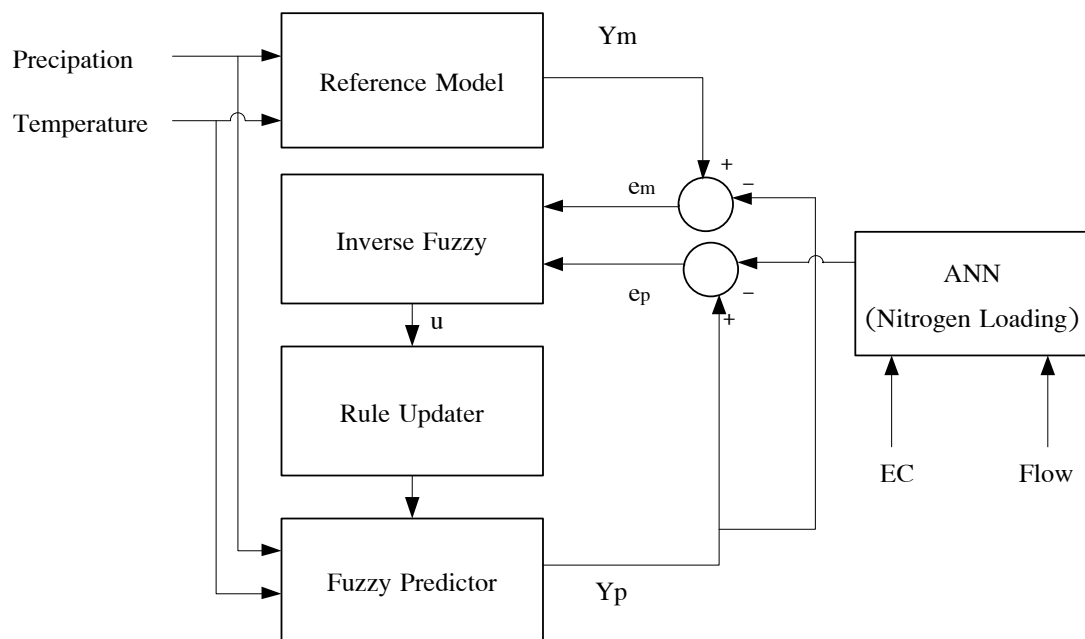


ภาพที่ 5.11 หลักการสร้างข้อมูลพยากรณ์แบบใช้แบบจำลองอ้างอิง

ที่มา : ดัดแปลงจาก Aguilar *et.al.* (2002)

5.6.2 แบบจำลองการเรียนรู้การพยากรณ์ของฟัซซีลอจิกแบบแบบจำลองอ้างอิง (Fuzzy Model Reference Learning Predictor, FMRLP)

ส่วนประกอบสำคัญของแบบจำลองการเรียนรู้การพยากรณ์ของฟัซซีลอจิกแบบแบบจำลองอ้างอิงมีทั้งหมด 4 ส่วน คือ ตัวพยากรณ์แบบฟัซซี (Fuzzy Predictor) แบบจำลองอ้างอิง (Reference Model) และกลไกการเรียนรู้ซึ่งประกอบด้วยตัวควบคุมฟัซซีแบบกลับ (Inverse Fuzzy) และตัวปรับกฎ (Rule Updater) แสดงดังภาพที่ 5.12



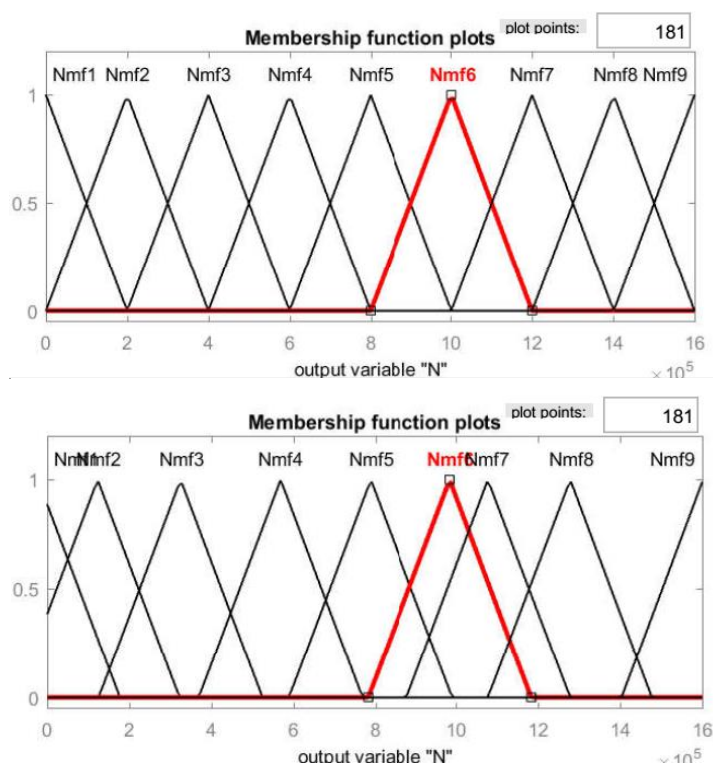
ภาพที่ 5.12 แบบจำลองการเรียนรู้การพยากรณ์ของฟัซซีลอจิกแบบแบบจำลองอ้างอิง

ตัวควบคุมฟัซซีแบบกลับเป็นกระบวนการสร้างระบบควบคุมโดยอาศัยการทำงานของกลไกการเรียนรู้เพื่อการปรับปรุงของค่าตัวแปรภาษาภายในตัวควบคุมฟัซซี ซึ่งข้อมูลนำเข้าของตัวควบคุมฟัซซีแบบกลับ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนของค่าที่พยากรณ์ด้วยตัวพยากรณ์แบบฟัซซีกับแบบจำลองอ้างอิง (e_m) และความคลาดเคลื่อนของค่าที่พยากรณ์ด้วยตัวพยากรณ์แบบฟัซซีกับภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ประมาณการจากโครงข่ายประสาทเทียม (e_p) ตัวควบคุมฟัซซีแบบกลับจะประมวลผลข้อมูลนำเข้าและส่งค่าพารามิเตอร์ u เพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันสมาชิกด้านข้อมูลออกของตัวปรับกฎ ซึ่งฟังก์ชันสมาชิกที่ปรับเปลี่ยนใหม่จะใช้ในการพยากรณ์ต่อไป ทั้งนี้เมื่อข้อมูลพารามิเตอร์บางค่าในแบบจำลองอ้างอิงมีการเปลี่ยนแปลงไป แต่ผู้วิจัยไม่ได้ปรับเทียบแบบจำลองอ้างอิงใหม่ทำให้ผลการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนจากแบบจำลองอ้างอิงไม่สอดคล้องกับข้อมูลปัจจุบัน แต่ในส่วนของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการไหลซึ่งวัดมาจากสภาพแวดล้อมจริงเพื่อประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจน ทำให้ค่าพารามิเตอร์ u ที่ใช้ในการปรับฟังก์ชันสมาชิกถูกประมวลผลจากข้อมูลที่ได้จากสภาพแวดล้อมจริง ทำให้ FMRLP มีการปรับตัวเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปแม้ว่าผู้วิจัยจะไม่ได้ปรับเทียบแบบจำลองอ้างอิงใหม่ ซึ่งการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันสมาชิกในแบบจำลอง FMRLP เสมือนการปรับเทียบแบบจำลองใหม่

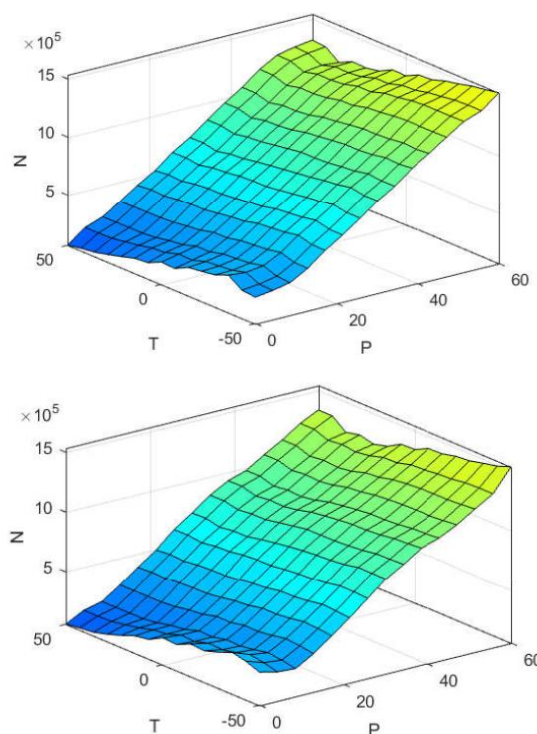
แบบจำลองอ้างอิงเป็นการสร้างแบบจำลองอย่างง่ายของระบบจริงเพื่อใช้เทียบเคียงในกลไกการเรียนรู้ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีต้นแบบของแบบจำลองอ้างอิงเป็นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ทำตัวเสมือนเป็นแบบจำลอง GWLF ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างภาระ

บรรทุกโนโตรเจนที่คำนวณได้จากแบบจำลองอ้างอิงกับค่าที่พยากรณ์ด้วยตัวพยากรณ์แบบฟัซซี (ข้อมูลออกจากแบบจำลอง FMRLP) จะใช้เป็นค่าในการปรับเปลี่ยนฐานกฎของตัวทำนายการบรรทุกโนโตรเจนแบบฟัซซี แบบจำลองอ้างอิงถูกออกแบบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด FFBP ที่มีข้อมูลนำเข้า 2 ตัวแปร คือ ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมในครั้งนี้จะใช้อัลกอริทึมในการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt algorithm (LMA) โดยโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ทำตัวเสมือนเป็นแบบจำลอง GWLF ประกอบด้วยชั้นข้อมูลนำเข้าที่มีตัวแปรนำเข้า 2 ตัวแปร มีชั้นซ่อน 1 ชั้น ซึ่งมี 10 neurons โดยชั้นซ่อนใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ log-sigmoid และชั้นข้อมูลออกมี 1 neuron ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ purelin

การปรับปรุงร่างของค่าตัวแปรภาษาภายในตัวพยากรณ์ฟัซซีทำได้โดยปรับเปลี่ยนฟังก์ชันสมาชิกด้านข้อมูลออกของตัวพยากรณ์ฟัซซีเพื่อให้ค่า $e(t)$ มีค่าไม่เกินค่าที่กำหนดดังแสดงในภาพที่ 5.13 โดยรูปร่างของ Surface Plot (กราฟระหว่างค่าการบรรทุกโนโตรเจน (N) ปริมาณน้ำฝน (P) และอุณหภูมิ (T)) ก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงดังภาพที่ 5.14

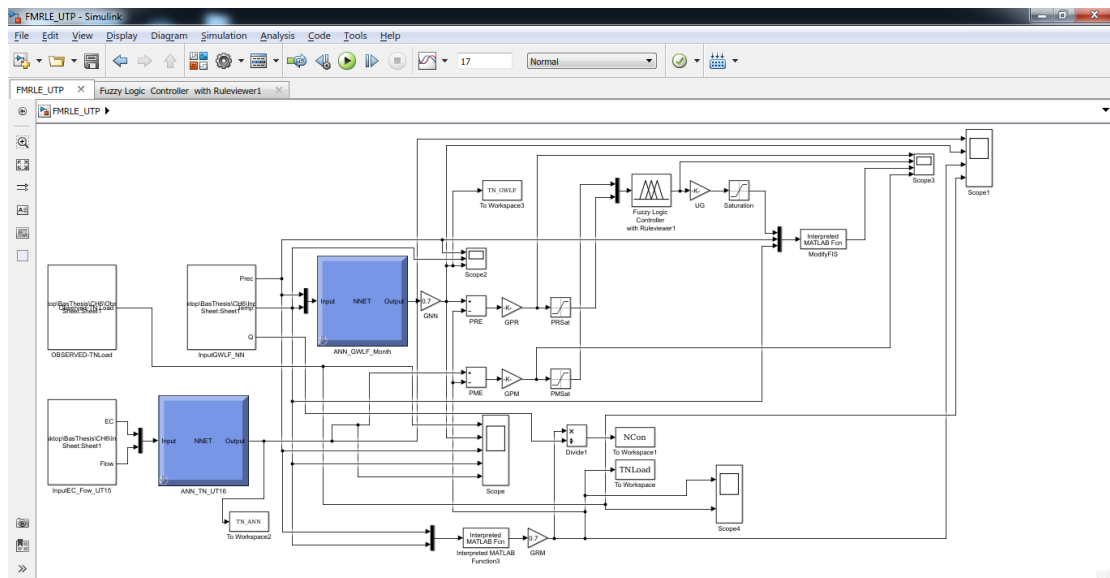


ภาพที่ 5.13 รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกด้านข้อมูลออกก่อนและหลังการปรับปรุง

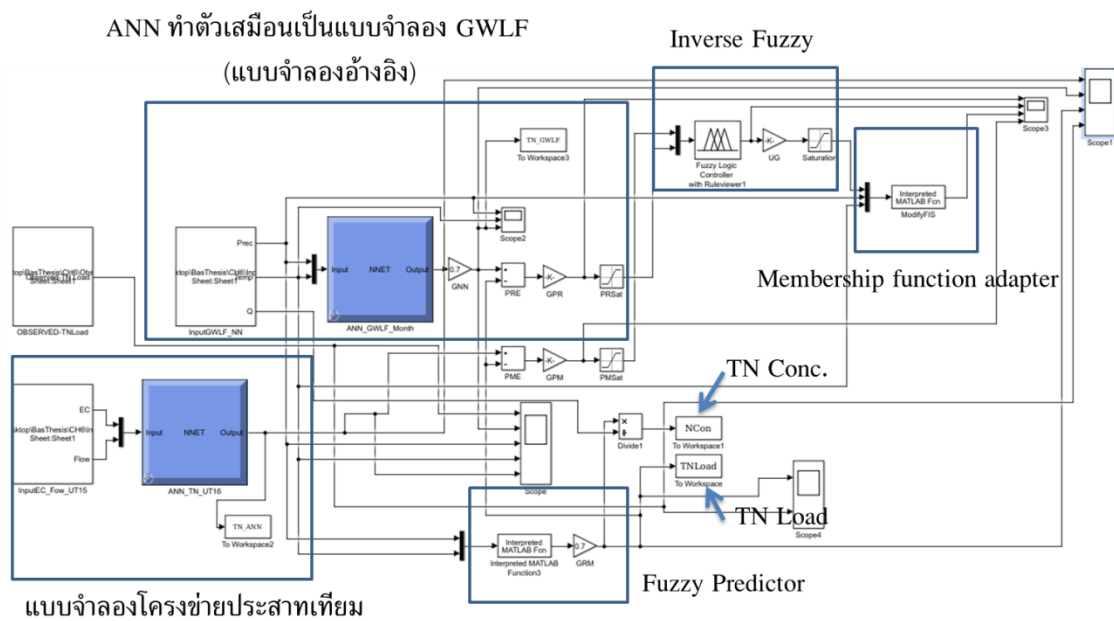


ภาพที่ 5.14 รูปร่างของ Surface Plot ก่อนและหลังการปรับปรุง

MATLAB Simulink เป็นเครื่องมือหลักในการจัดทำแบบจำลอง FMRLP เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้งานได้ง่ายและไม่ต้องการความรู้ในการเขียนโปรแกรมเชิงลึก ผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจระบบได้ง่ายเนื่องจากการใช้เครื่องมือเชิงรูปภาพ นอกจาก MATLAB Simulink แล้วยังต้องใช้เครื่องมือ (Toolboxes) ที่ช่วยในการพัฒนาแบบจำลองคือ Neural Networks Toolbox และ Fuzzy Logic Toolbox โดยแบบจำลอง FMRLP ในการประมาณการภาระบรรทุกในโตรเจนและความเข้มข้นของไนโตรเจนที่พัฒนามน MATLAB Simulink แสดงดังภาพที่ 5.15 และภาพที่ 5.16



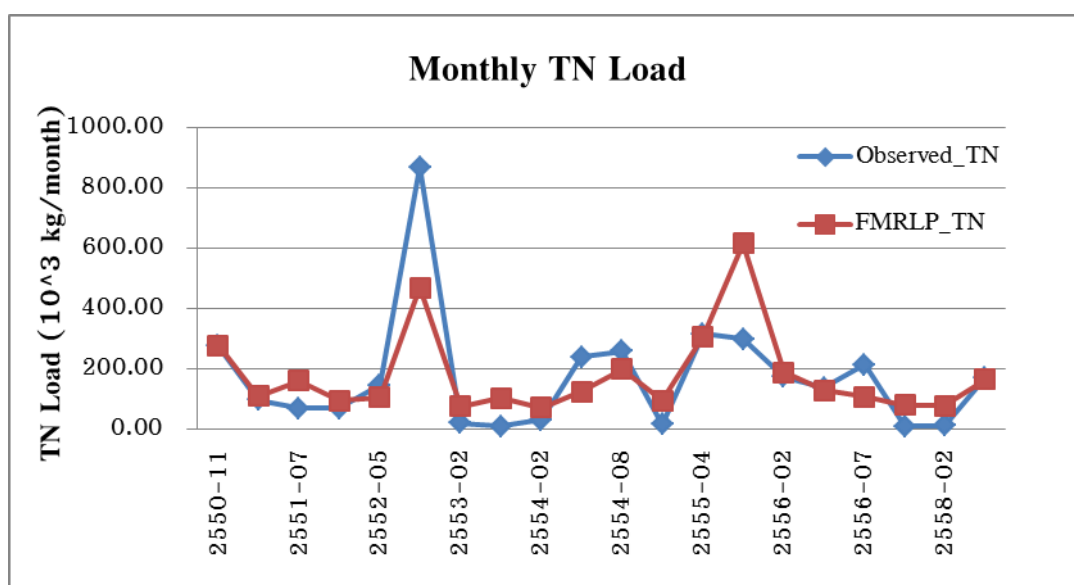
ภาพที่ 5.15 แบบจำลอง FMRLP ที่พัฒนามบน MATLAB Simulink



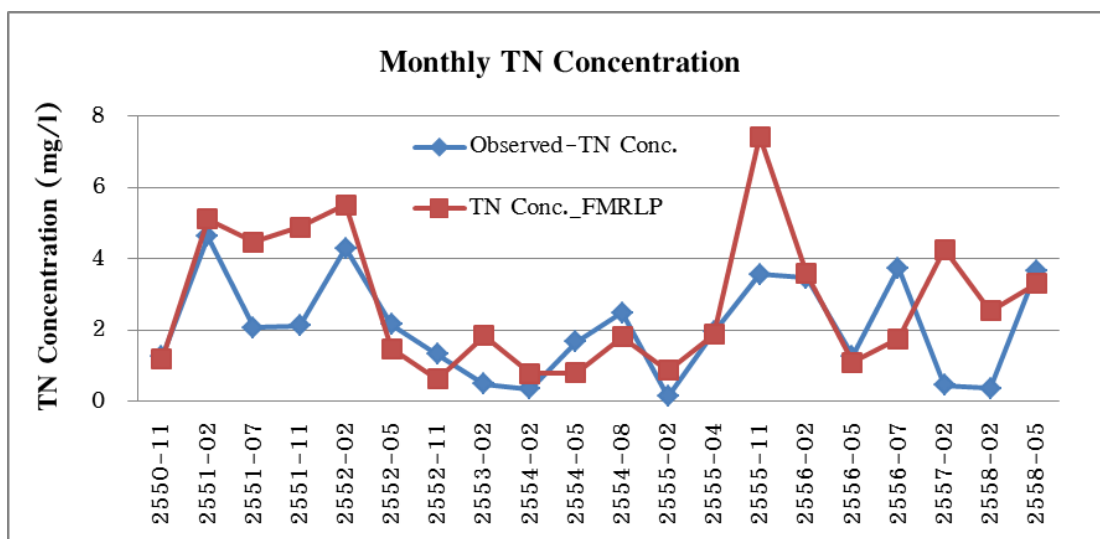
ภาพที่ 5.16 ส่วนประกอบของแบบจำลอง FMRLP ที่พัฒนามบน MATLAB Simulink

5.6.3 การทดสอบแบบจำลองการเรียนรู้การพยากรณ์ของฟิชซีลอจิกแบบ แบบจำลองอ้างอิง

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง FMRLP เป็นข้อมูลภาระบรรทุกในโตรเจนที่บริเวณจุดตรวจวัด UT16 ในช่วงปี พ.ศ. 2550-2558 จากการตรวจวัดของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 16 โดยข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในแบบจำลอง FMRLP ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ อัตราการไหล และค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งภาพรวมของแบบจำลอง FMRLP หรือแบบจำลองเชิงบูรณาการผลกระทบของไนโตรเจนสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาแสดงไว้ในภาพที่ 1.1 จากผลการทดสอบพบว่าข้อมูลที่ตรวจวัดจริงเทียบกับภาระบรรทุกในโตรเจนที่ประมาณการโดยแบบจำลอง FMRLP มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.74 และ 0.55 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 5.17 และความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดที่พยากรณ์โดยแบบจำลอง FMRLP เทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดจริงแสดงดังภาพที่ 5.18 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.59 และ 0.35

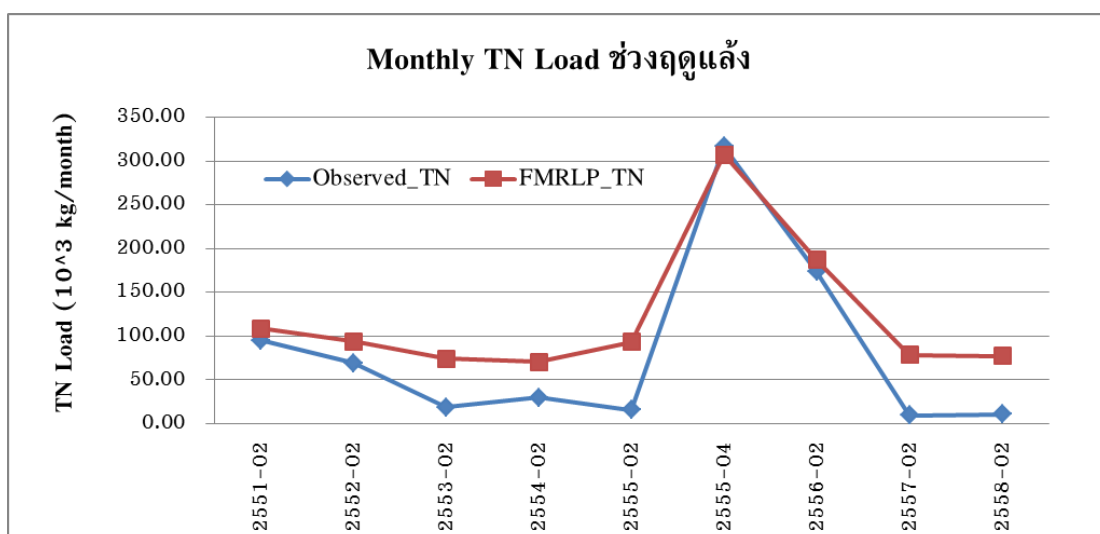


ภาพที่ 5.17 ภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ประมาณการโดยแบบจำลอง FMRLP และที่ตรวจวัด

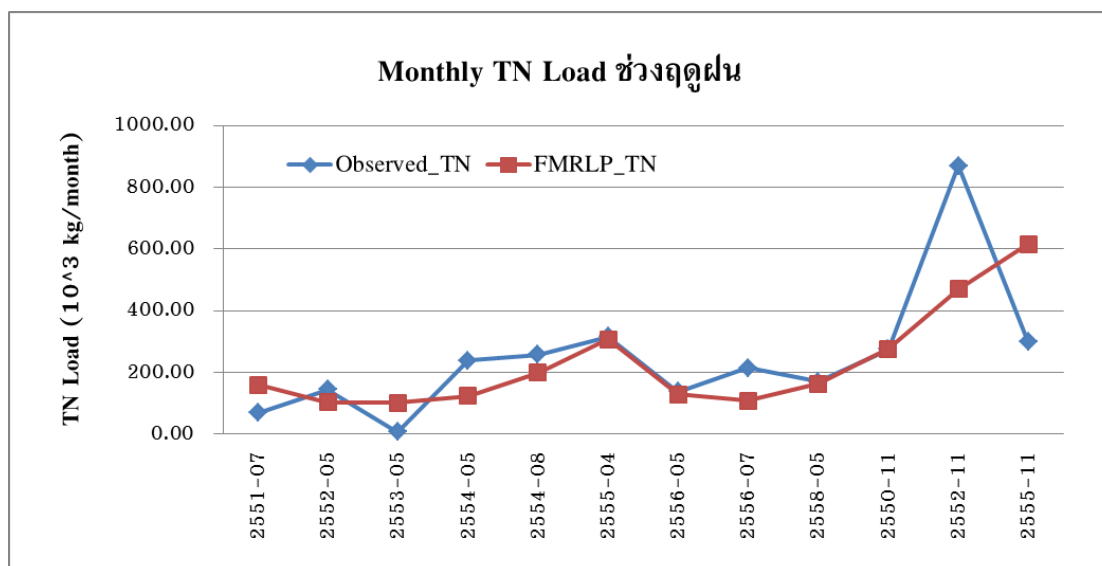


ภาพที่ 5.18 ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ประมาณการโดยแบบจำลอง FMRLP และที่ตรวจวัด

เมื่อพิจารณาผลการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนด้วยแบบจำลอง FMRLP พบว่าการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนในช่วงฤดูแล้งจะให้ผลการประมาณการที่ดีกว่าและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันมากกว่าช่วงฤดูฝน ซึ่งแสดงดังภาพที่ 5.19 และภาพที่ 5.20 ซึ่งสอดคล้องกับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ โดยในช่วงฤดูแล้งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.98 และ 0.94 ตามลำดับ ในส่วนของฤดูฝนมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.65 และ 0.42 ตามลำดับ ดังนั้นการใช้แบบจำลอง FMRLP ในการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนจะให้ผลการประมาณการที่ดีในช่วงฤดูแล้ง



ภาพที่ 5.19 ภาระบรรทุกไนโตรเจนในช่วงฤดูแล้ง



ภาพที่ 5.20 ภาระบรรทุกไนโตรเจนในช่วงฤดูฝน

แบบจำลอง FMRLP ใช้หลักการทำงานแบบพีซีซึ่งมีคุณลักษณะเด่นคือการพยากรณ์หรือประมาณการบนความไม่แน่นอนของข้อมูลได้และสามารถประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนได้ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริง โดยในกรณีของแบบจำลอง GWLF ถ้าพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าบางค่ามีการเปลี่ยนแปลงไป และผู้ใช้งานไม่มีการปรับแก้พารามิเตอร์ตัวนี้จะทำให้ผลการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนของแบบจำลอง GWLF ผิดไป แต่ในส่วนของแบบจำลอง FMRLP จะมีการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนโดยใช้ภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ทำนายโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งใช้ข้อมูลนำเข้า 2 ค่า คือ ค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการไหลซึ่งมีการตรวจวัดมาจากสภาพแวดล้อมจริง ทำให้ค่าพารามิเตอร์ α ที่ใช้ในการปรับฟังก์ชันสมาชิกถูกประมวลผลจากข้อมูลที่มาจาสภาพแวดล้อมจริง ส่งผลให้การประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนด้วยแบบจำลอง FMRLP ให้ผลการประมาณการใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงมากขึ้นซึ่งเป็นจุดเด่นของแบบจำลอง FMRLP

ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการนำแบบจำลอง FMRLP มาใช้งาน ควรทำแบบจำลอง FMRLP เป็นระบบออนไลน์ที่มีการอ่านปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่แสดงในเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอัตราการไหลและค่าการนำไฟฟ้าจากเว็บไซต์ของศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคใต้และการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่มาประมวลผลอย่างต่อเนื่อง โดยอัตราการไหลและค่าการนำไฟฟ้าจะประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ได้จากสภาพแวดล้อมจริงซึ่งช่วยให้แบบจำลองสามารถประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในส่วนของการจำกัดของแบบจำลอง FMRLP คือการที่แบบจำลอง FMRLP จำเป็นต้องมีค่าภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ตรวจวัดหรือประมาณการมาจากค่าพารามิเตอร์ที่

ตรวจวัดในสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งถ้าไม่มีค่าดังกล่าวฟังก์ชันสมาชิกในแบบจำลอง FMRLP จะไม่มีการปรับเปลี่ยนและจะมีความสามารถเหมือนกับแบบจำลอง GWLF

ในส่วนของ Sensitivity ของแบบจำลอง FMRLP จะขึ้นอยู่กับ Sensitivity ของแบบจำลอง GWLF โดย Sensitivity ของแบบจำลอง GWLF มักมีพารามิเตอร์เดียวที่เกี่ยวกับการจำลองการไหลของน้ำและภาระบรรทุกของธาตุอาหาร โดยปริมาณน้ำไหลจากดินชั้นบน (Runoff Volumes) และน้ำที่ไหลมาทางใต้ดิน (Base flow) จะถูกกำหนดด้วยพารามิเตอร์ Recession Coefficient และภาระบรรทุกของธาตุอาหารจะถูกกำหนดด้วยพารามิเตอร์ Concentration Coefficient (Radcliffe and Cabrera, 2006)

ในส่วนของการสถาปัตยกรรมของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้น ผู้วิจัยมุ่งเน้นเรื่องความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนของตัวแบบจำลองให้มีความสอดคล้องกับบริบทในการนำไปใช้งานจริงเป็นหลัก กล่าวคือ

1. ตัวแบบจำลองอ้างอิงจะใช้หลักการเรียนรู้จากแบบจำลองที่เหมาะสมกับพื้นที่นั้น ในการพัฒนานี้ผู้วิจัยเลือกใช้แบบจำลอง GWLF เนื่องจากจะใช้ข้อมูลไม่มากในการพัฒนาแบบจำลอง อย่างไรก็ตามหากมีแบบจำลองที่พร้อมใช้และความแม่นยำสูงกว่า GWLF ผู้ใช้สามารถสอนโครงข่ายประสาทเทียมในแบบจำลองอ้างอิงใหม่หรืออาจจะใช้ข้อมูลที่วัดจริงมาใช้ในการสอนก็ได้

2. ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนสามารถสังเคราะห์ได้จากการวัดค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการไหล จากเซนเซอร์ไนเตรท-ไนโตรเจนจริงหรืออาจจะเป็นความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่วัดได้ในห้องปฏิบัติการก็ได้ขึ้นอยู่กับความถูกต้องแม่นยำที่ต้องการและงบประมาณที่มีอยู่

ในการพัฒนาแบบจำลองของ FMRLP ผู้วิจัยมุ่งเน้นเรื่องความชัดเจนของกระบวนการพัฒนามากกว่าประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง จะเห็นได้ว่าการพัฒนาแบบจำลองจะเลือกใช้เครื่องมือทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่มีอยู่แล้วเป็นหลัก

บทที่ 6

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

การตรวจติดตามคุณภาพน้ำและประมาณการปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นในพื้นที่อย่างต่อเนื่องเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยประกอบการตัดสินใจของหน่วยงานและภาคส่วนที่มีความเกี่ยวข้องในการวางแผน ป้องกัน แก้ไขและฟื้นฟูแหล่งน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาให้มีคุณภาพดีขึ้น ทั้งนี้ดัชนีคุณภาพน้ำที่สนใจบางค่าจำเป็นต้องมีการตรวจสอบโดยห้องปฏิบัติการด้านการตรวจสอบคุณภาพน้ำ เช่น ปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำ เป็นต้น ซึ่งการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่องโดยการเก็บตัวอย่างน้ำและตรวจสอบดัชนีคุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการด้านการตรวจสอบคุณภาพน้ำ จะใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตรวจสอบที่สูง (Pongpetch *et al.*, 2015) ดังนั้นแบบจำลองเป็นเครื่องมือทางเลือกอีกรูปแบบหนึ่งที่มีค่าใช้จ่ายน้อยลงในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง ในบทที่ 6 เป็นรายละเอียดการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัด UT16 ในสถานการณ์ต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในประเทศไทย

ในประเทศไทยมีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในหมวดต่างๆ เพื่อควบคุมและรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ มีความปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน และอนุรักษ์ทรัพยากรและสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ

สารประกอบไนโตรเจนเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่ถูกพิจารณาในการประเมินคุณภาพน้ำ เพราะอาจก่อให้เกิดปัญหาในด้านต่างๆ เช่น ยูโทรฟิเคชัน เป็นต้น ดังนั้นมาตรฐานเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและคุณภาพน้ำทิ้งจึงมีข้อกำหนดเกี่ยวกับค่าสารประกอบไนโตรเจน โดยสารประกอบไนโตรเจนที่ถูกกำหนดในมาตรฐานต่างๆ มีด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น ไนเตรท-ไนโตรเจน ไนโตรเจนทั้งหมด เป็นต้น จากการรวบรวมมาตรฐานคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง พบว่ามีการกำหนดมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับไนโตรเจนแสดงดังตารางที่ 6.1 ถึงตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับไนเตรท

เรื่อง	พารามิเตอร์	ค่า	พ.ศ.
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค	ไนเตรท	ไม่เกิน 45 mg/L	2521
มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	ไม่เกิน 4.0 mg/L	2534
มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	ไม่เกิน 5.0 mg/L	2537
มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค	ไนเตรท	ไม่เกิน 45 mg/L	2552

ตารางที่ 6.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจน (โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม)

เรื่อง	พารามิเตอร์	ค่า	พ.ศ.
กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน	TKN	ไม่มากกว่า 100 mg/L	2539
กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ฉบับที่ 2 1. โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเครื่องปรุง หรือเครื่องประกอบอาหารประเภทการทำเครื่องปรุง กลิ่น รส หรือสีของอาหาร 2. โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับอาหารสัตว์ ประเภทการทำอาหารผสมหรืออาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงสัตว์	TKN	ไม่มากกว่า 200 mg/L	2539
กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	TKN	ไม่มากกว่า 100 mg/L หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้แต่ต้องไม่มากกว่า 200 mg/L	2539

ตารางที่ 6.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจน (ชุมชน)

เรื่อง	พารามิเตอร์	ค่า	พ.ศ.
กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร บางประเภทและบางขนาด ประเภท ก. และ ข.	TKN	ไม่เกิน 35 mg/L	2548
กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร บางประเภทและบางขนาด ประเภท ค.และ ง.	TKN	ไม่เกิน 40 mg/L	2548
ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากที่ดินจัดสรร เกิน 100 แปลง แต่ไม่เกิน 500 แปลง	TKN	ไม่เกิน 35 mg/L	2548
ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากที่ดินจัดสรร เกินกว่า 500 แปลง ขึ้นไป	TKN	ไม่เกิน 35 mg/L	2548
กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากที่ดิน จัดสรร	TKN	ไม่เกิน 35 mg/L	2549
กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบ บำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน	TN	ไม่เกิน 20 mg/L	2553
มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทาง น้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่ โครงการชลประทาน	TKN	ไม่เกิน 35 mg/L	

ตารางที่ 6.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจน (ฟาร์มและบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์)

เรื่อง	พารามิเตอร์	ค่า	พ.ศ.
มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์ม สุกร มาตรฐาน ก	TKN	ไม่เกิน 120 mg/L	2544
มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์ม สุกร มาตรฐาน ข	TKN	ไม่เกิน 200 mg/L	2544
มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยง สัตว์น้ำชายฝั่ง	TN	ไม่เกิน 4.0 mg/L	2547
มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยง สัตว์น้ำกร่อย	TN	ไม่เกิน 4.0 mg/L	2550
มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยง สัตว์น้ำจืด มาตรฐาน ข	TN	ไม่เกิน 4.0 mg/L	2551
มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยง สัตว์น้ำจืด มาตรฐาน ค พื้นที่มากกว่าหรือเท่ากับ 10 ไร่	TN	ไม่เกิน 4.0 mg/L	2551

จากการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนที่แสดงในบทที่ 5 มีการคำนวณภาระบรรทุกไนโตรเจนซึ่งใช้ข้อมูลการปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยคำนวณภาระบรรทุกไนโตรเจนจากอัตราการไหลและค่าสูงสุดที่กฎหมายกำหนดให้สามารถปล่อยสารประกอบไนโตรเจนได้ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองจะมีการกำหนดสถานการณ์โดยอ้างอิงค่าสูงสุดที่กฎหมายกำหนดให้สามารถปล่อยสารประกอบไนโตรเจนได้ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานที่แสดงในตารางที่ 6.2

6.2 การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ)

คลองอู่ตะเภามีความสำคัญโดยเป็นแหล่งน้ำดิบที่ผลิตน้ำประปาเพื่อจำหน่ายและให้บริการใน อ.หาดใหญ่ และอ.สะเดา ระยะทางตลอดลำน้ำไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรม แหล่งชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จนกระทั่งถึงจุดสูบน้ำดิบของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (กปภ. สาขาหาดใหญ่) ที่ตั้งอยู่บริเวณท้ายน้ำหรือต่งน้ำ จึงเป็นจุดที่มีความเสี่ยงต่อคุณภาพน้ำดิบที่มีการปนเปื้อนมลพิษต่าง ๆ การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ มีพื้นที่จำหน่ายและให้บริการน้ำประปาในอำเภอหาดใหญ่สรุปได้ดังตารางที่ 6.5 และข้อมูลการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่แสดงดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.5 พื้นที่จำหน่ายและให้บริการน้ำประปาในอำเภอหาดใหญ่ของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่

เขตจำหน่ายน้ำ	พื้นที่ (ตร.กม.)
ท.นครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่	21.00
ทต.บ้านพรุ , คลองแห , ควนลัง , คอหงส์ , นำน้อย อ.หาดใหญ่	17.97
รวม	38.97

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ ณ เดือนเมษายน 2560

ตารางที่ 6.6 ข้อมูลสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่

ประเภท	จำนวน	หน่วย
จำนวนผู้ใช้น้ำทั้งหมด	78,259	ราย
กำลังผลิตที่ใช้งาน	194,400	ลบ.ม./วัน
ปริมาณน้ำผลิต	2,428,534	ลบ.ม.
ปริมาณน้ำผลิตจ่าย	2,183,867	ลบ.ม.
ปริมาณน้ำจำหน่าย	1,830,694	ลบ.ม.

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ ณ เดือนเมษายน 2560

นอกจากในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่แล้วการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ยังให้บริการพื้นที่โดยรอบได้แก่ อ.นาหม่อม อ.บางกล่ำ อ.คลองหอยโข่ง และยังจัดส่งน้ำเพื่อให้บริการในพื้นที่จ่ายน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาสงขลาด้วย

จากข้อมูลพื้นที่จำหน่ายและให้บริการน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงถึงความสำคัญของคุณภาพน้ำในคลองอู่ตะเภา หากสถานการณ์คุณภาพน้ำในคลองอู่ตะเภามีแนวโน้มของคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เสื่อมโทรมลง เช่น ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าสูงสุด 14.9 mg/L ดังแสดงในตารางที่ 3.11 ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินดังแสดงในตารางที่ 6.1 ถึง 2 เท่า จะส่งผลต่อประชากรผู้ใช้น้ำจำนวนมากในพื้นที่จำหน่ายและให้บริการน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ การมีแบบจำลองการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนในคลองอู่ตะเภาบริเวณจุดตรวจวัดคุณภาพ UT16 จึงเป็นประโยชน์ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำให้กับการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่

จากการสัมภาษณ์ผู้บริหารและปฏิบัติกรของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ เรื่องข้อเสนอแนะแนวทางแก้ไขปรับปรุงแบบจำลองการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนในคลองอู่ตะเภาและแนวทางการบริหารจัดการคุณภาพน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ ในวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2560 สามารถสรุปประเด็นหลักเกี่ยวกับคุณภาพน้ำได้ 4 ประเด็นดังนี้

6.2.1 ปัญหาด้านคุณภาพน้ำ

จากการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติการที่ดูแลเรื่องคุณภาพน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่พบว่าดัชนีคุณภาพน้ำที่มีปัญหาบริเวณจุดสูบน้ำดิบ (บริเวณ UT16) ในปี 2557 และ 2558 คือแอมโมเนียและสีในน้ำตามลำดับ ในส่วนของความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน สาหร่ายและค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าสูงในช่วงหน้าแล้งหรือฝนทิ้งช่วง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำจะสูงขึ้นในช่วงหน้าแล้ง โดยความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนจะเกี่ยวพันกับอัตราการไหลเพราะช่วงหน้าแล้งกรมชลประทานจะมีการปิดประตูน้ำ ทำให้น้ำค่อนข้างนิ่ง อัตราการไหลต่ำมากประมาณ $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนบริเวณ UT16 จะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้จากการตรวจวัดความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน พบว่าบางวันค่าไนเตรท-ไนโตรเจนที่ตรวจวัดได้จะมีค่าไม่เท่ากันทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ทั้งนี้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่บริเวณจุดสูบน้ำดิบพบว่าแหล่งมลพิษน้ำจะมาจากน้ำเสียชุมชน เนื่องจากสารเคมีอื่นไม่พึงประสงค์ที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมน่าจะสลายไปบางส่วน

6.2.2 เทคโนโลยีที่ใช้อยู่และความต้องการเพื่อแก้ปัญหาคุณภาพน้ำ

จากการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติการของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ได้ข้อมูลว่าปกติการบำบัดน้ำดิบจะบำบัดน้ำด้วย DO สารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Poly Aluminum Chloride: PAC) และคลอรีน ซึ่งปัจจุบันพยายามเปลี่ยนมาใช้ชนิดน้ำและแก๊ส เมื่อสูบน้ำขึ้นมา

และมีสาหร่ายปะปนมาด้วยจะบำบัดด้วยคลอรีน ถ้ามีแอมโมเนียมาเสริมจะใช้คลอรีนมากขึ้น เพราะต้องบำบัดแอมโมเนียด้วยและกำจัดสาหร่ายด้วย โดยไนเตรท-ไนโตรเจนเป็นปัจจัยตัวหนึ่ง ในการทำให้สาหร่ายเจริญเติบโต ในส่วนของค่าใช้จ่ายหลักในการบำบัดน้ำคือค่าสารเคมี

ในปัจจุบันการประปาหาดใหญ่ได้พัฒนาระบบ QC online ซึ่งเป็นระบบ SCADA เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตและจ่ายน้ำซึ่งจะประมวลผลข้อมูลเพื่อให้สามารถบริหารจัดการให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีการจ่ายสารเคมีแบบอัตโนมัติตามการคำนวณ ปริมาณสารเคมีในแต่ละช่วงเวลา ทั้งนี้ระบบ QC online เป็นระบบที่ตอบสนองต่อนโยบาย Thailand 4.0 ของรัฐบาล ทีมพัฒนาระบบ QC online กำลังพัฒนาระบบการพยากรณ์ค่าดัชนี คุณภาพน้ำจึงมีความต้องการสมการหรือตัววัดทดแทนที่สามารถใช้พยากรณ์ดัชนีคุณภาพน้ำตัวอื่นเพื่อช่วยในการประหยัดงบประมาณในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด โดยพารามิเตอร์ที่สนใจคือ ค่าความขุ่น ค่าการนำไฟฟ้า และความเป็นกรดและด่าง โดยระบบสุดท้ายที่ทีมพัฒนาระบบ QC online ต้องการ คือระบบผลิตน้ำแบบอัตโนมัติที่ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดดัชนีคุณภาพน้ำน้อยลงซึ่งสามารถปรับการเติมสารเคมีได้โดยอัตโนมัติ

6.2.3 การใช้ประโยชน์แบบจำลอง

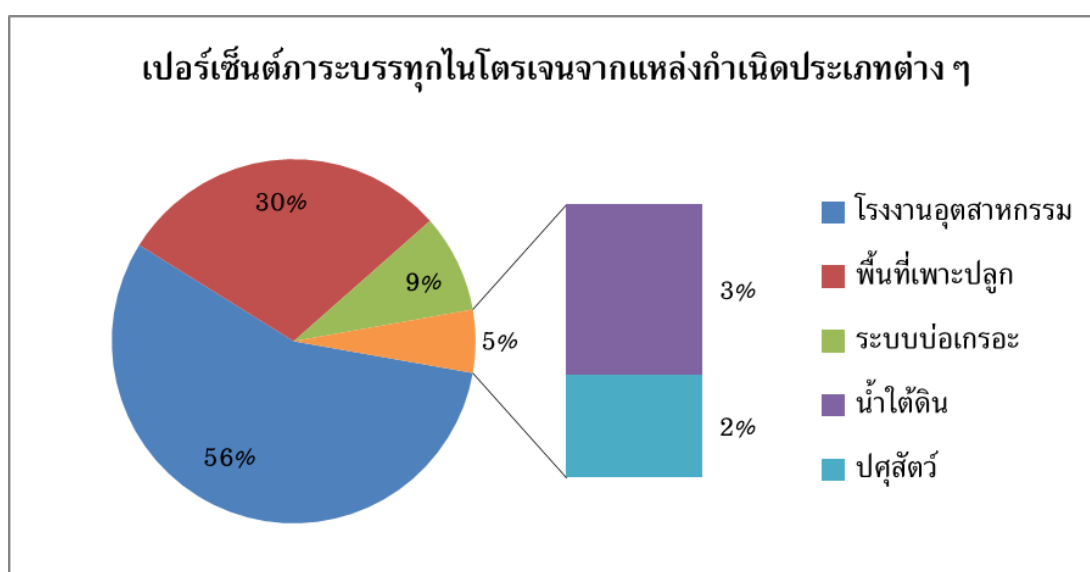
การใช้ประโยชน์แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายความเข้มข้นของ ไนเตรท-ไนโตรเจนในคลองอุต๊ะเกาสสามารถช่วยเติมเต็มข้อมูลในส่วนที่ขาดหายไปจากการเก็บ ตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนด้วยการพยากรณ์จากแบบจำลอง โดยเจ้าหน้าที่ของ การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่เสริมว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนาย ปริมาณไนเตรทในคลองอุต๊ะเกาสจะช่วยในเรื่องเฝ้าระวังและแจ้งเตือน (Warning System) ทำให้ สามารถตั้งรับกับปัญหาและแก้ไขสถานการณ์คุณภาพน้ำได้ทันทั่วทั้ง

6.2.4 ความร่วมมือในการแก้ปัญหาคุณภาพน้ำกับมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

จากการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติการของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ใน ส่วนของทีมพัฒนาพัฒนาระบบ QC online พบว่าการประปาส่วนภูมิภาคมีการตรวจวัดดัชนี คุณภาพน้ำ คือ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ความขุ่น ค่าการนำไฟฟ้า ความเค็ม ORP อุณหภูมิ และ ความเป็นกรดและด่าง ที่บริเวณสะพานวัดบางศาลา การประปาส่วนภูมิภาคสาขาพังงา การ ประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ โดยมีการตรวจวัดและเก็บข้อมูลทุก 10 นาที ส่งผลให้มีข้อมูล ดัชนีคุณภาพน้ำเหล่านี้จำนวนมาก จึงอยากมีความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ในการ วิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรคุณภาพน้ำซึ่งจะนำไปใช้เป็นตัววัดทดแทนในการ พยากรณ์ดัชนีคุณภาพน้ำตัวอื่นต่อไป

6.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

แบบจำลอง GWLF ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนบริเวณจุดตรวจวัด UT16 บนพื้นที่ศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาซึ่งเป็นบริเวณที่มีความสำคัญดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผลจากแบบจำลอง GWLF พบว่าแหล่งอุตสาหกรรมและการเกษตรกรรมก่อให้เกิดภาระบรรทุกไนโตรเจนสูงที่สุดคิดเป็น 56 % และ 30% ของภาระบรรทุกไนโตรเจนทั้งหมด โดยเปอร์เซ็นต์ภาระบรรทุกไนโตรเจนจากแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ ที่ประมาณการโดยแบบจำลอง GWLF แสดงดังภาพที่ 6.1



ภาพที่ 6.1 เปอร์เซ็นต์ภาระบรรทุกไนโตรเจนจากแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ

ทั้งนี้ภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมใช้ข้อมูลปริมาณน้ำที่มีการระบายออกจากโรงงานที่แสดงในภาคผนวก ตารางที่ 1 และค่าสูงสุดที่กฎหมายกำหนดให้สามารถปล่อยสารประกอบไนโตรเจนได้ (TKN=100 หรือ 200 mg/l ตามประเภทของโรงงาน) ซึ่งแสดงในตารางที่ 6.2 โดยเมื่อเทียบสัดส่วนของภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดจากแหล่งอุตสาหกรรมกับระบบบ่อเกรอะ (Septic System) ซึ่งใช้ข้อมูลประชากรที่ลงทะเบียนในพื้นที่ศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาปี พ.ศ. 2555 จำนวนประชากรประมาณ 193,000 คนเป็นตัวแทนในการประมาณภาระบรรทุกไนโตรเจน พบว่าหากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการระบายน้ำออกจากโรงงานสูงที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่มีความเข้มข้นของ TKN สูงที่สุดตามที่กฎหมายกำหนดจะมีภาระบรรทุกไนโตรเจนเทียบเท่ากับภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดจากระบบบ่อเกรอะทั้งพื้นที่ซึ่งมีค่าภาระบรรทุกไนโตรเจนประมาณ 1,900 kg/day จากผลการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนของแบบจำลอง GWLF ผู้วิจัยจึงสนใจประยุกต์ใช้แบบจำลองประมาณการภาระ

บรรทุกไนโตรเจนเมื่อโรงงานอุตสาหกรรมมีการปล่อยน้ำน้อยกว่าและมากกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจนของโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และการบำบัดน้ำเสียชุมชนในพื้นที่ศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

6.3.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในเรื่องการบำบัดน้ำเสียชุมชน

จากการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติการของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ พบว่าปัญหาคุณภาพน้ำที่พบบริเวณจุด UT16 น่าจะเกิดจากน้ำเสียชุมชน ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อจำลองสถานการณ์ที่มีการบำบัดน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยมีสถานการณ์จำลอง 3 สถานการณ์ ซึ่งแนวคิดในการจำลองสถานการณ์ คือ การมีการบำบัดน้ำเสียชุมชนในพื้นที่เทศบาลของอำเภอหาดใหญ่และอำเภอสะเดา ซึ่งเทศบาลในอำเภอหาดใหญ่ที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยเทศบาลตำบลควนลังค์และบ้านพรุ ในส่วนของอำเภอสะเดามีพื้นที่เทศบาล คือ ปริก ปาดังเบซาร์ พังลา สะเดา สำนักขาม และเป็นที่มาของสถานการณ์จำลอง A และ B ตามลำดับ ในส่วนของสถานการณ์ C จะจำลองการบำบัดน้ำเสียชุมชนของพื้นที่เทศบาลทั้งในอำเภอหาดใหญ่และอำเภอสะเดา โดยสถานการณ์จำลองทั้งหมดจะใช้ข้อมูลจำนวนประชากรปี 2555 ที่ลงทะเบียนในพื้นที่เทศบาลที่กล่าวมาข้างต้นและคิดจำนวนประชากร 80 % ของจำนวนประชากรที่ลงทะเบียนในพื้นที่เทศบาลที่เข้าถึงระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยสถานการณ์จำลอง A มีการบำบัดน้ำเสียรวมครอบคลุมประชากร 4 % ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา สถานการณ์จำลอง B มีการบำบัดน้ำเสียรวมครอบคลุมประชากร 8.5 % ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาและสถานการณ์จำลอง C มีการบำบัดน้ำเสียรวมครอบคลุมประชากร 12.5 % ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา ซึ่งผลการจำลองสถานการณ์แสดงดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ผลการจำลองที่เกิดจากการมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมในพื้นที่เทศบาล

สถานการณ์จำลอง	เทศบาลที่มีระบบบำบัดน้ำเสียรวม	TN Load (kg/year)		เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง
		ค่าเริ่มต้นก่อนมีระบบ	ค่าหลังจากมีระบบ	
A	ควนลังค์ บ้านพรุ	2,699,995	2,668,644	1.2
B	ปริก ปาดังเบซาร์ พังลา สะเดา สำนักขาม	2,699,995	2,637,007	2.3
C	ควนลังค์ บ้านพรุ ปริก ปาดังเบซาร์ พังลา สะเดาสักขาม	2,699,995	2,605,655	3.5

6.3.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในเรื่องมาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม

จากผลการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนภายใต้เงื่อนไขที่กล่าวมาข้างต้น บริเวณจุด UT16 บนพื้นที่ศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาที่แสดงดังภาพที่ 6.1 ผู้วิจัยจึงสนใจการจำลองสถานการณ์ภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดจากแหล่งอุตสาหกรรมและประเทศไทย มีมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่แสดงดังตารางที่ 6.2 เพื่อควบคุมและรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำให้เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองโดยกำหนดสถานการณ์ในการระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ให้มีการปล่อยน้ำทิ้งเกินและน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นการจำลองสถานการณ์ในการปล่อยน้ำทิ้งเกินและน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมและจะใช้ค่า TKN เท่ากับ 100 และ 200 mg/l เป็นเกณฑ์ในการเพิ่มและลดความเข้มข้นของ TKN โดยมีสถานการณ์จำลอง 4 สถานการณ์ ดังนี้

6.3.2.1 สถานการณ์จำลอง A B และ C เป็นการจำลองสถานการณ์ที่กำหนดให้โรงงานอุตสาหกรรมระบายน้ำออกจากโรงงานน้อยกว่าค่า TKN สูงที่สุดตามที่กฎหมายกำหนด 10% 20% และ 50% ตามลำดับ

6.3.2.2 สถานการณ์จำลอง D เป็นการจำลองสถานการณ์ที่กำหนดให้โรงงานอุตสาหกรรมระบายน้ำออกจากโรงงานเกินกว่าค่า TKN สูงที่สุดตามที่กฎหมายกำหนด 10% ผลการจำลองสถานการณ์ในปี 2559 แสดงดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ผลกระทบที่เกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งเกินและน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมในปี 2559

สถานการณ์จำลอง	เปอร์เซ็นต์การปล่อยน้ำทิ้งเกินและน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง		TN Load (kg/year)		เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง
	น้อยกว่า	มากกว่า	ค่าเริ่มต้น	ค่าหลังการเปลี่ยนแปลง	
A	10		2,699,995	2,545,428	ลดลง 5.7
B	20		2,699,995	2,390,862	ลดลง 11.4
C	50		2,699,995	1,927,162	ลดลง 28.6
D		10	2,699,995	2,854,561	เพิ่มขึ้น 5.7

จากผลการจำลองสถานการณ์ที่แสดงดังตารางที่ 6.7 และ ตารางที่ 6.8 พบว่าการปล่อยน้ำทิ้งเกินและน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในคลองอู่ตะเภามากกว่าการมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมในพื้นที่เทศบาล ภายใต้เงื่อนไขที่ใช้มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งสูงสุดที่กฎหมายอนุญาตเป็นตัวกำหนดสถานการณ์ แต่

เมื่อพิจารณาเฉพาะน้ำเสียชุมชนจะพบว่า การมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมในพื้นที่เทศบาลจะช่วยลดปริมาณน้ำเสียจากชุมชนได้สูงถึง 39 % ซึ่งรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ผลการจำลองที่เกิดจากการมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมในพื้นที่เทศบาลโดยพิจารณาเฉพาะน้ำเสียชุมชน

สถานการณ์จำลอง	เทศบาลที่มีระบบบำบัดน้ำเสียรวม	TN Load (kg/year)		เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง
		ค่าเริ่มต้นก่อนมีระบบ	ค่าหลังจากมีระบบ	
A	ควนลัง บ้านพรุ	240,140	208,788	13.1
B	ปริก ปาดังเบซาร์ พังลา สะเดา สำนักขาม	240,140	177,152	26.2
C	ควนลัง บ้านพรุ ปริก ปาดังเบซาร์ พังลา สะเดาสำนักขาม	240,140	145,800	39.3

6.4 แผนบริหารจัดการการระบรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา

จากการประเมินภาพรวมของคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาด้วยวิธีดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปและวิธีการจัดกลุ่มแบบเคมินพบว่าในปี พ.ศ. 2557-2558 คุณภาพน้ำมีเกณฑ์เสื่อมโทรมลงจากปี พ.ศ. 2554-2556 ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1.4 ซึ่งเมื่อพิจารณาบริเวณจุดตรวจวัด UT16 ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ มีค่าไนเตรท-ไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 13.8 mg/L โดยมีการตรวจวัดในช่วงเดือนธันวาคม 2557-มิถุนายน 2558 ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินดังแสดงในตารางที่ 6.1 ถึง 2 เท่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอเสนอแนวทางในการบริหารจัดการการระบรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา โดยใช้แนวคิดหรือแนวปฏิบัติมาจากการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติการของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ตามหัวข้อ 6.2 และการประยุกต์ใช้แบบจำลองในสถานการณ์ตามหัวข้อ 6.3 โดยมุ่งเน้นในเรื่องการจัดการการระบรทุกไนโตรเจนจากน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยแบ่งแผนบริหารจัดการคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกาเป็น 3 ระยะ ดังนี้

6.4.1 แผนบริหารจัดการคุณภาพน้ำระยะสั้น

6.4.1.1 สร้างความรู้ ความเข้าใจ ความร่วมมือและการมีส่วนร่วมของประชาชนและหน่วยงานภาครัฐในการควบคุม ป้องกันและแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม

6.4.1.2 ส่งเสริมให้ร้านอาหาร และครัวเรือนหรืออาคารมีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก หรือมีการติดตั้งถังดักไขมัน เพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

6.4.1.3 พัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนเมื่อดัชนีคุณภาพน้ำเกี่ยวกับไนโตรเจนสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำหรือมีค่าผิดปกติ เช่น การประสานส่วนภูมิภาคสาขาหาดใหญ่ได้พัฒนาระบบ QC Online ที่มีการประมาณการดัชนีคุณภาพน้ำบางค่าและมีแผนที่จะพัฒนาเป็นระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนต่อไป เป็นต้น

6.4.2 แผนบริหารจัดการคุณภาพน้ำระยะกลาง

6.4.2.1 ศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพในการรองรับมลพิษและภาระบรรทุกไนโตรเจนของแต่ละพื้นที่เพื่อกำหนดมาตรการลดมลพิษ และพัฒนามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งให้เหมาะสม โดยในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในสถานการณ์ตามหัวข้อ 6.3 พบว่าหากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการระบายน้ำออกจากโรงงานสูงที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่มีความเข้มข้นของ TKN สูงที่สุดตามที่กฎหมายกำหนดจะมีภาระบรรทุกไนโตรเจนเทียบเท่ากับภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดจากระบบบ่อเกรอะทั้งพื้นที่ ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยเพิ่มเติมในหลายพื้นที่เพื่อพัฒนามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งเกี่ยวกับไนโตรเจนให้เหมาะสมกับทุกพื้นที่

6.4.2.2 เพิ่มประสิทธิภาพการบังคับใช้และปฏิบัติตามกฎหมาย และผลักดันกฎหมายที่เหมาะสมและสอดคล้องกับสถานการณ์ เช่น การผลักดันมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งเกี่ยวกับไนโตรเจนที่ถูกวิจัยเพื่อหาความเหมาะสมในทุกพื้นที่ให้มีการบังคับใช้

6.4.2.3 ดำเนินการให้มีก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก เพื่อบำบัดน้ำเสียจากชุมชน และสนับสนุนให้มีการเดินระบบบำบัดน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่อง

6.4.3 แผนบริหารจัดการคุณภาพน้ำระยะยาว

6.4.3.1 ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียให้ประหยัดเวลาหรือต้นทุนกว่าเทคโนโลยีที่มีอยู่ โดยร่วมมือกับนักวิจัยหรือบุคลากรทางการศึกษาให้มีการวิจัยอย่างต่อเนื่องและส่งเสริมให้พัฒนาต่อยอดให้สามารถนำมาใช้บำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียได้จริง

6.4.3.2 ดำเนินการให้มีการก่อสร้างหรือซ่อมแซมระบบบำบัดน้ำเสียรวมและใช้งานระบบอย่างเต็มประสิทธิภาพและต่อเนื่องในการบำบัดน้ำเสียรวม โดยการผลักดันให้มีการจัดเก็บค่าบริการการบำบัดน้ำเสียรวม เพื่อใช้ในการจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าในและบำรุงรักษาระบบ รวมถึงการซ่อมแซมเครื่องจักรและอุปกรณ์อื่นๆ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองในสถานการณ์ตามหัวข้อ 6.3 พบว่า

จากแผนบริหารจัดการคุณภาพน้ำในคลองอุต๊ะเกาที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 แผนบริหารจัดการภาระบรรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุต๊ะเกาะยะสัน

แนวทางปฏิบัติ	ปัญหา	มาตรการหรือโครงการ	ผู้ที่เกี่ยวข้อง	ระยะเวลา
แผนระยะสั้น 1.สร้างความรู้ ความเข้าใจ ความร่วมมือและการมีส่วนร่วมของประชาชนและหน่วยงานภาครัฐในการควบคุม ป้องกันและแก้ไขปัญหาคูณภาพน้ำเสื่อมโทรม	1. ขาดการรณรงค์ประชาสัมพันธ์ให้ข้อมูลข่าวสารแก่ประชาชนและชุมชนอย่างต่อเนื่อง 2. ชุมชนและประชาชนไม่เข้าใจและไม่มีความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมและมลพิษ 3. เกิดข้อขัดแย้งทางความคิดและการดำเนินการระหว่างประชาชนและหน่วยงานภาครัฐ	1.โครงการรณรงค์ประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและมลพิษ 2.ปรับเปลี่ยนวิธีการดำเนินงานของหน่วยงานภาครัฐให้เข้าถึงพื้นที่และใกล้ชิดประชาชนและชุมชน	1.องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 2. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	1-2 ปี
2.ส่งเสริมให้ร้านอาหาร และครัวเรือนหรืออาคารมีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก หรือมีการติดตั้งถังดักไขมัน เพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้ตามมาตรฐานที่กำหนด	1.ร้านอาหาร และครัวเรือนไม่มีการติดตั้งถังดักไขมัน 2.อาคารขนาดเล็กไม่มีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก	1.ส่งเสริมให้ร้านอาหาร และครัวเรือนหรืออาคารมีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก หรือมีการติดตั้งถังดักไขมัน 2.ควบคุมอาคารขนาดใหญ่ให้มีการติดตั้งและเดินระบบบำบัดน้ำเสีย	1.องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 2.กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	3 ปี
3.พัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนเมื่อดัชนีคุณภาพน้ำเกี่ยวกับไนโตรเจนสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำหรือมีค่าผิดปกติ	ขาดการติดตามตรวจสอบดัชนีคุณภาพน้ำเกี่ยวกับไนโตรเจนที่เป็นระบบอย่างต่อเนื่อง	1.พัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนเมื่อดัชนีคุณภาพน้ำเกี่ยวกับไนโตรเจนสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำหรือมีค่าผิดปกติ 2.นาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนไปดำเนินการติดตั้งและตรวจสอบในพื้นที่ที่มีความเสี่ยง	1.การประสานส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ 2.กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 3.องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	3 ปี

ตารางที่ 6.11 แผนบริหารจัดการการระบรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาระยะกลาง

แนวทางปฏิบัติ	ปัญหา	มาตรการหรือโครงการ	ผู้ที่เกี่ยวข้อง	ระยะเวลา
แผนระยะกลาง 1.ศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพในการรองรับมลพิษของแต่ละพื้นที่เพื่อกำหนดมาตรการลดมลพิษและพัฒนามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งให้เหมาะสม	แต่ละพื้นที่มีศักยภาพในการรองรับมลพิษหรือการระบรทุกไนโตรเจนได้ไม่เท่ากัน	1.วิจัยและพัฒนามาตรการลดมลพิษหรือการระบรทุกไนโตรเจนเพื่อให้สอดคล้องในทุกพื้นที่ 2.พัฒนามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งเกี่ยวกับไนโตรเจนให้เหมาะสม	1.กระทรวงอุตสาหกรรม 2.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 3.กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 4.มหาวิทยาลัยทั้งภาครัฐและเอกชน	3-5 ปี
2.ผลักดันกฎหมายที่เหมาะสมและสอดคล้องกับสถานการณ์และเพิ่มประสิทธิภาพการบังคับใช้ และปฏิบัติตามกฎหมาย	ขาดการตรวจสอบและบังคับใช้กฎหมายในการกำกับดูแลแหล่งกำเนิดมลพิษอย่างต่อเนื่อง	1.เพิ่มศักยภาพการปฏิบัติงานและบังคับใช้กฎหมาย 2.ผลักดันกฎหมายหรือมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่เหมาะสม	1.องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 2.กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 3.กระทรวงอุตสาหกรรม	5 ปี
3.ดำเนินการให้มีก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก เพื่อบำบัดน้ำเสียจากชุมชน	ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยน้ำเสียชุมชนเป็นสาเหตุหนึ่งที่เกิดการระบรทุกไนโตรเจนและความเข้มข้นของไนโตรเจนที่สูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	1.ผลักดันและส่งเสริมให้มีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน 2.พัฒนาบุคลากรในด้านทักษะและการบริหารจัดการเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	1.องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 2.กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	5 ปี

ตารางที่ 6.12 แผนบริหารจัดการภาวะบรรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุทะเกาะระยะยาว

แนวทางปฏิบัติ	ปัญหา	มาตรการหรือโครงการ	ผู้ที่เกี่ยวข้อง	ระยะเวลา
แผนระยะยาว 1.ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสีย	เทคโนโลยีที่มีอยู่เดิมมีต้นทุนสูงในการบำบัดน้ำเสียปริมาณมาก เช่น น้ำเสียจากชุมชน เป็นต้น	1.โครงการทุนวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียให้ประหยัดเวลาหรือต้นทุนกว่าเทคโนโลยีที่มีอยู่ 2.ส่งเสริมให้สามารถนำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาใช้บำบัดน้ำเสียจริง	1.สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) 2.กระทรวงอุตสาหกรรม 3.กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 4.มหาวิทยาลัยทั้งภาครัฐและเอกชน	5-10 ปี
2.ดำเนินการให้มีการก่อสร้างหรือซ่อมแซมระบบบำบัดน้ำเสียรวมและใช้งานระบบอย่างเต็มประสิทธิภาพและต่อเนื่องในการบำบัดน้ำเสียรวม	1. ไม่มีระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน 2.ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนเดิม ไม่สามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ	1. โครงการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน 2. โครงการซ่อมแซมระบบบำบัดน้ำเสีย 3. แผนการจัดเก็บค่าบริการการบำบัดน้ำเสียรวม	1.องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 2.กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	5-10 ปี

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผล

1. คุณภาพน้ำในคลองอุต๊ะเกาถูกประเมินด้วยการใช้เทคนิคดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปและจัดกลุ่มคุณภาพน้ำด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบเคมีน ซึ่งประเมินจากคุณภาพน้ำ 5 พารามิเตอร์ คือ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ แบบที่เรียกกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด แบบที่เรียกกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม และความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน จากผลการวิเคราะห์พบว่าคุณภาพน้ำมีแนวโน้มเสื่อมโทรมมากขึ้นบริเวณจุดตรวจวัด UT07 UT09 UT16 และ UT21 โดยเฉพาะบริเวณ UT21 ซึ่งเป็นปลายน้ำของคลองอุต๊ะเกา และจุดตรวจวัดที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมที่สุดจะอยู่บริเวณที่มีโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนบริเวณจุดตรวจวัด UT03 UT05 และ UT18

2. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีคุณภาพน้ำบ่งบอกค่าการนำไฟฟ้าและความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันในช่วงฤดูฝนโดยเฉพาะฤดูฝนช่วงหลังจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุดในทุกจุดตรวจวัด ในส่วนของฤดูแล้งยังมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำระหว่างค่าการนำไฟฟ้าและความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน นอกจากค่าการนำไฟฟ้าที่พบว่ามีค่าสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนแล้วยังพบว่าความขุ่นและอัตราการไหลยังมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในทิศทางตรงกันข้าม โดยในช่วงฤดูฝนช่วงหลังจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุด

3. โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดที่ใช้ทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนบริเวณสะพานมหาวิทยาลัยหาดใหญ่ (UT16) โดยมีค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการไหลเป็นข้อมูลนำเข้าคือแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ FFBP ซึ่งประกอบด้วย 2 neurons ในชั้นข้อมูลนำเข้า 20 neurons ในชั้นซ่อนที่หนึ่ง 30 neurons ในชั้นซ่อนที่สอง (2-20-30-1) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.913 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.833 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.714 เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการทำนายความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนระหว่างการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นประมาณ 10 % โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบสถาปัตยกรรม FFBP จะทำนายได้ดีเมื่อความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าต่ำกว่า 3.0 mg/L

4. ผลการประมาณการปริมาณน้ำท่าและภาระบรรทุกไนโตรเจนด้วยแบบจำลอง GWLF พบว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองและการตรวจวัดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0.88 และ 0.78 ตามลำดับ ในส่วนของผลการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนกับค่าที่ตรวจวัดพบว่าภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดได้แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.82 และ 0.67 ตามลำดับ ซึ่งผลการจำลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของฝนต่อการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาตอนบนโดยใช้แบบจำลอง SWAT (วรพงศ์ ฤกษ์เกลี้ยง, 2558) โดยปริมาณน้ำฝนมีผลต่อภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาซึ่งภาระบรรทุกไนโตรเจนจะมีค่ามากในช่วงฤดูฝน

5. ข้อมูลที่ได้จากการจำลองด้วยแบบจำลอง GWLF ถูกใช้เป็นข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองอ้างอิงสำหรับแบบจำลอง FMRLP ซึ่งอาศัยหลักการปรับแต่งฟังก์ชันสมาชิกโดยตรวจสอบผลการทำนายที่ได้กับแบบจำลองอ้างอิงและภาระบรรทุกไนโตรเจนที่วัดได้จริง จุดเด่นของแบบจำลองนี้คือความสามารถในการปรับการทำนายให้สอดคล้องกับสภาพของลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาที่อาจจะเปลี่ยนแปลงโดยที่ไม่ต้องอาศัยการปรับแต่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองใหม่ ซึ่งผลการจำลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าภาระบรรทุกไนโตรเจนที่ตรวจวัดจริง โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0.74 และ 0.55 ตามลำดับ และแบบจำลองจะค่อย ๆ ปรับฟังก์ชันสมาชิกเพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลนำเข้าที่เปลี่ยนไปแบบจำลอง FMRLP จะประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนได้ดีในช่วงฤดูแล้งมากกว่าช่วงฤดูฝน

6. จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนในปี 2559 ของพื้นที่ศึกษาพบว่า การปล่อยน้ำทิ้งเกินและน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในคลองอู่ตะเภามากกว่าการมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมในพื้นที่เทศบาล โดยเมื่อมีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมในพื้นที่เทศบาลควนลัง บ้านพรุปรึก ปาดังเบซาร์ พังลา สะเดาและสำนักขาม ครอบคลุมประชากร 80 % ของจำนวนประชากรในเขตเทศบาล และสามารถลดภาระบรรทุกไนโตรเจนได้ 3.5 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะน้ำเสียชุมชนจะพบว่า การมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมในพื้นที่เทศบาลจะช่วยลดปริมาณน้ำเสียจากชุมชนได้สูงถึง 39 % ของน้ำเสียชุมชนทั้งหมด ในส่วนของภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อปล่อยน้ำทิ้งเกินและน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม (100 และ 200 mg/L) 10 % จะเพิ่มและลดปริมาณภาระบรรทุกไนโตรเจนในพื้นที่ศึกษา 5.7 %

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองอ้างอิงจะใช้หลักการเรียนรู้จากแบบจำลองที่เหมาะสมกับพื้นที่นั้น ในการพัฒนานี้ผู้วิจัยเลือกใช้แบบจำลอง GWLF เนื่องจากจะใช้ข้อมูลไม่มากในการพัฒนาแบบจำลอง อย่างไรก็ตามถ้าหากมีแบบจำลองที่พร้อมใช้และมีความแม่นยำสูงกว่า GWLF ผู้ใช้สามารถสอนโครงข่ายประสาทเทียมในโมเดลอ้างอิงใหม่หรืออาจจะใช้ข้อมูลที่ตรวจวัดจริงมาใช้ในการสอนก็ได้

2. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง FMRLP เพื่อประมาณการภาระบรรทุกและความเข้มข้นของไนโตรเจนในสถานะการณ์จำลอง สามารถเพิ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์จำลองได้โดยปรับแก้ข้อมูลนำเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมที่เป็นแบบจำลองอ้างอิง เช่น ในกรณีที่ต้องการจำลองสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียรวมในเทศบาล สามารถเพิ่มข้อมูลประชากรเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้มีการเรียนรู้ในส่วนของคุณภาพประชากรด้วย เป็นต้น

3. หากต้องการให้แบบจำลองมีการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้มากขึ้น สามารถพัฒนาให้ฟังก์ชันสมาชิกของทางด้านข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองมีการปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งอาจเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการประมาณการภาระบรรทุกไนโตรเจนและความเข้มข้นของไนโตรเจนได้เนื่องจากแบบจำลองสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมปัจจุบันได้มากขึ้น โดยวิธีการปรับฟังก์ชันสมาชิกของข้อมูลทางด้านข้อมูลนำเข้าควรศึกษาเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ เช่น Genetic algorithm (GA) หรือ Particle Swarm Optimization (PSO) เพื่อช่วยในการปรับฟังก์ชันสมาชิกของข้อมูลทางด้านข้อมูลนำเข้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

บรรณานุกรม

- กนกพร สว่างแจ้ง. 2547. ขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.
- กรรณิการ์ สิริสิงห. 2544. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- กาญจนา จรรย์ศิริไพศาล สิริภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา และคำรณ สุนัต. 2554. การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี เคอีนเวอร์สฮาร์โมนิกมีน K-Inverse Harmonic Means Clustering Algorithm. KKU Research Journal (Graduate Studies). 11(2), 21-30.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมerkการจัดน้ำเสีย, เล่มที่ 4, มหาวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพมหานคร.
- จิราพร เกียรติวุฒิมร. 2551. โครงข่ายประสาทเทียมแบบปรับตัวเองภายในแบบมีผู้สอนโดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตของความคลุมเครือ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชินนะ สระชุ่ม. 2550. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์อากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ณัฐพงษ์ วาริประเสริฐ และณรงค์ ลำดี. 2552. ปัญญาประดิษฐ์, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัทเคทีพี, กรุงเทพมหานคร.
- ทิพย์อาภา ยลธรรมธรรม. 2558. รายงานประจำปี สำนักจัดการคุณภาพน้ำ พ.ศ. 2558, กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร.
- ธงชัย พรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ, พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร.
- ธนิยา เกาศล. 2545. การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้พืชน้ำร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียในการบำบัดน้ำเสียชุมชน กรณีศึกษา: น้ำเสียชุมชนจากเทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุตรี ลักษณะปัญญากุล. 2544. การใช้โปรแกรมพลวัตในการจัดการคุณภาพน้ำในแม่น้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประทุมพร พันเพ็ง. 2556. การประเมินการสูญเสียดินโดยใช้สมการการสูญเสียดิน, สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน.

- ปิยะฉัตร น้อยสำลี. 2557. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา, คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ. 2556. การทำนายปริมาณตะกอนในลุ่มน้ำภายใต้ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยใช้โปรแกรม SWAT, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่.
- พยุ่ง มีสัจ. 2554. Fuzzy Systems and Neural Networks. ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พิสิฐ ศรีวรานันท์. 2534. การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการปรับปรุงระบบระบายน้ำในเมือง, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- ไพฑูรย์ นาแซง. 2552. การใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและฟัซซีลอจิกเพื่อทำนายกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าก้นเตาบดละเอียด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- วรพงศ์ ฤกษ์เกลี้ยง. 2558. ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของฝนต่อการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาตอนบนโดยใช้แบบจำลอง SWAT. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา). บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศรีรัตน์ สุวรรณคง. 2552. การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการทำนายคุณภาพน้ำในแม่น้ำพอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงานภาคใต้ สำนักศูนย์วิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2553. รายงานการตรวจวัดคุณภาพน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา.
- สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม. 2553. สารสนเทศทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.
- ส่วนเฝ้าระวังทรัพยากรน้ำบาดาล. 2558. รายงานสถานการณ์น้ำบาดาล ประเทศไทย พ.ศ. 2558. สำนักอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สาธิตา บุญแก้ววรรณ. 2556. การประเมินปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตในแม่น้ำยมตอนล่างด้วยแบบจำลอง SWAT. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา). บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2555. ค่าคะแนนรวมของคุณภาพน้ำ 5 พารามิเตอร์ (การคำนวณค่าWQI แบบใหม่).

- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์
โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 1 รายงานสรุป
ผู้บริหาร.
- สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2551. รายงานหลักโครงการประเมินศักยภาพการ
รองรับมลพิษ (Carrying Capacity) ของแหล่งน้ำในทะเลสาบสงขลา (คลองอู่ตะเภา).
- Abler, D., Shortle, J., Carmichael, J. and Horan, R. 2002. Climatic change, agriculture,
and water quality. *Climatic Change*. 55, 339–359.
- Aguilar, J., Cerrada, M., Colina, E. and Titli, A. 2002. Dynamic Adaptive Fuzzy
Systems: an Application on System Identification. 15th Triennial World Congress,
Barcelona, Spain.
- Aldair, A.A. 2012. Neurofuzzy Controller Based Full Vehicle Nonlinear Active Suspension
Systems. Doctor of Philosophy. School of Engineering and Informatics. University
of Sussex.
- Badruzzamana, M., Pinzon J., Oppenheimer J., and Jacangelo G. J.. 2012. Sources of
nutrients impacting surface waters in Florida: A review, *Journal of Environmental
Management* 109; 80–92.
- Barry, M.E. and Kenneth, J.C. 2014. MapShed VERSION 1.1 USERS GUIDE, Penn
State Institutes of Energy and the Environment, The Pennsylvania State University.
- Black, C. W. 2005. A Geographic Information System-based Fuzzy Logic Approach to
Modeling Non-point Source Pollution Critical Areas in The Verde Watershed,
Arizona. Master of Science. School of Natural Resources. The University of
Arizona.
- Borah, D., Yagow, G., Saleh, A., Barnes, P.L., Rosenthal, W., Krug, E.C. and Hauck,
L.M. 2006. Sediment and nutrient modeling for TMDL development and
implementation. *Transactions of the ASAE*. 49, 967–986.
- Bowden, G.J., Maier, H.R and Dandy, G.C. 2005. Input determination for neural network
models in water resources applications. Part 2. Case study: forecasting salinity in a
river. *Journal of Hydrology*. 301(1–4), 93–107.
- Chang, H., Evans, B. and Easterling, D. 2001. Effects of climate change on streamflow
and nutrient loading. *Journal of the American Water Resources Association*. 37,
973–986.
- Choeychuen, K. 2010. Artificial intelligence system computation and design. [Online].
Available

From:http://www.st.kmutt.ac.th/~s8530007/student_files/Computation%20AI/Chapter8ANNOOverview.pdf.

- Clarke, F. 1924. The composition of the river and lake waters of the United States. Data of Geochemistry (5th). United States Geological Survey. 770–841.
- Devendra, K. C. 2008. Soft Computing Techniques and its Applications in Electrical Engineering". Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Edsel, B., Janey, V., Eugene, J., Jessica, R., James, P., and Mark, D. A. 2011. Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review. The Open Hydrology Journal. 5, 26–50.
- Elbisy, M.S., Ali, H.M., Abd-Elall, M.A. and Alaboud, T.M. 2014. The use of feed-forward back propagation and cascade correlation for the neural network prediction of surface water quality parameters. Water Resources. 41(6), 709–18.
- Evans, J.D. 1996. Straightforward statistics for the behavioral sciences. Brooks/Cole Publishing. Pacific Grove. California. USA.
- Farley J.K., College M., Rangarajan S. and Tedesco M.A. 2008. A Decision Support Framework to Facilitate Nitrogen Load Reductions in the LongIsland Sound (LIS) Watershed. HydroQual, Inc. U.S. EPA Long Island Sound Office.
- Fisher, T.R., Hagy III, J.D., Boynton, W.R. and Williams, M.R. 2006. Cultural eutrophication in the Choptank and Patuxent River estuaries of Chesapeake Bay. Limnol. Oceanogr. 51, 435–447.
- Gali, R.K., Soupir, M.L. and Helmers, M.J. 2012. Electrical conductivity as a tool to estimate chemical properties of drainage water quality in the Des Moines Lobe, Iowa. Agricultural and Biosystems Engineering Conference Proceedings and Presentations. Agricultural and Biosystems Engineering. Iowa State University Digital Repository. 209.
- Goyal, S. and Goyal, G.K. 2011. Cascade and feedforward backpropagation artificial neural network models for prediction of sensory quality of instant coffee flavoured sterilized drink. Canadian Journal on Artificial Intelligence, Machine Learning and Pattern Recognition. 2(6), 78–82.
- Haberlandt, U., Krysanova, V. and Bardossy, A. 2002. Assessment of nitrogen leaching from arable land in large river basins Part II: regionalisation using fuzzy rule based modeling. Ecological Modelling, 150, 277–294.

- Haith, D.A., Mandel, R. and Wu, R.S. 1992. GWLF, Generalized Watershed Loading Functions, Version 2.0, User's Manual. Department of Agricultural & Biological Engineering, Cornell University, Ithaca, New York.
- Hanslk, E., Mareov, D., Juranov, E. and Vlnas, R. 2016. Dependence of selected water quality parameters on flow rates in river profiles in the Czech Republic. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 4(2), 127–40.
- Hong, B. and Swaney, D., 2013. Regional Nutrient Management (ReNuMa) Model GWLFXL Version 2.1.1 User's Manual. Cornell University, Ithaca, New York.
- Howarth, R.W., Fruci, J.R. and Sherman, D. 1991. Inputs of sediment and carbon to an estuarine ecosystem: influence of land use. *Ecological Applications*. 1 (1), 27–39.
- Jarvie, H.P., Neal, C. and Withers, P.J.A. 2003. Robinson A, Salter N. Nutrient water quality of the Wye Catchment, UK: exploring patterns and fluxes using the environment agency data archives. *Hydrology and Earth System Sciences*. 7, 722–43.
- Joarder, M.A.M., Raihan, F., Alam, J.B. and Hasanuzzaman, S. 2008. Regression analysis of ground water quality data of Sunamganj District, Bangladesh. *International Journal of Environmental Research*. 2(3), 291–96.
- Kingston, G.B., Lambert, M.F. and Maier, H.R. 2005. Bayesian training of artificial neural networks used for water resources modeling. *Water Resources Research*; 41(12), W12409.
- LabVIEW .2009. PID and Fuzzy Logic Toolkit User Manual. National Instruments Corporation.
- Lavne, J., Passino K. and Yurkvoich, S. 1993. Fuzzy model learning control for antiskid braking systems." *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 1(2), 122–129.
- Layne J. and Passino K. 1995. "Fuzzy model reference learning control. In 1st IEEE Conference Control Applications, Dayton, Ohio, USA, May/June, 1995, 624–632.
- Layne, J. and Passino K. M. 1993. Fuzzy Model Reference Learning Control for Cargo Ship Steering. *IEEE Control Systems Magazine*. 13(6), 23–34.

- Lee, K.-Y., Fisher, T.R. and Rochelle-Newall, R. 2001. Modeling the hydrochemistry of the Choptank River basin using GWLF and Arc/Info: 2. Model application. *Biogeochemistry*. 56, 311–348.
- Lee, K.-Y., Fisher, T.R., Jordan, T.E., Correll, D.L. and Weller, D.E. 2000. Modeling the hydrochemistry of the Choptank River basin using GWLF and Arc/Info: 1. Model calibration and validation. *Biogeochemistry*. 49, 143–173.
- Li, C., Sun, L., Jia, J., Cai, Y. and Wang, X. 2016. Risk assessment of water pollution sources based on an integrated k-means clustering and set pair analysis method in the region of Shiyao. China. *Science of the Total Environment*. 557–558, 307–316.
- Lu, F., Chen, Z., Liu, W. and Shao, H. 2016. Modeling chlorophyll-a concentrations using an artificial neural network for precisely eco-restoring lake basin. *Ecological Engineering*. 95, 422–29.
- Maier, H.R., Jain, A., Dandy, G.C. and Sudheer, K.P. 2010. Methods used for the development of neural networks for the prediction of water resource variables in river systems: Current status and future directions. *Environmental Modelling and Software*. 25(8), 891–909.
- Matthew, J. C., Sanjay, L., and Larry, V. K. 2007. Sources, Transport and Transformations of Nitrate-N in the Florida Environment. School of Forest Resources and Conservation. University of Florida.
- Mayhan, P. and Washington, G.N. 1999. Fuzzy Model Reference Learning Control: A new Control Paradigm for Smart Structures. *Smart Materials and Structures*. 7, 874–884.
- Miguntanna, N.S. 2009. Determining a set of surrogate parameters to evaluate urban stormwater quality. Masters by Research Thesis. Queensland University of Technology.
- Miguntanna, N.S., Egodawatta, P., Kokot, S. and Goonetilleke, A. 2010. Determination of a set of surrogate parameters to assess urban stormwater quality. *Science of the Total Environment*. 408(24), 6251–59.
- Mosley, L.M. 2015. Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth-Science Reviews*. 140, 203–214.

- Nazir, H.M., Hussain, I., Zafar, M.I., Ali, Z. and AbdEl-Salam, N.M. 2016. Classification of drinking water quality index and identification of significant factors. *Water Resources Management*. 30(12), 4233–4246.
- Nhantumbo, C., Larsson, R., Larson, M., Juzo, D. and Persson, K.M. 2016. A simplified model to estimate the concentration of inorganic ions and heavy metals in rivers. *Water*. 8(10), 1–17.
- Ordonez, R., Zumberge, Jon., Spooner T.J. and Passino M.K. 1997. Adaptive Fuzzy Control: Experiments and Comparative Analyses. *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*. 5(2), 167–187.
- Pongpetch, N., Suwanwaree, P., Yossapol, C., Dasananda, S. and Kongjun, T. 2015. Using SWAT to assess the critical areas and nonpoint source pollution reduction best management practices in Lam Takong river basin, Thailand. *EnviromentAsia*. 8(1), 41–52.
- Radcliffe, D.E. and Cabrera, M.L. 2006. *Modeling Phosphorus in the Environment*. 1st ed, CRC Press, New York, USA.
- Rankovi V., Jasna, R., Ivana, R., Ostoji, A. and Ljiljana, C. 2010. Neural network modeling of dissolved oxygen in the Gruza reservoir. Serbia. *Ecological Modelling*. 221, 1239–1244.
- Sahoo, G.B., Ray, C. and De Carlo, E.H. 2006. Use of neural network to predict flash flood and attendant water qualities of a mountainous stream on Oahu, Hawaii. *Journal of Hydrology*. 327(3–4), 525–38.
- Schneiderman, E.M., Pierson, D.C., Lounsbury, D.G. and Zion, M.S. 2002. Modeling the hydrochemistry of the Cannonsville watershed with Generalized Watershed Loading Functions (GWLF). *Journal of the American Water Resources Association*. 38, 1323–1347.
- Silvaneto, J.L. and Le-Huy, H. 1997. A Fuzzy Rule Changing Algorithm for an Adaptive Fuzzy Controller. *ISIE 97: Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*. 3, 1157–1161.
- Singh, P.K., Ankita, B., Amrita, M. and Gunja, J. 2009. Artificial neural network modeling of the river water quality—A case study. *Ecological Modelling*. 220, 888–895.

- Svozil, D., Kvasnicka, V. and Pospichal, J. 1997. Introduction to multi-layer feed-forward neural networks. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 39(1), 43–62.
- Talling, J.F. 2009. Electrical conductance—a versatile guide in freshwater science. *Freshwater Reviews*. 2(1), 65–78.
- Tsakiris, G., and Alexakis, D. 2012. Water quality model: An overview. *European Water*. 37, 33–46.
- Tuo, Y., Chiogna, G. and Disse M. 2015. A Multi-Criteria Model Selection Protocol for Practical Applications to Nutrient Transport at the Catchment Scale. *Water*. 7(6), 2851–2880.
- U.S. EPA. 2008. Methods for Evaluating Wetland Condition: Nutrient Loading. Office of Water. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA-822-R-08-023.
- USDA. 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds, United States. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Washington, DC.
- USDA. 1997. Estimated Efficiency Improvements Expected from Irrigation System Improvements. Natural Conservation Practice Standards No. 210-vi-NEH, Natural Resources Conservation Service. Washington, DC.
- Van Vliet, M.T.H. and Zwolsman, J.J.G. 2008. Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse river. *Journal of Hydrology*. 353(1–2), 1–17.
- Wang, Q., Sun, D., Hao, W., Li, Y., Mei, X., and Zhang, Y. 2012. Human activities and nitrogen in waters. *Acta Ecologica Sinica*. 32, 174–179.
- Welagedara, S.D.L.M., De Silva W.N.C., Ilangasinghe U.K., Iqbal S.M., Araliya R.M.V. and Miguntanna, N.P. 2014. Comparison of water quality status of major rivers in Sri Lanka. *Proceedings of the SAIM Research Symposium on Engineering Advancements*, Malabe, Sri Lanka. 26 April 2014, 137–145.
- Wu, H.J., Lin Z.Y. and Guo, S.L. 2000. The application of artificial neural networks in the resources and environment. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*. 9(2), 237–241.
- Yamazaki, Y., Muneoka, T., Wakou, S., Kimura, M. and Tsuji, O. 2014. Evaluation of the ion components for the estimation of total nitrogen concentration in river water based on electrical conductivity. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 5(1), 160–64.

- Yilmaz, I. 2007. Fuzzy evaluation of water quality classification. *Ecological Indicators*. 7(3), 710–718.
- Zhu, X., Li, D., He, D., Wang, J., Ma, D. and Li, F. 2010. A remote wireless system for water quality online monitoring in intensive fish culture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 71, S3–S9.
- Zou, R., Lung, W.S. and Wu, J. 2007. An adaptive neural network embedded genetic algorithm approach for inverse water quality modeling. *Water Resources Research*. 43(8), W08427.

ภาคผนวก

ภาคผนวก
ข้อมูลในการใช้งานแบบจำลอง

ตารางที่ 1 โรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกาที่มีน้ำเสียและระบายน้ำทิ้ง

โรงงาน	ผลิต	ตำบล	อำเภอ	Discharge (ลบ.ม./วัน)
A	ผลิตถุงมือยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์	ปริก	สะเดา	19000
B	น้ำยางข้น	พะตง	หาดใหญ่	10500
C	ผลิตถุงมือแพทย์	พะตง	หาดใหญ่	6720
D	ผลิตถุงมือยาง	พะตง	หาดใหญ่	3600
E	ทำอาหารทะเลบรรจุกระป๋อง,แช่แข็ง,ห้องเย็น	คอหงส์	หาดใหญ่	2800
F	ผลิตถุงมือยาง ถุงมือแพทย์	พะตง	หาดใหญ่	2500
G	ทำน้ำอัดลม	บ้านพรุ	หาดใหญ่	700
H	ผลิตสัตว์น้ำแช่เย็นและแช่แข็ง	ท่าข้าม	หาดใหญ่	450
I	ผลิตกล่องกระดาษและกล่องกระดาษลูกฟูก	สำนักขาม	อ.สะเดา	22
J	ผลิตอาหารสัตว์	น่าน้อย	หาดใหญ่	20
K	ผลิตอาหารทะเลบรรจุภาชนะฉนิก	บ้านพรุ	หาดใหญ่	5
L	ทำลูกชิ้นเนื้อและลูกชิ้นปลา	หาดใหญ่	หาดใหญ่	5
M	ทำห้องเย็นเก็บสัตว์น้ำ	หาดใหญ่	หาดใหญ่	5
N	ผลิตซีอิ๊ว เต้าเจี้ยว	นาหม่อม	นาหม่อม	3
O	ประกอบกิจการผลิตและจำหน่ายสินค้าอุปโภคบริโภค	คอหงส์	หาดใหญ่	2
P	ทำเส้นก๋วยเตี๋ยว	หาดใหญ่	หาดใหญ่	2
Q	ห้องเย็นเก็บพลาสติกแช่แข็ง	หาดใหญ่	หาดใหญ่	0.2

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำนวนประชากรที่อยู่ภายในและนอกเขตเทศบาลของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาปี 2555

อำเภอ	ประชากรที่อาศัย ในเขตเทศบาล	ประชากรที่อาศัยในเขตเทศบาลที่ มีระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	ประชากรที่อาศัย นอกเขตเทศบาล
	SEW_SEPT	SEW_PUB	SEW_OTHR
อ.คลองหอยโข่ง			
ต.คลองหลา	-	-	5,099
ต.คลองหอยโข่ง	-	-	6,225
ต.โคกม่วง	-	-	7,403
ต.ทุ่งลาน	6,779	-	-
อ.ควนเนียง			
ต.บางเหรียง	-	-	6,694
อ.นาหม่อม			
ต.คลองหรีง	-	-	4,344
ต.ทุ่งขมิ้น	-	-	5,367
ต.นาหม่อม	-	-	8,033
ต.พิจิตร	-	-	4,560
อ.บางกล่ำ			
ต.ท่าช้าง	19,869	-	-
ต.บางกล่ำ	-	-	3,624
ต.บ้านหาร	-	-	3,606
ต.แม่ทอม	-	-	2,268
อ.เมืองสงขลา			
ต.เกาะแต้ว	-	-	52
ต.ทุ่งหวัง	-	-	80
ต.พะวง	9,900	-	-
อ.รัตภูมิ			
ต.กำแพงเพชร	421	-	-
ต.เขาพระ	-	-	-
ต.ท่าชะมวง	-	-	-

ตารางที่ 2 ข้อมูลจำนวนประชากรที่อยู่ภายในและนอกเขตเทศบาลของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาปี 2555 (ต่อ)

อำเภอ	ประชากรที่อาศัย ในเขตเทศบาล	ประชากรที่อาศัยในเขตเทศบาลที่ มีระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	ประชากรที่อาศัย นอกเขตเทศบาล
	SEW_SEPT	SEW_PUB	SEW_OTHR
อ.สะเตา			
ต.เขามี่เกียรติ	-	-	5,106
ต.ท่าโพธิ์	-	-	6,645
ต.ทุ่งหมอ	-	-	7,280
ต.ปริก	6,304	-	12,781
ต.ปาดังเบซาร์	15,450	-	9,523
ต.พังลา	8,307	-	4,353
ต.สะเตา	20,515	-	-
ต.สำนักขาม	12,956	-	-
ต.สำนักแต้ว	-	-	14,160
อ.หาดใหญ่			
ต.คลองแห	31,603	-	-
ต.คลองอุต๊ะเกา	-	-	2,810
ต.ควนลัง	41,548	-	-
ต.คอหงส์	45,052	-	-
ต.คูเต่า	12,956	-	-
ต.ฉลุง	-	-	7,202
ต.ท่าข้าม	-	-	7,909
ต.ทุ่งตำเสา	-	-	15,977
ต.ทุ่งใหญ่	-	-	5,037
ต.น่าน้อย	13,405	-	-
ต.บ้านพรุ	22,504	-	-
ต.พะตง	7,859	-	5,700
ต.หาดใหญ่	31,583	126,334	-

ที่มา : สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง

ตารางที่ 3 ข้อมูลปศุสัตว์แบบรายตำบลของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาปี 2555

อำเภอ	ไก่ทั้งหมด	เป็ดทั้งหมด	สุกร	โคเนื้อทั้งหมด
อำเภอหาดใหญ่				
คลองแห	10,582	3,915	745	1,242
คลองอุตะเถา	8,569	2,889	175	626
ควนลัง	22,782	3,018	1,573	761
คอหงส์	2,137	636	3,948	198
คูเต่า	20,087	22,315	83	1,730
ฉลุง	4,475	2,491	296	1,016
ท่าข้าม	1,583	45	27	320
ทุ่งตำเสา	29,603	5,380	2,443	2,533
ทุ่งใหญ่	1,084	75	20	194
น่าน้อย	17,920	2,630	242	831
บ้านพรุ	2,220	4,769	163	784
พะตง	1,144	93	293	227
หาดใหญ่	3,045	1,373	1,297	102
อำเภอสะเตา				
เขามิเกียรติ	1,644	68	75	127
ท่าโพธิ์	4,162	458	260	991
ทุ่งหมอ	2,175	55	11	324
ปริง	5,172	545	66	392
ปาดังเบซาร์	4,835	503	17	461
พังลา	11,262	959	18	366
สะเตา	4,046	158	35	227
สำนักขาม	3,984	327	260	261
สำนักแต้ว	3,033	353	127	377
อำเภอนาหม่อม				
คลองหรีง	62,741	5,417	9,056	272
ทุ่งขมิ้น	180,853	186	38	466
นาหม่อม	29,779	595	21	578
พิจิตร	1,842	282	129	451
อำเภอบางกล่ำ				
ท่าช้าง	67,831	9,182	1,163	3,704
บางกล่ำ	16,929	624	221	653
บ้านหาร	4,870	754	31	686
แม่ทอม	6,658	1,796	17	929
อำเภอคลองหอยโข่ง				
โคกม่วง	4,632	346	53	1,175
ทุ่งลาน	10,387	652	255	1,668
คลองหอยโข่ง	7,622	1,133	44	1,257
คลองหลา	4,447	121	35	870
อำเภอเมืองสงขลา				
พะวง	-	-	1,291	-

ที่มา : สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดสงขลา

ตารางที่ 4 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าแบบรายเดือนบริเวณจุดตรวจวัด UT16 ตั้งแต่ปี 2550-2558

Month	Observed-Streamflow (cm.)								
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Jan	6.80	2.08	7.77	6.22	24.02	41.78	6.31	3.89	10.26
Feb	0.84	0.90	1.04	2.46	5.46	6.78	2.79	1.35	1.86
Mar	1.23	1.33	3.20	0.84	6.39	7.88	4.19	0.66	0.73
Apr	3.18	3.79	6.35	1.11	13.66	10.49	3.66	1.87	0.85
May	2.21	4.50	4.32	1.44	9.25	5.49	6.98	0.98	2.99
June	4.44	2.83	0.77	1.84	6.53	5.42	5.65	1.05	4.05
July	4.99	2.15	0.77	2.47	5.27	6.49	3.69	0.98	-
Sep	2.85	1.84	1.90	1.51	6.68	3.60	3.15	0.70	-
Aug	1.83	1.66	3.90	3.82	12.64	4.32	4.32	2.30	-
Oct	9.86	5.38	0.95	12.76	8.94	6.94	9.38	17.19	-
Nov	14.17	10.08	47.80	46.46	24.18	5.42	22.48	19.78	-
Dec	14.16	40.17	-	30.15	21.82	20.48	24.36	-	-

ตารางที่ 5 ข้อมูลการะบรทุกไนโตรเจนแบบรายเดือนบริเวณจุดตรวจวัด UT16 ตั้งแต่ปี 2550-2558

Year	Month	Observed-TN Load (10^3 kg/month)
2007	3	113.36
	8	292.02
	11	273.90
2008	3	95.24
	7	68.87
	11	330.58
2009	2	69.06
	5	144.91
	7	47.47
	11	870.11
2010	2	18.78
	5	7.99
	7	33.03
2011	2	29.66
	5	239.12
	8	257.07
2012	2	15.95
	4	316.49
	7	144.14
	11	298.28
2013	2	173.16
	5	137.06
	7	214.10
2014	2	9.53
	5	49.97
	7	34.08
	11	419.22
2015	2	10.51
	5	169.45

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวสุวลี ชูวานิชย์	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5410930007	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2547
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย	2544

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการการศึกษา)

โครงการทุนพัฒนาอาจารย์และบุคลากรสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในเขตพัฒนาเฉพาะกิจจังหวัดชายแดนภาคใต้ พ.ศ. 2554

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ปัจจุบัน นักศึกษา

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

1. การตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ

Chuvanish, S., Thongnoo, K., and Phukpattaranont, P. 2007. Wrist Strap Engagement Detection Using Biosignal from Skin. *KKU Engineering Journal*. 34(2), 439–449.

2. การตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

Chuvanich, S., Thongnoo, K., Chevakidagarn, P., and Phongdara, A. 2017. Evaluation of Artificial Neural Networks for Electrical Conductivity-based and Flow Rate-based Prediction of the Nitrate Nitrogen Concentration in the U-Tapao Canal, Hat Yai, Thailand. *EnvironmentAsia*. 10(2), 15–24.

3. การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับชาติ

Chuvanish, S., Thongnoo, K., and Phukpattaranont, P. 2007. Time-Frequency Analysis of 50 Hz Induced Skin Signal. PEC – 5 Conference of Engineering, Phuket, Thailand, 10-11 May 2007.

Chuvanish, S., Thongnoo, K., and Phukpattaranont, P. 2008. Zero Voltage Wrist Strap Engagement Detection Using Neural Network. The 1st International Data Storage Technology Conference (DST-CON2008), Miracle Grand Convention Hotel, Bangkok, Thailand, 21-23 April 2008.

4. การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

Chuvanich, S., Chevakidagarn, P., HE, B., Phongdara, A., and Thongnoo, K. 2017. Water Quality Index Assessment for Water Quality Trend in U-tapao Canal Sub-basin, Southern Thailand. Asian Conference on Engineering and Natural Sciences 2017 (ACENS 2017), Sapporo Convention Center, Sapporo, Hokkaido, Japan, 19-21 January 2017.