สำนักหอสมุดกลาง _ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบโปรแกรมเพื่อควบคุมระดับน้ำในเขื่อนผ่านระบบ SCADA

PROGRAMMING DESIGN FOR WATER LEVEL CONTROLLING OF THE DAM VIA SCADA SYSTEM

T043253

กฤษณ์ อุ่นพิกุล

KRIT AUNPIKUL

วพ.
ก๖๕๑๗
๒๕๔๕

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43253
วัน, เดือน, ปี 8 ส.ค. 2545

b 17394744
i 12209922

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2545

ISBN 974-648-871-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMMING DESIGN FOR WATER LEVEL CONTROLLING OF THE DAM VIA SCADA SYSTEM

KRIT AUNPIKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-648-871-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบโปรแกรมเพื่อควบคุมระดับน้ำในเขื่อนผ่านระบบ SCADA
นักศึกษา	นาย กฤษณ์ อุ่นพิกุล
รหัสนักศึกษา	40061028
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแนวทางในการออกแบบโปรแกรมเพื่อควบคุมระดับน้ำในเขื่อน โดยอาศัยข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดต่างๆตามลุ่มแม่น้ำ โดยผ่านระบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) แล้วนำเอาข้อมูลดังกล่าวมาทำการคำนวณในโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ที่ห้องควบคุม เพื่อให้การควบคุมระดับน้ำในเขื่อนให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถที่จะเก็บกักน้ำได้ตามปริมาณที่ต้องการในช่วงเวลาต่างๆของแต่ละปี โดยให้สามารถมีน้ำใช้ได้อย่างเพียงพอในฤดูแล้งและให้เขื่อนมีพื้นที่ในการเก็บกักมากพอที่จะรองรับน้ำที่ไหลลงมาจากต้นแม่น้ำเพื่อช่วยบรรเทาอุทกภัยซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ นอกจากนั้นยังสามารถนำเอาข้อมูลดังกล่าวมาเป็นข้อมูลในการหาค่าระดับน้ำ ปริมาณน้ำ ที่สถานีตรวจวัดต่างๆตามลำแม่น้ำโดยทำการสมมติค่าปริมาณฝนที่สถานีต่างๆแล้วทำการหาค่าปริมาณน้ำที่สถานี ต่างๆล่วงหน้าเพื่อที่จะได้สามารถทราบสถานการณ์ต่างๆล่วงหน้าและสามารถเตือนให้ผู้ที่อยู่บริเวณดังกล่าวได้เตรียมตัวรับสถานการณ์ต่างๆได้อย่างทันท่วงที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Programming design for water level controlling of the dam via SCADA system
Student	Krit Aunpikul
Student ID.	40061028
Degree	Master Degree
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Kobchai Dejhan

ABSTRACT

This thesis presents the design concept for controlling water level in the dam via SCADA system (Supervisory Control and Data Acquisition). The water level controlling graph is the criteria to control the water level in the dam. Then, SCADA is used to report the data at the measuring stations on the river to control room, especially the rainfall value that is the most important value and it can make a big flood. In addition to the water level and the discharge at measuring stations have to report to the control room to calculate the total of water and time of water to come the to dam. After that, the control room has to calculate the total water and time to drain the water out of the dam. Finally, the control room has to collect all of value, to be a database and use the data to be a guided line to set the next year criteria.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สามารถจัดทำสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็เนื่องมาจากการได้รับความเมตตากรุณาท่าน รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ คุณชัยยุทธ จารุพัฒนานนท์ คุณชัชวาล สวัสดิฤกษ์ ที่ได้ให้คำแนะนำผู้วิจัยโดยตลอด ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างมาก และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆ ที่ให้กำลังใจและให้โอกาสบุตรได้รับการศึกษาในระดับต่างๆจนกระทั่งได้สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิตนี้ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และสั่งสอนให้กับผู้วิจัยทุกระดับชั้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ กรมชลประทาน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือข้อมูลในการทำวิจัยการวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายสุด ความรู้และประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบความดีที่ได้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กฤษณ์ อุ่นพิกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VI

สารบัญรูป..... VII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์..... 1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... 1

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย..... 2

1.5 ขอบเขตการวิจัย..... 2

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา..... 3

บทที่ 2 ระบบ SCADA..... 4

2.1 ระบบ SCADA..... 4

2.2 หน่วยควบคุมระยะไกล..... 7

2.3 การรับ – ส่งข้อมูล..... 8

2.4 สถานีหลัก..... 14

บทที่ 3 หลักการเก่า – หลักการใหม่ที่เสนอ..... 17

3.1 การคำนวณปริมาณน้ำฝนโดยวิธี Thiessen Network..... 20

3.2 การไหลของน้ำโดยอาศัยหลักการเคลื่อนตัวของน้ำ..... 23

3.3 ความสมดุลย์ของน้ำ..... 34

บทที่ 4 การออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในระบบ SCADA..... 36

4.1 การสำรวจข้อมูล..... 37

4.2 การออกแบบโปรแกรมและระบบ SCADA..... 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การออกแบบโปรแกรมในการพยากรณ์น้ำ..... 65
4.4 การปรับแต่งพารามิเตอร์เพื่อลดความผิดพลาดทางขนาด
และความผิดพลาดทางเฟส..... 74

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล..... 76

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 85
เอกสารอ้างอิง..... 87
ภาคผนวก..... 88
ประวัติผู้เขียน..... 103
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์..... 104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ตารางแสดงปริมาณฝนและพื้นที่ที่แบ่งแต่ละสถานีโดยวิธี Thiessen Network..... 23

3.2 แสดง Water Balance.....35

4.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำ..... 47

4.2 แสดงลักษณะสัญญาณที่จะติดต่อกันระหว่าง Input / Output Module กับ Sensors..... 52

4.3 แสดงค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณ 3 Path Loss..... 59

4.4 แสดง Zone ในการสื่อสารของแต่ละสถานี..... 64

4.5 แสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝน..... 67

5.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ.....79

5.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ.....80

5.3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ.....81

5.4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ.....82

5.5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ.....83

5.6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ.....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงส่วนประกอบหลักของระบบ SCADA.....5

2.2 แสดงรูปแบบของโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลของ RTU ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณ.....11

2.3 รูปแสดงการสื่อสารของระบบ SCADA โดยใช้สื่อในการสื่อสาร 2 ชนิด.....12

2.4 แสดงการสื่อสารข้อมูลแบบใช้ความถี่เดียวและแบ่ง Zone ออกเป็น 2 Zone.....13

2.5 แสดงรูปแบบการสื่อสารโดยใช้วิทยุความถี่เดียวและแบ่งเป็น 2 Zone.....14

2.6 รูปแสดง Network Computer ของระบบ SCADA ที่ห้องควบคุม.....15

2.7 รูปแสดง Stand Alone Computer ของระบบ SCADA ที่ห้องควบคุม.....16

3.1 แสดง Hydrologic Cycle และการไหลของน้ำลงสู่แม่น้ำ.....18

3.2 แสดงการไหลของน้ำในลุ่มน้ำลงสู่แม่น้ำสายหลัก.....19

3.3 แสดงการแบ่งพื้นที่ในการรับน้ำโดยวิธี Thiessen Network.....22

3.4 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและออกที่เวลาต่างๆของแต่ละสถานี.....25

3.5 รูปแสดงลำน้ำในรูปเส้นตรง.....27

3.6 แสดงตารางที่ใช้ในการแก้สมการ.....30

3.7 รูปแสดงจุดตัดระหว่างระยะทางและเวลาในกรณีแม่น้ำมีลักษณะเป็นเส้นตรง.....31

4.1 แสดง Rule Curve.....37

4.2 แสดงพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ.....38

4.3 รูปแสดงอัตราการระเหยของน้ำในแต่ละเดือน.....40

4.4 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ RTU.....43

4.5 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมคำนวณปริมาณน้ำฝนที่ RTU.....45

4.6 รูปแสดง Rating Curve.....46

4.7 Flow chart แสดงการคำนวณค่าปริมาณน้ำจากค่าระดับน้ำที่วัดได้.....49

4.8 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ห้องควบคุม.....51

4.9 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง RTU กับเครื่องมือวัดต่างๆ.....54

4.10 แสดงค่า Losses Gains และ Fade Margin ของการรับ – ส่งของแต่ละสถานี.....56

4.11 แสดงระยะห่างระหว่างสถานีรับและสถานีส่งที่มีส่วนโค้งของผิวโลกบังอยู่.....58

4.12 แสดงภาพระบบโดยรวมของสถานีตรวจวัดต่างๆตามลุ่มแม่น้ำ.....62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.13 แสดงลักษณะการสื่อสารข้อมูลของระบบ SCADA..... 65

4.14 แสดงการคำนวณปริมาณน้ำจากปริมาณน้ำฝน..... 68

4.15 รูปแสดงภาพตัดขวางตามแนวทางการไหลของน้ำ..... 70

4.16 รูปแสดงจุดตัดระหว่างระยะทางและเวลาของสถานีตรวจวัดทั้งหมด..... 71

4.17 Flow chart แสดงวิธีการคำนวณพยากรณ์น้ำ..... 73

4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างการคำนวณและการวัด..... 75

5.1 กราฟแสดงระดับน้ำที่วัดได้ที่สถานีหน้าเขื่อนเมื่อเทียบกับ Rule Curve..... 78

A1 แสดงลุ่มน้ำป่าสักจุดติดตั้งสถานีและเส้นทางการสื่อสาร..... 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการที่เกิดเหตุการณ์อุทกภัยขึ้นในฤดูฝนในหลายๆ พื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับลุ่มแม่น้ำ ต่างๆ ทำให้เกิดความเสียหายต่อทั้งทรัพย์สินเงินทองรวมทั้งพื้นที่การเกษตรต่างๆเป็นจำนวนมากและการ ขาดแคลนน้ำใช้ในฤดูแล้งเป็นสาเหตุที่ทำ ให้จะต้องมีการสร้างอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อนเพื่อทำการเก็บกักน้ำเพื่อให้สามารถเก็บกักน้ำที่เพื่อนำไปใช้ ประโยชน์ต่างๆได้อย่างเหมาะสมนอกจากนั้นยังเป็นการบรรเทาอุทกภัยด้านท้ายน้ำ ดังนั้นการที่จะสามารถดำเนินการดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงได้มีการนำเอาระบบ SCADA มาใช้ร่วมกับการพยากรณ์น้ำเพื่อจะได้ทราบสถานการณ์ต่างๆได้ล่วงหน้าทำให้สามารถที่จะเตรียมรับสถานการณ์ได้อย่างทันท่วงทีเพื่อให้ไม่ให้เกิดความเสียหายหรือลดความเสียหายให้น้อยที่สุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการออกแบบโปรแกรมในการนำเอาระบบ SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) มาใช้ในการช่วยการคำนวณพยากรณ์ระดับน้ำหรือปริมาณน้ำ ณ. เวลาต่างๆล่วงหน้าเพื่อหาค่าระดับน้ำหรือปริมาณน้ำที่สถานีตรวจวัดต่างๆเพื่อช่วยให้ทราบสถานการณ์ต่างๆของลุ่มน้ำล่วงหน้าเพื่อเป็นข้อมูลที่จะช่วยในการตัดสินใจในการบริหารและจัดการ กับน้ำที่ไหลลงมาได้อย่างมีประสิทธิภาพกล่าวคือสามารถที่จะระบายน้ำออกจากเขื่อนหรือสามารถผันน้ำออกจากบริเวณที่คาดว่าจะเกิดน้ำท่วมได้อย่างทันท่วงทีและนอกจากนั้นยังสามารถนำเอาข้อมูลต่างๆมาวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการบริหารและจัดการน้ำในปีต่อๆไปด้วยการสำรวจพื้นที่ ข้อมูลทางสถิติและข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เครื่องมือวัดมาทำการคำนวณร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการที่จะบริหารและจัดการน้ำโดยการรักษาระดับน้ำในเขื่อนให้อยู่ในระดับที่ต้องการเพื่อให้สามารถนำเอามาใช้ได้อย่างเพียงพอโดยไม่ขาดแคลนและยังเป็นการป้องกันอุทกภัยอันอาจจะเกิดจากการที่มีปริมาณน้ำที่มากเกินไปนั้น สามารถที่จะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพถ้าหากสามารถที่จะประเมินปริมาณน้ำที่จะไหลลงมาที่เขื่อนและระยะเวลาที่น้ำจะไหลลงมาถึงรวมไปถึงเหตุการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ ที่เกิดขึ้นที่สถานีตรวจวัดต่างๆตามลำแม่น้ำเช่นฝนตกที่สถานีตรวจวัด สภาพพื้นที่ต่างๆตามแนวลำน้ำเช่น ความลาดชันของพื้นที่ตามลำน้ำ และสถิติต่างๆเช่นอัตราการระเหยต่อปีหรือปริมาณฝนที่ตกในแต่ละปีย้อนหลัง เป็นต้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการรักษาระดับน้ำในเขื่อนสามารถทำได้โดยการคำนวณพยากรณ์น้ำที่ไหลเข้าไปเก็บไว้ในเขื่อนโดยนำเอาระบบ SCADA ต่อเข้ากับเครื่องมือวัดตามสถานีตรวจวัดตามจุดต่างๆ บนลำน้ำและทำการคำนวณปริมาณน้ำฝนเป็นปริมาณน้ำท่าซึ่งทำให้ได้ค่าปริมาณน้ำ (Runoff) ที่ได้จากปริมาณฝน ในลักษณะของวัฏจักรทางอุทกวิทยา (Hydrological Cycle) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนที่ตกในลุ่มน้ำ (Runoff or Precipitation) ความสูญเสีย (Loss) เช่นอัตราการระเหย ปริมาณการใช้น้ำแต่ละปี เป็นต้น และปริมาณฝนส่วนที่จะเกิดเป็นน้ำท่า (Effective Rainfall) จากหลักการดังกล่าวทำให้สามารถหาปริมาณน้ำต่อจากนั้นก็ใช้หลักการเคลื่อนตัวของคลื่นในน้ำเพื่อทำการคำนวณหาเวลาที่น้ำจะไหลมาถึงเขื่อนและสามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการโดยอาศัย Anticipated rule curve

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้จะกล่าวถึงวิธีการออกแบบโปรแกรมในการรักษาระดับน้ำในเขื่อนให้อยู่ในระดับที่ต้องการโดยอาศัยระบบ SCADA โดยโปรแกรมจะทำหน้าที่ในการรับข้อมูล ประมวลผลข้อมูลก่อนที่จะรายงานผลเพื่อนำเอาผลที่ได้มาเป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการดำเนินการต่างๆ โดยข้อมูลที่ได้เช่นข้อมูลปริมาณฝนที่ตกได้มาจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดซึ่งเป็นการวัดในขณะที่ฝนตก ดังนั้นถ้าหากว่ามีฝนตกที่บริเวณเขื่อนก็ทำให้มีผลทำให้การคำนวณปริมาณน้ำคลาดเคลื่อนได้บ้าง เนื่องจากข้อมูลที่ได้นั้นเป็นข้อมูลที่ได้หลังจากเกิดเหตุการณ์ต่างๆขึ้นแล้ว และเนื่องจากข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการคำนวณเป็นข้อมูลที่ได้จากสถิติที่เก็บสะสมมาซึ่งในแต่ละปีก็จะแตกต่างกันออกไปบ้าง และที่สำคัญอย่างยิ่งสภาพภูมิประเทศต่างๆจะเปลี่ยนแปลงไปทุกๆปีดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆทุกๆปีเช่นเดียวกัน และในการคำนวณจะต้องทำการใส่ค่าเริ่มต้นซึ่งเป็นค่าที่จะต้องกำหนดเองโดยดูจากสถิติต่างๆดังนั้นจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งถ้าหากว่านำเอาค่าต่างๆที่ใส่ให้กับโปรแกรมมาจากเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนต่างๆก็จะทำให้การคำนวณพยากรณ์ได้ใกล้เคียงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- ทำการศึกษาระบบ SCADA
- ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการพยากรณ์น้ำ
- ทำการศึกษาแนวทางในการออกแบบโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้สามารถดำเนินการร่วมกับระบบ SCADA
- ทำการเปรียบเทียบข้อมูลได้จากการพยากรณ์กับข้อมูลที่วัดได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบ SCADA

ระบบ SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) เป็นระบบที่ใช้ในการรวบรวม จัดการข้อมูล แสดงผลของข้อมูลการทำงานและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับอุปกรณ์ที่อยู่ห่างไกลออกไปจากศูนย์ควบคุมและไม่มีคนอยู่ที่สถานีนั้นๆ (Manless Station)

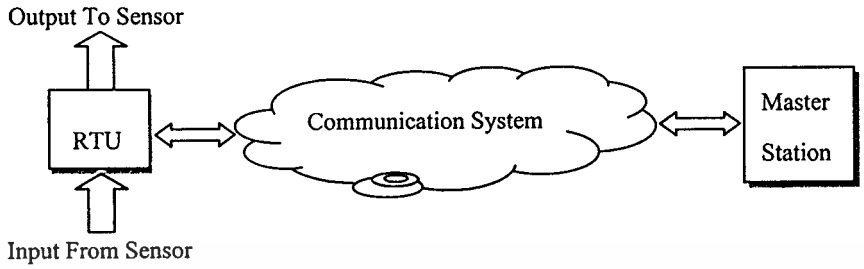
เนื่องจากระบบ SCADA เป็นระบบควบคุมและแสดงผลข้อมูลระยะไกลซึ่งอาศัยโครงข่ายการสื่อสารและอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ ในการติดต่อระหว่างศูนย์ควบคุมและสถานีสนามต่างๆ ดังนั้นระบบการสื่อสารจึงมีความสำคัญมากๆ และจะต้องมีความเชื่อถือได้สูงมาก เพื่อให้ที่ศูนย์ควบคุมสามารถที่จะติดตามสถานะต่างๆและควบคุมอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีสนามได้ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้การติดตามสถานการณ์ต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้นเป็นไปอย่างถูกต้องและต่อเนื่อง ตัวอย่างในการนำระบบ SCADA มาใช้งานเช่น การตรวจวัดการสูบจ่ายน้ำมันที่สถานีสูบจ่าย แท่นเจาะ Gas ธรรมชาติกลางทะเล การตรวจวัดข้อมูลทางอุตุ-อุทกระยะไกลเป็นต้น

2.1 ระบบ SCADA

จากที่กล่าวมาแล้วว่าระบบ SCADA เป็นระบบที่ใช้ในการควบคุมหรือแสดงผลข้อมูลในระยะไกลดังนั้นจึงทำให้ระบบ SCADA แบ่งหน้าที่ในการควบคุมและแสดงผลออกเป็นหลายระดับ โดยห้องควบคุมจะทำหน้าที่ในการส่งคำสั่งในการควบคุมไปที่หน่วยควบคุมระยะไกล (Remote Terminal Unit : RTU) ต่างๆที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีสนามของระบบเพื่อให้ RTU ทำหน้าที่ในการควบคุมอุปกรณ์และประมวลผลข้อมูลที่สถานีสนามก่อนเพื่อให้กระบวนการในการควบคุมหรือผลที่ได้จากการตรวจวัดได้ถูกกระทำตามขั้นตอนต่างๆที่สถานีสนามก่อนที่จะส่งข้อมูลที่ได้ทำการประมวลผลหรือดำเนินการตามกระบวนการต่างๆ แล้วกลับมายังห้องควบคุม เพื่อที่จะลดปริมาณการรับ - ส่งข้อมูลหรือรายละเอียดต่างๆ ที่จะต้องใช้ในการควบคุมลง เนื่องจากระบบโครงข่ายที่ใช้ในการสื่อสารมีข้อจำกัดในการรับ – ส่งข้อมูลระหว่างกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลที่มีระยะไกลด้วยแล้วยิ่งทำให้ขีดความสามารถในการสื่อสารระหว่าง RTU กับห้องควบคุมหรือระหว่าง RTU กับ RTU ด้วยกันเองลดลง ซึ่งการที่ให้ RTU ทำหน้าที่ในการควบคุมอุปกรณ์หรือข้อมูลในการตรวจวัดด้วยตัว RTU เองจะทำให้ลดปริมาณข้อมูลที่ใช้ลงได้และห้องควบคุมทำหน้าที่เพียงส่งคำสั่งไปที่ RTU ให้ดำเนินการเท่านั้นและเมื่อ RTU ดำเนินการเสร็จแล้วก็จะส่งข้อมูลที่ประมวลผลแล้วกลับมาแสดงผลที่ห้องควบคุมซึ่งทำให้ระบบ SCADA สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือของระบบเพิ่มขึ้นเนื่องจากที่ RTU ถูกต่ออยู่กับอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆที่เราต้องการที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุม (Sensors) หรืออุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ ดังนั้นระบบ SCADA จึงประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบหลักของระบบ SCADA

จากรูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบหลักๆของระบบ SCADA ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆดังต่อนี้

- Remote Terminal Unit
- Communication System
- Master Station

หน่วยควบคุมระยะไกล (Remote Terminal Unit)

Remote Terminal Unit (RTU) ทำหน้าที่ในการติดต่อกับอุปกรณ์เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ต้องการที่จะควบคุม (Sensors) ต่างๆ นอกจากนั้นยังทำหน้าที่ในการรับคำสั่งในการควบคุมอุปกรณ์จากห้องควบคุมเพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์โดยอาจจะใช้ข้อมูลที่ตรวจวัดจากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีนั้นแล้วทำการประมวลผลข้อมูลเพื่อส่งผลการประมวลผลนั้นกลับไปแสดงผลหรือเป็นข้อมูลในการประมวลผลการทำงานของทั้งระบบที่ห้องควบคุมต่อไป

ระบบสื่อสาร (Communication System)

Communication System ระบบการสื่อสารของระบบ SCADA ทำหน้าที่ในการรับ-ส่งข้อมูลหรือคำสั่งระหว่าง RTU กับ RTU หรือระหว่าง RTU กับห้องควบคุมซึ่งระบบสื่อสารของระบบ SCADA สามารถที่จะใช้สื่อต่างๆในการสื่อสารซึ่งกันและกัน เช่นวิทยุ Microwave ดาวเทียม ข่าย สายโทรศัพท์ หรือ สายสัญญาณ (RS-232, RS-485) เป็นต้น ในการเลือกใช้สื่อที่จะสื่อสารกันนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูล ระยะทางที่ใช้ในการสื่อสารรวมไปถึงภูมิประเทศและค่าใช้จ่ายต่างๆ ด้วยเป็นต้น ในการสื่อสารข้อมูลระหว่าง RTU กับ RTU หรือ RTU กับห้องควบคุมของระบบ SCADA สามารถทำได้ 2 แบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Time Mode หมายถึงการรับ - ส่งข้อมูลตามเวลาที่กำหนดโดยผู้ใช้งานสามารถที่จะกำหนดช่วงเวลาการรับ - ส่งข้อมูลได้ เช่น ทุกๆ 15 นาที 30 นาที หรือ 1 ชั่วโมง หรือสามารถที่จะกำหนดเวลา เช่นทุกๆ 7.00 น. ของทุกๆวันเป็นต้น
- Event Mode หมายถึงการรับ - ส่งข้อมูลเมื่อมีเหตุการณ์ผิดปรกติเกิดขึ้นที่ RTU โดย RTU จะเป็นผู้ส่งข้อมูลให้กับสถานีหลักโดยไม่ต้องรอให้ถึงเวลาที่สถานีหลักเรียกถามข้อมูล โดยเหตุการณ์ผิดปรกติดังกล่าวก็คือค่าที่ผู้ใช้งานตั้งไว้ในโปรแกรมเพื่อให้ RTU ทำหน้าที่ในการตรวจสอบค่าจากเครื่องมือตรวจวัดนั่นเองซึ่งถ้าหากเกิดเหตุการณ์ผิดปรกติตามที่ได้ตั้งค่าไว้ RTU ก็จะทำการส่งข้อมูลดังกล่าวมาที่ห้องควบคุมทันทีเป็นต้น

สถานีหลัก (Master Station)

Master Station ทำหน้าที่ในการรวบรวมและจัดการกับข้อมูล รวมไปถึงการควบคุมระบบทั้งหมดเพื่อนำเอาข้อมูลจาก RTU ทุกตัวในระบบมาทำการประมวลผลเพื่อให้สามารถที่จะควบคุมกระบวนการต่างๆหรือแสดงผลข้อมูลของ RTU แต่ละตัวให้เป็นไปตามที่ต้องการ นอกจากนั้น Master Station ยังจะต้องทำหน้าที่ในการจัดระบบการสื่อสารของระบบ SCADA เพื่อนำเอาข้อมูลจาก RTU มาทำการประมวลผลตามเวลาที่กำหนด (Time Mode) โดยห้องควบคุมจะทำหน้าที่ในการจัดลำดับในการเรียกถามข้อมูลจาก RTU แต่ละตัว (Polling) หรือทำหน้าที่ในการรอรับข้อมูลที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากความผิดปรกติบางอย่างที่ RTU ซึ่ง RTU จะส่งข้อมูลดังกล่าวเข้ามารายงานที่ห้องควบคุมทันทีที่เกิดเหตุการณ์ขึ้นโดยที่ไม่ต้องรอให้ Master Station เรียกถามข้อมูล(Event Mode) โดยข้อมูลดังกล่าวนั้นผู้ใช้งานจะต้องทำการกำหนดให้ก่อนในตอนที่ทำการติดตั้งระบบ ในปัจจุบันระบบ SCADA ได้นำเอาระบบ Computer เข้ามาใช้และเนื่องจากผู้ผลิตระบบ SCADA อาจจะไม่ได้ผลิต Computer และผู้ผลิต Computer ก็อาจจะไม่ได้ผลิตระบบ SCADA ดังนั้นในการที่จะนำเอาข้อมูลต่างๆจาก RTU แต่ละตัวในระบบมาแสดงผลข้อมูลหรือทำรายงานโดยใช้ระบบ Computer นั้นจะต้องทำการแปลงโปรโตคอลของระบบ SCADA ให้เป็นโปรโตคอลมาตรฐานที่สามารถที่จะติดต่อกับ Computer ได้ดังนั้นจึงสามารถแบ่ง Master Station ออกเป็น 2 ส่วนคือ

- Field Interface Unit (FIU) ทำหน้าที่เป็น Gateway ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงโปรโตคอลซึ่งในที่นี้ใช้ MODBUS โปรโตคอลซึ่งเป็นโปรโตคอลมาตรฐานที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย
- Computer Control Center ทำหน้าที่ในการรวบรวม แสดงผลข้อมูลและรายงานผลข้อมูลนอกจากนั้นยังทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจาก RTU แต่ละตัวให้เป็นไปตามความต้องการของระบบควบคุมและแสดงผลทั้งระบบซึ่งในปัจจุบันระบบ Computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่นำมาต่อกับระบบ SCADA เป็นได้ทั้ง Stand Alone Computer หรือ Network Computer

2.2 หน่วยควบคุมระยะไกล (Remote Terminal Unit)

RTU หรือ Remote Terminal Unit เป็นส่วนหนึ่งของระบบ SCADA ที่ถูกติดตั้งอยู่ที่สถานีสนามหรือสถานีตรวจวัด โดย RTU ในระบบ SCADA จะถูกต่อกับเครื่องมือวัดต่างๆ เพื่อทำหน้าที่ในการตรวจวัดและรวบรวมข้อมูลที่สถานีสนาม (Local) ทั้งข้อมูลที่เป็นค่าต่อเนื่อง (Analog) หรือข้อมูลสถานะต่าง (Digital)โดยต่ออุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆเข้ากับส่วน Input Unit ของ RTU แล้วนำเอาค่าต่างๆที่ทำการตรวจวัดได้มาทำการประมวลผลและส่งกลับไปแสดงผลที่ห้องควบคุมโดยผ่านระบบการสื่อสารของระบบ SCADA นอกจากนั้น RTU ยังจะต้องคอยรับคำสั่งในการควบคุมอุปกรณ์จากห้องควบคุมเพื่อทำการดำเนินการในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆโดยต่ออุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมเข้ากับส่วน Output Unit ของ RTU โดยข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมต่างๆนั้นอาจจะมาจากข้อมูลที่ตรวจวัดได้ที่สถานีนั้นๆหรืออาจจะมาจากห้องควบคุมเป็นต้น การทำงานต่างๆของ RTU นั้นจะต้องทำการเขียนโปรแกรมในการติดต่อกับส่วน Input Unit เพื่อทำการอ่านค่าต่างๆที่วัดได้และทำการประมวลผลค่านั้นให้ออกมาในรูปที่ต้องการในส่วนของการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆก็เช่นเดียวกันจะต้องทำการเขียนโปรแกรมขั้นตอนต่างๆในการควบคุมอุปกรณ์แล้วเก็บลงใน Central Processing Unit (CPU) ของ RTU เพื่อให้ CPU ทำหน้าที่ในการประมวลผลต่างๆ รวมไปถึงการติดต่อสื่อสารกับห้องควบคุมโดยผ่านช่องสัญญาณในการสื่อสารของ CPU ด้วย ดังนั้น RTU จึงมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วนด้วยกัน

ส่วนประกอบหลักๆของ RTU มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนดังต่อไปนี้

1. Central Processing Unit (CPU)
2. Input / Output Module (I/O Module)
3. Communication Port

Central Processing Unit (CPU) ของ RTU หน้าที่หลักของ RTU มีดังต่อไปนี้

- ทำหน้าที่ในการประมวลผลสัญญาณที่รับมาจาก Filed Instrument โดยสัญญาณที่ได้รับมาจาก Field Instrument จะถูกต่อเข้ากับ I/O Module ตามมาตรฐานสัญญาณต่างๆ เช่น สัญญาณ Analog 4 – 20 mA. หรือสัญญาณ Digital On – Off โดยเมื่อ CPU รับสัญญาณจาก Module ที่ต่อผ่าน I/O Bus แล้วจะทำการประมวลผลโดยสัญญาณ Analog จะถูกแปลงเป็นค่า Digitalโดยใช้ Analog to Digital Converter ทำการแปลงเป็นค่า Digital ที่ Computer สามารถอ่านค่าแล้วนำไปประมวลผลได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลต่างๆที่ได้รับจาก I/O Module เพื่อที่จะส่งข้อมูลให้กับห้องควบคุม และทำหน้าที่แปลงคำสั่งจากห้องควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆที่ติดตั้งอยู่กับ RTU
- ทำหน้าที่ในการควบคุมระบบการสื่อสารระหว่าง RTU กับห้องควบคุม โดย CPU ของ RTU จะมี Port ในการสื่อสารโดย Port ที่ใช้ในการสื่อสารนั้นก็ขึ้นอยู่กับสื่อที่ใช้ เช่น สายสัญญาณต่างๆ Microwave ดาวเทียม หรือ วิทยุสื่อสาร

Input / Output Module (I/O Module) ทำหน้าที่ในการรับ - ส่งสัญญาณจาก CPU เพื่อส่งไปควบคุม หรืออ่านค่าจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่ง Module ออกเป็น 4 ชนิดดังต่อไปนี้

- Analog Input Module เป็น Module ที่รับสัญญาณ Analog ที่เป็นสัญญาณไฟฟ้า 4 - 20 mA. หรือ 0 - 5 Volts ซึ่งเป็นมาตรฐานทางอุตสาหกรรมจากอุปกรณ์วัดค่าต่างๆ
- Digital Input Module เป็น Module ที่รับสัญญาณ Digital 0 หรือ 1 ตามลักษณะ Close or Open Switch
- Analog Output Module เป็น Module ที่ส่งสัญญาณ Analog ที่เป็นสัญญาณไฟฟ้า 4 - 20 mA. หรือ 0 - 5 Volts ซึ่งเป็นมาตรฐานทางอุตสาหกรรม
- Digital Output Module เป็น Module ที่ส่งสัญญาณ Digital 0 หรือ 1 ตามลักษณะ Close or Open Switch

Communication Port ทำหน้าที่เป็นช่องทางในการสื่อสารข้อมูลระหว่าง RTU กับห้องควบคุม หรือ RTU ด้วยกันเนื่องจาก 1 RTU อาจจะสามารถใช้ช่องทางในการสื่อสารมากกว่า 1 ช่อง เช่น ช่องทางที่ 1 หรือช่องทางที่ 2 (Port 1 Or Port 2) เป็นต้นโดยจะต้องทำการกำหนดชนิดของช่องทางในการสื่อสารรวมไปถึงสื่อที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลเช่น วิทยุสื่อสาร ดาวเทียม Microwave เป็นต้น

2.3 การรับ - ส่งข้อมูล (Data Transmission)

เนื่องจากระบบ SCADA เป็นระบบรวบรวมข้อมูล ควบคุมระยะไกลดังนั้นระบบสื่อสารที่ใช้ในระบบ SCADA จะต้องเป็นระบบสื่อสารที่มีความเชื่อถือได้อย่างสูงและนอกจากนั้นจะต้องสามารถที่จะสื่อสารกันได้หลายสื่อเช่น วิทยุสื่อสาร ดาวเทียม Microwave และ สายสัญญาณ (RS-232 RS-485 เป็นต้น) ซึ่งระบบ SCADA ใช้ระบบการสื่อสารในการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่าง RTU กับ RTU หรือ RTU กับ Control Center โดยข้อมูลที่ส่งผ่านระบบสื่อสารระหว่าง RTU กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RTU อาจเป็นได้ทั้งข้อมูลที่ส่งไปเพื่อเป็นข้อมูลในการประมวลผลของ RTU นั้น หรืออาจจะเป็นคำสั่งในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ ณ. RTU นั้น หรือ RTU ส่งข้อมูลที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดที่วัดได้จากอุปกรณ์ต่างส่งเข้าไปรายงานผลที่ห้องควบคุมหรือเป็นคำสั่งที่ต้องการควบคุมอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ที่ RTU นั้นๆเป็นต้น

การสื่อสารข้อมูลในระบบ SCADA จะต้องคำนึงถึงความความเร็วและจำนวนข้อมูลที่ส่งผ่านสื่อที่ใช้ในการสื่อสารของระบบ SCADA โดยปรกติแล้วความเร็วที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลของระบบ SCADA จะมีความเร็วระดับปานกลางซึ่ง Baud rate จะอยู่ที่ประมาณ 300 – 2400 Bit/Sec. ซึ่งขึ้นอยู่กับสื่อแล้วช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารแต่สิ่งที่สำคัญที่สุดในระบบการสื่อสารข้อมูลของระบบ SCADA ก็คือจะต้องมีความเชื่อถือได้อย่างสูง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิทยุสื่อสารเป็นสื่อที่ใช้ในระบบสื่อสารซึ่งแต่ละสถานีสามารถที่จะทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณ (Repeater) ได้ เนื่องจาก RTU ที่ติดตั้งนั้นอาจจะห่างจากห้องควบคุมไกลมากเกินกว่าที่วิทยุสื่อสารจากห้องควบคุมหรือสถานีสนามจะทำการส่งข้อมูลถึงกันได้โดยตรง และโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลก็มีหลายโปรโตคอล ในที่นี้จะขอกล่าวถึงโปรโตคอลในการสื่อสารระหว่าง RTU กับ RTU และ RTU กับ Control Center ที่เป็นรูปแบบที่กำหนดโดย OSI (Open Systems Interconnection) ซึ่งถูกเผยแพร่โดย ISO โดยรูปแบบดังกล่าวประกอบไปด้วย 7 Layers ดังต่อไปนี้

- Physical Layer
- Link Layer
- Network Layer
- Transportation Layer
- Session Layer
- Presentation Layer
- Application Layer

Physical Layer

Physical Layer ทำหน้าที่ในการพิจารณาการส่งข้อมูลดิบโดยพิจารณาในแง่ของบิทที่ผ่านไปตามช่องทางการสื่อสาร ซึ่งอาจจะรวมหลายช่องทางการสื่อสารเข้าด้วยกันซึ่งในกรณีนี้ Physical Layer จะมองช่องทางหลายๆช่องทางรวมเข้าด้วยกันเหมือนช่องทางเดียวซึ่งโปรโตคอลในระดับสูงขึ้นไปจะช่วยทำหน้าที่นี้ โดยใช้ Software ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลต่างๆโดยใช้ช่องสัญญาณต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อกำหนดต่างๆที่ช่องสัญญาณนั้นๆต้องการและติดต่อกับ Link Layer ซึ่ง Software ที่ใช้ในการติดต่อกับ Link Layer สามารถที่จะกำหนดให้เป็นมาตรฐานในการติดต่อสื่อสารได้ และนอกจากนั้น Software ที่ใช้นั้นสามารถใช้ได้กับช่องสัญญาณหลากหลายชนิดและหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณของการสื่อสารแต่จะต้องไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของ Software นั้นเสียไปเนื่องจากระบบ SCADA ต้องการระบบการสื่อสารที่เชื่อถือได้สูงมาก

Link Layer

Link Layer ทำหน้าที่ในการให้การสื่อสารข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้องบนช่องทางการสื่อสารเพียงช่องทางเดียว ข้อมูลต่างๆที่บรรจุอยู่ใน Frame ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารของ Link Layer ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆดังนี้

- Address ของสถานีรับข้อมูล
- Address ของสถานีส่งข้อมูล
- จำนวน Frame ข้อมูล
- CRC (Cyclic Redundancy Check)

Network Layer

ใช้ในกรณีที่ใช้สื่อในการสื่อสารข้อมูลมากกว่า 1 ชนิดหรือในกรณีที่ใช้อาจจะเป็นสื่อที่ใช้วิทยุแบบ Conventional ที่ใช้ความถี่เดียวแต่แบ่ง Zone มากกว่า 1 Zone และใช้เป็นสถานีทวนสัญญาณ ซึ่งการทำงานเปรียบเสมือนเป็นการหาเส้นทางในการสื่อสารจากสถานีหนึ่งไปยังสถานีหนึ่ง Network Layer ทำหน้าที่ในการส่งผ่านข้อมูลในระบบโดยผ่านสถานีที่เป็นสถานีทวนสัญญาณเพื่อให้ข้อมูลสามารถส่งผ่านสถานีทวนสัญญาณจนไปถึงสถานีปลายทางที่จะรับข้อมูลได้

Transportation Layer

ทำหน้าที่ในการที่จะบอกว่าการรับข้อมูลสมบูรณ์แล้ว โดยข้อมูลที่ได้รับอาจจะมีจำนวนมากซึ่ง Transportation Layer จะทำหน้าที่ในการจัดเรียงข้อมูลให้สมบูรณ์ก่อนที่จะส่งข้อมูลนั้นให้กับ Session Layer และเมื่อทำการรับข้อมูลครบและจัดเรียงข้อมูลได้ครบแล้วก็จะทำการส่งสัญญาณ Acknowledge เพื่อบอกว่าข้อมูลที่รับถูกต้องครบถ้วนพร้อมที่จะส่งต่อให้กับ Session Layer แล้ว

Session Layer

ทำหน้าที่ในการกำหนดจำนวน Application ที่จะทำงานใน Layer นี้พร้อมกันเช่นส่งข้อมูลและแสดงผลข้อมูลระหว่าง 2 สถานีโดยที่ไม่เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน การทำงานของ Session Layer มีดังต่อไปนี้

- Start Session
- Synchronization of message direction
- End Session
- Abort Session

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Re-synchronize Session

Presentation Layer

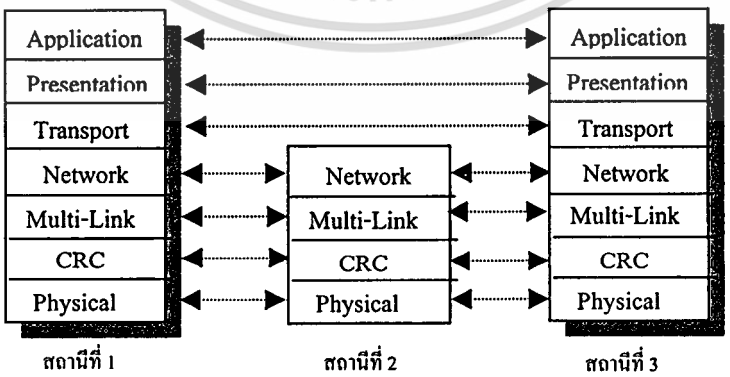
ทำหน้าที่แสดงข้อมูลที่รับมาจาก Application หลาย Application จากหลายๆ Packet ที่ส่งมาเพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลเหล่านั้นให้สมบูรณ์เพื่อส่งให้กับ Application Layer

Application Layer

Application Layer ประกอบไปด้วย Application ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งหมดของระบบ SCADA เช่น

- Bi-Direction data transfer
- Software Downloading
- Software Monitoring application
- Application for transmitting events or short message
- Application for remote diagnostic
- Application for retrieval of error message from RTU
- Application for communication analysis

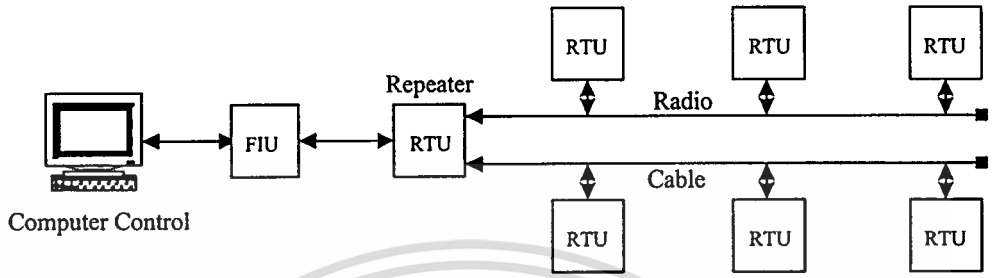
RTU แต่ละตัวในระบบ SCADA สามารถที่จะทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณได้ด้วยโดยในขณะที่ RTU ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณนั้น การสื่อสารข้อมูลระหว่าง RTU ด้านส่งกับ RTU ด้านรับโดยส่งผ่าน RTU ที่เป็นสถานีทวนสัญญาณนั้น RTU ที่เป็นสถานีทวนสัญญาณก็จะใช้ Network Layer ในการกำหนดเส้นทางเพื่อส่งข้อมูลต่อไปยัง RTU ทางด้านรับดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงสถานีที่ 1 ไปยังสถานีที่ 3 โดยผ่านสถานีที่ 2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณ



รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบของโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลของ RTU ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญา [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

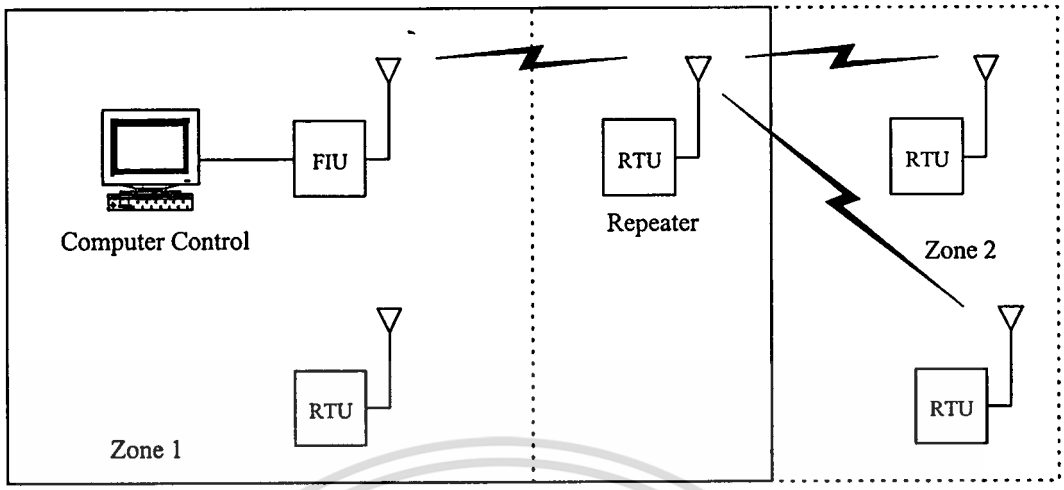
การสื่อสารข้อมูลของระบบ SCADA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ RTU ในระบบให้สามารถทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณด้วยนั้นสามารถที่จะทำได้โดยใช้สื่อในการสื่อสารมากกว่า 1 ชนิดขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปแสดงการสื่อสารของระบบ SCADA โดยใช้สื่อในการสื่อสาร 2 ชนิด

จากรูปที่ 2.3 เป็นการแสดงถึงการสื่อสารข้อมูลของระบบ SCADA โดยใช้สื่อในการสื่อสารข้อมูล 2 ชนิด ซึ่งจากรูปใช้สื่อที่เป็นวิทยุและ สายสัญญาณ (RS-232 หรือ RS-485) ซึ่ง RTU ที่อยู่ด้านบนจะรับ – ส่งข้อมูลกับสถานีทวนสัญญาณโดยผ่านสื่อที่เป็นวิทยุ ส่วน RTU ที่อยู่ด้านล่างจะรับ – ส่งข้อมูลกับสถานีทวนสัญญาณโดยผ่านสื่อที่เป็นสายสัญญาณ ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้ง RS-232 หรือ RS-485 เป็นต้น ซึ่งสถานีทวนสัญญาณก็จะทำหน้าที่ในการผ่านข้อมูลต่อให้กับห้องควบคุมหรือในทางกลับกันก็จะทำหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลจากห้องควบคุมถึง RTU ต่างๆต่อไป ในกรณีที่ใช้สื่อเป็นวิทยุอาจจะใช้ได้ทั้งแบบ 2 ความถี่ (f_1 , f_2) ซึ่งการสื่อสารในรูปแบบนี้สถานีที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณจะทำหน้าที่รับข้อมูลจาก RTU ต่างๆด้วยความถี่ที่ 1 (f_1) และทำการส่งข้อมูลให้กับห้องควบคุมด้วยความถี่ที่ 2 (f_2) หรือในทางกลับกันสถานีทวนสัญญาณจะรับข้อมูลจากห้องควบคุมด้วยความถี่ที่ 2 (f_2) และทำการส่งผ่านข้อมูลให้ RTU ด้วยความถี่ที่ 1 (f_1) ส่วนการสื่อสารแบบความถี่เดียว (f_1) ซึ่งในกรณีที่เป็นความถี่เดียวนั้นจะต้องทำการแบ่ง Zone ในการสื่อสารออกเป็น Zone ต่างๆ โดยที่จะต้องมี RTU อย่างน้อย 1 ตัวที่จะทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณโดย RTU ตัวนี้จะต้องสามารถที่จะติดต่อกับ RTU ที่อยู่ใน Zone เดียวกันและ Zone ที่จะทำการสื่อสารด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.4

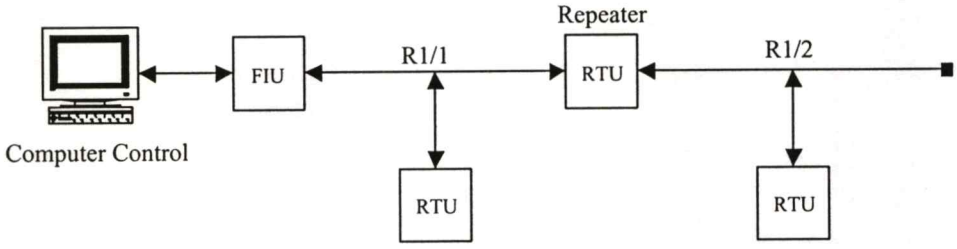
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงการสื่อสารข้อมูลแบบใช้ความถี่เดียวและแบ่ง Zone ออกเป็น 2 Zone

จากรูปที่ 2.4 RTU ที่อยู่ในกรอบเส้นทึบซึ่งแสดงเป็น Zone ที่ 1 โดย RTU ที่อยู่ใน Zone นี้จะทำการรับ – ส่งข้อมูลกับห้องควบคุมโดยใช้ความถี่ที่ 1 (f_1) และ RTU ที่อยู่ในกรอบเส้นประซึ่งแสดงเป็น Zone ที่ 2 โดยความถี่ที่ใช้ก็ยังคงเป็นความถี่ที่ 1 (f_1) โดย RTU ที่อยู่ระหว่าง Zone ที่ 1 และ Zone ที่ 2 ก็คือ Repeater ซึ่ง RTU ที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณนั้นจะทำการรับข้อมูลจาก RTU ที่อยู่ใน Zone ที่ 2 และส่งผ่านข้อมูลให้กับห้องควบคุมที่อยู่ใน Zone ที่ 1 และในทางกลับกัน RTU ที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณรับข้อมูลจากห้องควบคุมใน Zone ที่ 1 และส่งผ่านข้อมูลให้ RTU ใน Zone ที่ 2 โดยในการแบ่ง Zone นั้น RTU ที่อยู่ใน Zone ที่ 2 ยกเว้นสถานีที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณจะไม่สามารถส่งข้อมูลให้กับห้องควบคุมได้โดยตรงเนื่องจากข้อจำกัดของการรับ – ส่งข้อมูลผ่านสื่อที่เป็นวิทยุ จากรูปที่ 2.4 สามารถที่จะเขียนเป็นรูปแบบการสื่อสารได้ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงรูปแบบการสื่อสารที่ใช้วิทยุเป็นสื่อในการสื่อสารข้อมูลโดยใช้ความถี่เดียวและแบ่ง Zone ออกเป็น 2 Zone โดย RTU ที่อยู่ทางด้านขวาของสถานีทวนสัญญาณจะส่งข้อมูลให้กับ RTU ที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณซึ่งก็จะทำการส่งผ่านต่อให้กับห้องควบคุมโดยใช้ Zone ที่ 1 และเช่นเดียวกันถ้าหากว่าห้องควบคุมที่อยู่ทางซ้ายมือของ RTU ที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณต้องการส่งข้อมูลให้ RTU ที่อยู่ทางด้านขวามือก็จะส่งผ่านสถานีที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณซึ่งก็จะส่งผ่านต่อให้ RTU ต่างๆต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



R1/1 = Radio 1 Zone 1, R1/2 = Radio 1 Zone 2

รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบการสื่อสารโดยใช้วิทยุความถี่เดียวและแบ่งเป็น 2 Zone

2.4 สถานีหลัก (Master Station)

Master Station ทำหน้าที่ในการควบคุมและจัดการระบบ SCADA ทั้งระบบเพื่อนำเอาข้อมูลต่างๆจาก RTU ทุกตัวเพื่อนำมาประมวลผลเพื่อควบคุมระบบทั้งหมดตามที่ต้องการซึ่งก็หมายรวมถึงการจัดลำดับ (Scheduling) ในการเรียกถามข้อมูลจาก RTU ทุกตัวในระบบ (Time Mode Transmission) หรือรอรับข้อมูลจาก RTU ที่เป็นข้อมูลที่ถูกกำหนดไว้ในขณะที่ติดตั้งซึ่งเป็นข้อมูลฉุกเฉินที่ RTU จะต้องส่งให้กับห้องควบคุมทันทีที่เกิดขึ้นโดยที่ไม่ต้องรอให้ห้องควบคุมถามมา (Event Mode Transmission) เมื่อได้รับข้อมูลจาก RTU แล้ว Master Station ก็จะทำการประมวลผลข้อมูลของระบบโดยใช้ข้อมูลที่ได้จาก RTU ต่อจากนั้นก็ทำการแสดงผลข้อมูลและเก็บลงฐานข้อมูลเพื่อให้สามารถนำเอาข้อมูลนั้นๆมาใช้ต่อไป และถ้าหากว่าที่ RTU ใดก็ตามที่เกิดเหตุการณ์ผิดปรกติหรือต้องการที่จะควบคุมกระบวนการ Master Station ก็จะส่งคำสั่งไปที่ RTU เพื่อให้ RTU ทำหน้าที่ในการควบคุมและเมื่อ RTU ได้ทำกระบวนการต่างๆเรียบร้อยแล้ว RTU ก็จะเตรียมข้อมูลเพื่อรอให้ Master Station มาเรียกเพื่อนำเอาข้อมูลไปหรือ RTU อาจจะส่งข้อมูลให้ Master Station โดยอัตโนมัติ และเนื่องจากปัจจุบันระบบ SCADA ได้มีการนำเอาระบบ Computer มาใช้ในการแสดงผลและประมวลผลต่างๆรวมไปถึงการเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการทำรายงานและเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้งานในเชิงสถิติและอื่นๆ โดยนำเอาระบบ Computer มาทำงานร่วมกับ Field Interface Unit ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแปลงโปรโตคอลระหว่าง Field Interface Unit ให้เป็นโปรโตคอลที่ใช้ได้กับระบบ Computer ดังนั้น Master Station จะต้องทำหน้าที่เป็น Gateway เพื่อที่จะแปลงโปรโตคอลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง RTU ของระบบ SCADA ให้เป็นโปรโตคอลมาตรฐานที่ระบบ Computer ใช้ซึ่ง Master Station ประกอบไปด้วย

- Field Interface Unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

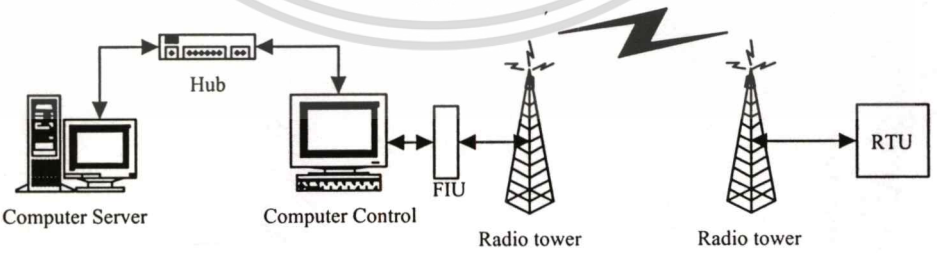
- Computer Control Center

Field Interface Unit

Field Interface Unit ทำหน้าที่เสมือนเป็น Gateway ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงโปรโตคอลที่สามารถที่จะติดต่อกับ Computer เนื่องจากบริษัทที่ผลิตระบบ SCADA อาจจะใช้โปรโตคอลในการสื่อสารของบริษัทเองซึ่งอาจจะทำให้ไม่สามารถติดต่อกับระบบ Computer ได้และบริษัทที่ผลิต Computer ก็ไม่ได้ผลิตระบบ SCADA ดังนั้นในการที่จะนำระบบทั้ง 2 ระบบมาต่อเชื่อมกันจึงต้องใช้ Gateway เป็นตัวต่อเชื่อมซึ่งกันและกัน ในที่นี้ใช้ MODBUS โปรโตคอลในการติดต่อสื่อสารกับ Computer ซึ่ง MODBUS โปรโตคอลเป็นโปรโตคอลมาตรฐานที่มีใช้อย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม

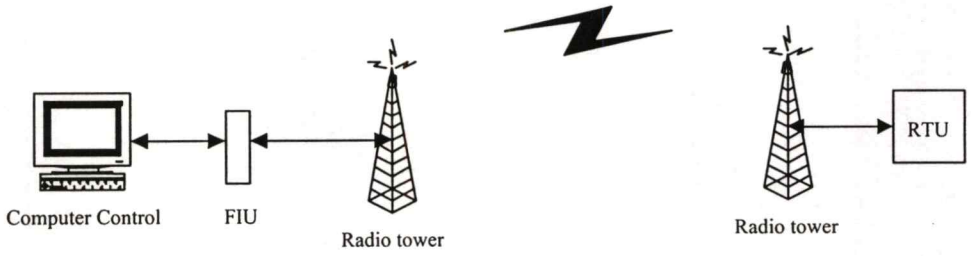
Computer Control Center

Computer Control Center ในระบบ SCADA ทำหน้าที่ในการรวบรวมและจัดการระบบ SCADA ทั้งหมด โดยทำการรวบรวมข้อมูลที่ได้รับจาก RTU ทุกตัวในระบบโดยผ่าน Field Interface Unit (FIU) ซึ่งจะทำการแปลงโปรโตคอล และทำการจัดการระบบสื่อสารทั้งหมดของระบบ SCADA ทั้ง Time Mode Transmission และ Event Mode Transmission นอกจากนั้นยังทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลของ RTU ทุกตัวในระบบ SCADA และทำการเก็บข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลทั้งระบบลงไว้ในฐานข้อมูลเพื่อเก็บเอาไว้ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ซึ่ง Computer Control Center สามารถเป็นได้ทั้ง Computer Network ดังแสดงในรูปที่ 2.6 หรือ Stand Alone ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 รูปแสดง Network Computer ของระบบ SCADA ที่ห้องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 รูปแสดง Stand Alone Computer ของระบบ SCADA ที่ห้องควบคุม

จากรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 เป็นรูปแสดงระบบ SCADA ที่ใช้ Computer ที่ Master Station เป็น Network Computer และ Stand Alone Computer ตามลำดับ ซึ่ง Computer จะทำหน้าที่ในการจัดการระบบเช่นรวบรวมข้อมูลต่างๆที่รับมาจาก RTU และทำการประมวลผลข้อมูลของระบบทั้งหมด และทำหน้าที่ในการจัดการกับระบบสื่อสารทั้งหมดของระบบ SCADA โดยข้อมูลทั้งหมดที่ส่งมาที่ Computer จะส่งผ่าน Field Interface Unit ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงโปรโตคอลในการสื่อสารข้อมูล นอกจากนั้น Computer ยังทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลต่างๆลงฐานข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์และใช้ในเชิงสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

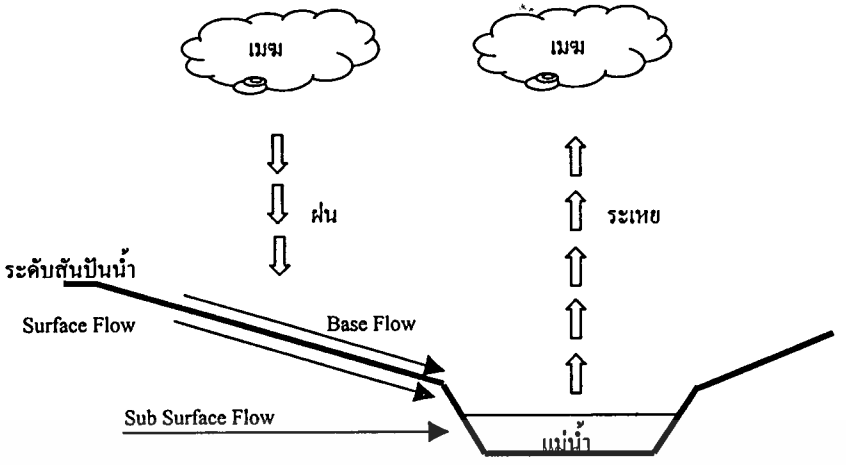
สำนักหอสมุดกลาง _ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
หลักการเก่า - หลักการใหม่ที่เสนอ

แม่น้ำแต่ละสายต่างก็มีต้นแม่น้ำของแต่ละสายที่แตกต่างกันออกไปซึ่งน้ำเกือบทั้งหมดที่ไหลอยู่ในแม่น้ำแต่ละสายนั้นเกือบทั้งหมดมาจากฝนที่ตกลงมาและน้ำฝนที่ตกลงมานั้นก็จะไหลลงมารวมกันเป็นแม่น้ำซึ่งการที่ฝนตกลงมาและเกิดการไหลมารวมกันจนเกิดเป็นแม่น้ำนั้นส่วนหนึ่งก็เนื่องจากระดับของความสูงหรือต่ำของพื้นที่ต่างๆโดยแม่น้ำแต่ละสายก็จะมีลุ่มน้ำ (River Basin) ของแต่ละสายซึ่งพื้นที่ของลุ่มแม่น้ำแต่ละสายนั้นสามารถกำหนดได้โดยอาศัยสันปันน้ำ (Watershad) เป็นเส้นแบ่งระหว่างลุ่มน้ำ เมื่อฝนตกลงมาน้ำก็จะไหลลงมาจากสันปันน้ำลงมาสู่คลองและจากคลองก็จะไหลลงสู่แม่น้ำหรือไหลลงสู่แม่น้ำสายหลักโดยตรงซึ่งก็แล้วแต่ภูมิประเทศของแต่ละลุ่มแม่น้ำ โดยน้ำที่ไหลลงมาสู่แม่น้ำนั้นสามารถไหลลงมาสู่แม่น้ำได้โดยไหลลงมาทางเหนือพื้นดิน (Overland Flow หรือ Base Flow) น้ำใต้ผิวดิน (Surface Flow) และน้ำใต้ดิน (Subsurface Flow หรือ Ground Water) ซึ่งน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำโดยมาทางใต้ดินนั้นสามารถที่จะไหลข้ามลุ่มน้ำได้ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 จากรูปที่ 3.1 แสดงการกระบวนการเกิดฝนโดยน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอแล้วก็จะเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนเมฆและเกิดการกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำหรือฝนตกลงมายังพื้นดินซึ่งฝนที่ตกลงมาก็จะไหลลงสู่แม่น้ำซึ่งจากรูปก็แสดงการน้ำที่ไหลบนพื้นดิน (Overland Flow หรือ Base Flow) น้ำใต้ผิวดิน (Surface Flow) และน้ำใต้ดิน (Subsurface Flow หรือ Ground Water) และกระบวนการที่เกิดขึ้นก็จะเกิดวนเวียนอยู่อย่างนี้เรื่อยไป ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า Hydrologic Cycle จากที่กล่าวมาแล้วว่าน้ำที่ไหลในแม่น้ำแต่ละสายนั้นส่วนใหญ่มาจากปริมาณฝนที่ตกลงมา ซึ่งนอกจากปริมาณฝนแล้วยังได้มาจากน้ำค้างหรือหิมะ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะน้ำที่ได้มาจากปริมาณฝนเท่านั้น โดยในบทนี้กล่าวถึงการนำเอาทฤษฎีต่างๆมาใช้ในการคำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้

- การคำนวณหาค่าปริมาณน้ำฝนในลุ่มแม่น้ำ
- การไหลของน้ำโดยอาศัยการหลักการเคลื่อนตัวของน้ำ
- Water Balance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



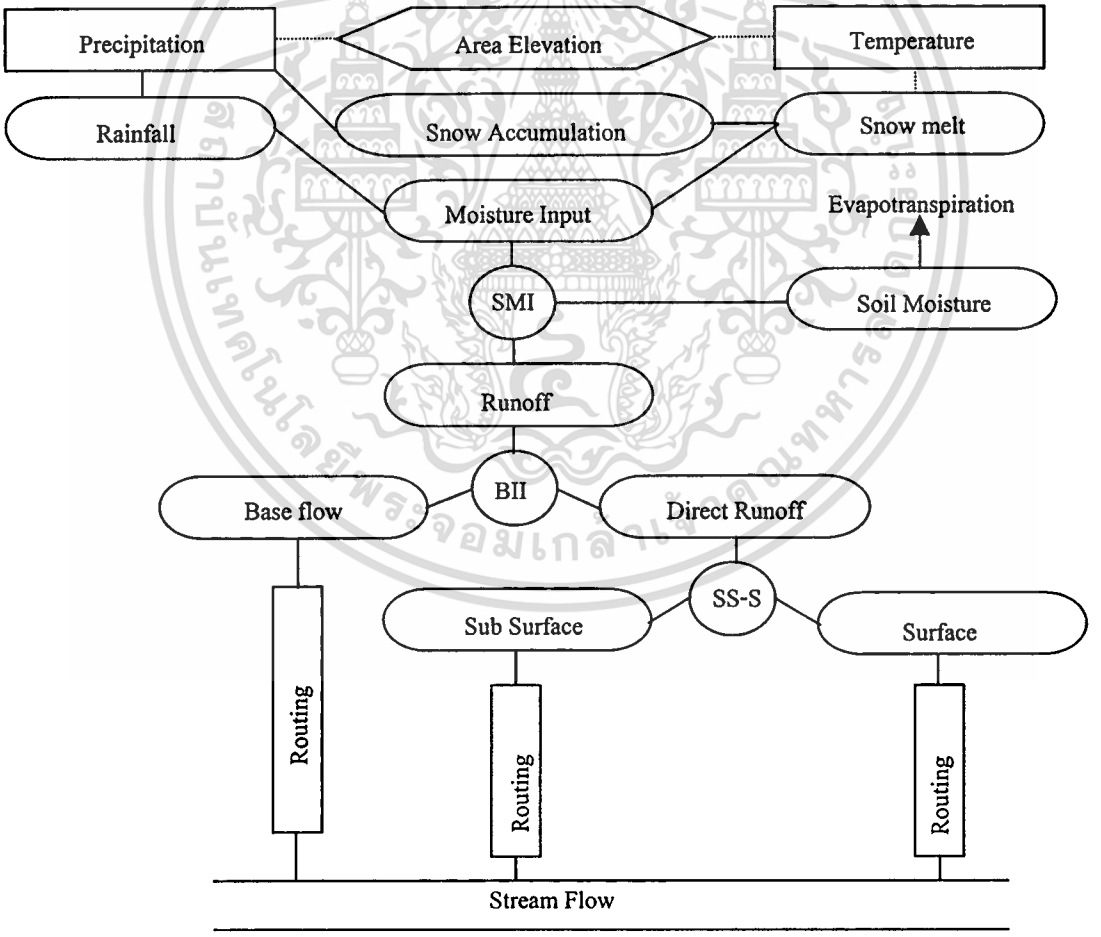
รูปที่ 3.1 แสดง Hydrologic Cycle และการไหลของน้ำลงสู่แม่น้ำ

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าเมื่อฝนตกลงมาในพื้นที่ลุ่มน้ำต่างๆซึ่งจะทำให้เกิดเป็นปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนซึ่งจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตกลงมา ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าวก็จะไหลลงสู่แม่น้ำสายหลักได้ 3 ทางคือน้ำเหนือผิวดิน น้ำใต้ผิวดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งเส้นทางการไหลของน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำแต่ละทางนั้นก็จะไหลลงสู่แม่น้ำในเวลาที่แตกต่างกันออกไป และปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำนั้นก็จะสูญเสียไปกับระยะทางต่างๆของแต่ละเส้นทางน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำมีน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนมากเช่นน้ำฝนที่ตกลงมาก็จะตกค้างอยู่ตามต้นไม้ส่วนหนึ่งก่อนที่จะไหลลงสู่พื้นดินและเมื่อน้ำที่ไหลลงสู่ผิวดินแล้วระหว่างทางที่น้ำเหนือผิวดินไหลลงสู่แม่น้ำพื้นดินก็จะดูดซึมน้ำลงสู่ใต้ผิวดินซึ่งปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ใต้ผิวดินนั้นจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและความชื้นของดิน ณ. เวลานั้นๆ ถ้าหากว่าดินเป็นดินร่วนซุยและความชื้นของดินไม่มากก็จะทำให้น้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำในเส้นทางเหนือผิวดินสูญเสียมากทำให้น้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำมีปริมาณน้อย แต่ถ้าหากว่าความชื้นของดินมีมากก็จะทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำทางผิวดินมีความสูญเสียน้อยทำให้นำไหลลงสู่แม่น้ำเป็นปริมาณมากซึ่งน้ำเหนือผิวดินนี้จะไหลลงสู่แม่น้ำได้เร็วที่สุด ส่วนความสูญเสียของน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำทางใต้ผิวดินนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่นั้นๆ โดยถ้าหากว่าหลังจากที่น้ำถูกดูดซึมลงสู่ใต้ผิวดินแล้วถ้าหากว่าอุณหภูมิของพื้นที่สูงขึ้นทำให้น้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำก็จะถูกระเหยขึ้นไปมากกว่าที่จะไหลลงสู่แม่น้ำ ซึ่งน้ำที่ไหลใต้ผิวดินลงสู่แม่น้ำจะใช้เวลานานกว่าน้ำเหนือผิวดินมาก และในส่วนของน้ำใต้ดินนั้นจะใช้เวลาในการไหลลงสู่แม่น้ำนานที่สุดและน้ำใต้ดินดังกล่าวนี้สามารถที่จะไหลข้ามจากลุ่มน้ำหนึ่งไปสู่อีกลุ่มน้ำหนึ่งได้ซึ่งถ้าหากว่าน้ำไม่ได้ไหลลงสู่แม่น้ำก็จะทำให้น้ำส่วนนี้สูญเสียออกไปจากลุ่มแม่น้ำ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 จากรูปที่ 3.2 แสดงการไหลของน้ำลงสู่แม่น้ำหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำจากรูปจะเห็นว่าเส้นทางที่น้ำจะไหลลงสู่แม่น้ำมี 3 เส้นทาง โดยเมื่อฝนตกลงมาก็จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝน (Runoff) โดยปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนขึ้นอยู่กับความชื้นของดิน (Soil Moisture Index: SMI) ซึ่งค่า Soil Moisture Index ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอัตราการระเหย ต่อจากนั้นปริมาณน้ำที่ได้ก็จะไหลลงสู่แม่น้ำเป็น 3 ทางคือ Base Flow Surface Flow และ Sub-Surface Flow ซึ่งปริมาณน้ำที่จะไหลในเส้นทาง Base Flow หรือ Surface กับ Sub-surface (S SS) ก็ขึ้นอยู่กับ Base Flow Index (BII)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าปริมาณน้ำในลุ่มน้ำทั้งหมดไม่ได้มาจากปริมาณน้ำฝนเพียงอย่างเดียว แต่ยังสามารถมาจากหิมะซึ่งหลังจากที่หิมะละลายแล้วก็จะทำให้เกิดเป็นน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำสายหลักแต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่ขอกล่าวถึงปริมาณน้ำที่ได้จากหิมะเนื่องจากไม่มีปริมาณน้ำที่ได้จากหิมะในประเทศไทย ในส่วนของการหาค่าปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนนั้นสามารถหาได้หลายวิธีแต่วิธีที่จะนำมาใช้เป็นวิธีการ Thiessen Network เนื่องจากเหมาะสมและเข้าได้กับการนำเอาระบบ SCADA มาใช้



รูปที่ 3.2 แสดงการไหลของน้ำในลุ่มน้ำลงสู่แม่น้ำสายหลัก [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาค่าปริมาณน้ำและระยะเวลาที่น้ำจะไหลลงมาที่เขื่อนหรือการหาค่าระดับน้ำหรือปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีที่สถานีตรวจวัดต่างๆล่วงหน้านั้น สามารถที่จะทำได้โดยใช้ข้อมูลทางสถิติที่ได้เก็บเอาไว้อย่างต่อเนื่องในแต่ละปี โดยทำการวัดค่าระดับน้ำที่สถานีด้านบนและสถานีด้านล่างที่เวลาต่างๆ แล้วนำเอาค่าระดับน้ำที่เวลาต่างๆนั้นมาเก็บบันทึกเป็นสถิติเอาไว้ ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวก็สามารถที่จะทำให้ทราบว่าถ้าระดับน้ำที่สถานีด้านบนเท่านี้แล้วอีกกี่ชั่วโมงข้างหน้าค่าระดับน้ำที่สถานีด้านล่างจะเป็นเท่าไรและเมื่อทราบค่าระดับน้ำแล้วก็สามารถที่จะหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีนั้นโดยคำนวณจาก Rating Curve ซึ่งวิธีการดังกล่าวก็ยังสามารถนำมาใช้อยู่

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอวิธีการคำนวณระดับน้ำและปริมาณน้ำโดยใช้หลักการไหลของน้ำโดยอาศัยการหลักการการเคลื่อนตัวของน้ำ โดยหลักการดังกล่าวจะทำการหาค่าระดับน้ำที่สถานีตรวจวัดต่างๆและที่เวลาต่างๆ โดยกำหนดค่าเริ่มต้นที่ต้นน้ำและท้ายน้ำต่อจากนั้นก็ทำการคำนวณระดับน้ำที่สถานีและเวลาต่างๆ ซึ่งหลักการดังกล่าวสามารถที่จะนำเอาระบบ SCADA เข้ามาใช้ในการคำนวณหาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำต่างๆได้

3.1 การคำนวณปริมาณน้ำฝนโดยวิธี Thiessen Network

การวัดค่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝน จะวัดออกมาเป็น มิลลิเมตร (mm) ซึ่งได้มาจากการที่ฝนตกในพื้นที่หนึ่งๆแล้วทำให้ระดับน้ำสูงขึ้น(มิลลิเมตร) โดยเครื่องมือวัดน้ำฝนแต่ละเครื่องก็จะครอบคลุมบริเวณลุ่มน้ำ โดยการวัดปริมาณน้ำฝนใช้หลักการในการให้น้ำไหลผ่านกระบอกเครื่องมือวัดน้ำฝนแล้วทำการวัดค่าความสูงของน้ำที่ไหลผ่านลงไปในกระบอกเครื่องมือวัด แต่การวัดปริมาณน้ำฝนโดยใช้เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนเป็นเพียงการวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเครื่องมือวัดที่มีพื้นที่ในการวัดเท่ากับพื้นที่ของปากกระบอกวัดน้ำฝนเท่านั้นซึ่งเวลาที่ฝนตกลงมานั้นบริเวณพื้นที่รับน้ำฝนนั้นมีบริเวณกว้างและฝนตกแต่ละครั้งนั้นก็ครอบคลุมบริเวณที่ไม่เท่ากัน ในการหาค่าปริมาณน้ำฝนที่ได้จากเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (1) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำในรูปทรงกระบอก (Q) เนื่องจากเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนเป็นรูปทรงกระบอก

$$Q = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times H \qquad (1)$$

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของปากกระบอก (ซม.)

H = ความสูง (ซม.)

Q = ปริมาณน้ำในรูปทรงกระบอก (ลบ.ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากปริมาณฝนที่ตกลงมานั้นมีผลต่อการคำนวณปริมาณน้ำที่ได้เป็นอย่างมากดังแสดงในตัวอย่างที่ 3.1 ซึ่งเป็นตัวอย่างในการนำเอาเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนโดยสมมติให้อัตราการไหลของน้ำฝนที่ผ่านปากกระบอกเครื่องมือวัดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่รัศมี 1.5 กิโลเมตร

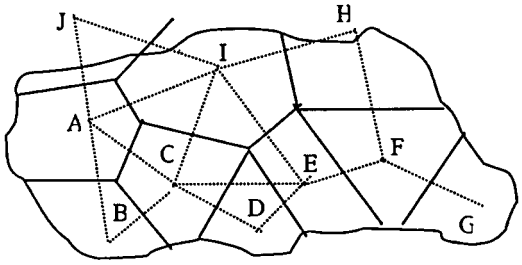
ตัวอย่างที่ 3.1 สมมติว่าเครื่องวัดปริมาณฝนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของปากกระบอกเป็น 20 เซนติเมตร โดยเครื่องวัดน้ำฝนเครื่องนี้ใช้ในการวัดปริมาณฝนในรัศมี 1.5 กิโลเมตร ซึ่งวัดปริมาณฝนได้ 1.0 มิลลิเมตร จากสมการที่ (1) สามารถคำนวณหาค่าปริมาณน้ำได้ดังต่อไปนี้

$$Q = 3.14 \times \left(\frac{1500}{2}\right)^2 \times 0.001 \quad = \quad 1{,}766.25 \text{ ลบ.ม.}$$

จากผลคำนวณดังกล่าวจะเห็นว่าถ้าหากกว่าฝนตกลงมาเพียง 1 มิลลิเมตรในรัศมีเพียง 1.5 กิโลเมตรจะทำให้เกิดปริมาณมากดังนั้นการหาค่าปริมาณฝนจึงมีความสำคัญต่อการคำนวณปริมาณน้ำเป็นอย่างมาก แต่เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วไม่สามารถที่จะกำหนดให้พื้นที่ต่างๆเป็นวงกลมดังการคำนวณตามตัวอย่างได้ ดังนั้นในการคำนวณปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนจึงใช้วิธีการแทนค่าพื้นที่รูปทรงกระบอกเป็นพื้นที่ที่กำหนดขอบเขตในการคำนวณที่แน่ชัดแทน

ดังนั้นในการที่จะหาค่าปริมาณฝนให้ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดจำเป็นจะต้องติดตั้งเครื่องมือวัดเป็นให้ครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุดเพื่อที่จะสามารถคำนวณหาค่าปริมาณฝนจากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่ให้ครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุด แต่สิ่งที่สำคัญในการหาค่าปริมาณฝนก็คือการหาพื้นที่ในการรับน้ำฝนดังนั้นหลังจากที่ติดตั้งเครื่องมือในการวัดค่าปริมาณน้ำฝนแล้วจะต้องทำการหาพื้นที่ในการรับน้ำของพื้นที่ที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนนั้นด้วย โดยปรกติแล้วในพื้นที่หนึ่งจะทำการติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนแล้วทำการหาค่าพื้นที่ในการรับน้ำโดยวิธีการเฉลี่ยพื้นที่รวมทั้งหมดกับจำนวนเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะทำให้การหาค่าปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนในพื้นที่หนึ่งๆภายในพื้นที่ดังกล่าวไม่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงนั้นจำเป็นจะต้องหาพื้นที่ในการรับน้ำของแต่ละพื้นที่ที่เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนนั้นๆติดตั้งอยู่ วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ก็คือ Thiessen Network ซึ่งเป็นวิธีในการแบ่งพื้นที่ในการรับน้ำของสถานีที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝน โดยใช้วิธีการลากเส้นตรงจากสถานีที่อยู่ติดกันและทำการลากเส้นตั้งฉากตรงกึ่งกลางเพื่อต่อกับสถานีที่อยู่ติดกันจนได้เป็นพื้นที่ปิดรอบสถานีนั้นดังแสดงในรูปที่ 3.3 ต่อจากนั้นจึงทำการหาพื้นที่รับน้ำตามที่อุปกรณ์วัดน้ำฝนนั้นติดตั้งอยู่ โดยพื้นที่ดังกล่าวก็คือพื้นที่ในการรับน้ำ Thiessen (Thiessen Area)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงการแบ่งพื้นที่ในการรับน้ำโดยวิธี Thiessen Network

จากรูปที่ 3.3 แสดงการแบ่งพื้นที่ในการรับน้ำโดยใช้วิธีการ Thiessen Network ซึ่งแต่ละจุดที่เครื่องมือตรวจวัดติดตั้งจะทำการวัดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่รับน้ำ Thiessen (Thiessen Area) กล่าวคือปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนในแต่ละพื้นที่รับน้ำ Thiessen สามารถนำมาคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนได้โดยใช้สมการที่ (1) โดยการหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งหมดก็สามารถทำได้โดยนำเอาค่าผลรวมของของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ Thiessen หารด้วยผลรวมของพื้นที่ Thiessen โดยแสดงตัวอย่างการหาค่าปริมาณฝนเฉลี่ยซึ่งกำหนดจุดติดตั้งเครื่องมือวัดน้ำฝนจำนวน 10 ตัวที่สถานีต่างๆ (A – J) เพื่อให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่หมด ซึ่งวิธีการของ Thiessen Network ก็จะทำการแบ่งพื้นที่ใหม่โดยทำการลากเส้นตรงจากสถานีที่อยู่ติดกันและทำการลากเส้นตั้งฉากตรงกึ่งกลางเพื่อต่อกับสถานีที่อยู่ติดกันจนได้เป็นพื้นที่ปิดรอบสถานีนั้นแล้วทำการหาพื้นที่ของแต่ละเครื่องวัดใหม่

การหาค่าปริมาณฝนโดยวิธีการ Thiessen Network ในการหาค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทำได้โดยบวกปริมาณน้ำฝนรวมทุกสถานีต่อพื้นที่ที่หาได้จากการลากเส้นดังกล่าวข้างต้นโดยพื้นที่ที่อุปกรณ์ติดตั้งอยู่ก็จะเป็นเปอร์เซนต์ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2) [2]

$$\text{Average precipitation} = \frac{\sum \text{Product}}{\sum \text{Area}} \qquad (2)$$

ตัวอย่างการหาค่าปริมาณน้ำฝนโดยวิธี Thiessen Network

จากรูปที่ 3.3 สมมติว่าได้ทำการแบ่งพื้นที่ของแต่ละสถานีตามวิธีการของ Thiessen Network และให้ปริมาณฝนที่ตกลงมาและพื้นที่ของแต่ละสถานีเป็นดังตารางที่ 3.1 และจะทำการหาค่าปริมาณฝนเฉลี่ยของพื้นที่รวมทั้งหมดได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงปริมาณฝนและพื้นที่ที่แบ่งแต่ละสถานีโดยวิธี Thiessen Network [2]

Station	Thiessen (km^2)	Precipitation (mm)	Product (km^2 mm)
A	72	3.50	252
B	34	4.46	152
C	76	4.28	325
D	40	5.90	236
E	76	6.34	482
F	92	5.62	517
G	46	5.20	239
H	40	5.26	211
I	86	3.86	332
J	6	3.30	20
Total	568	47.72	2766

$$\text{Average precipitation} = \frac{2766}{568} = 4.87 \text{ mm.}$$

จากตารางที่ 3.1 สามารถที่จะหาค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่รวมทั้งหมดได้จากสมการที่ (2) [2] ซึ่งจากตัวอย่างตามตารางปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเท่ากับ 4.87 มิลลิเมตร และปริมาตรน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนสามารถดูได้จากตารางที่ในช่อง Product ซึ่งปริมาตรน้ำที่ได้ในแต่ละสถานีก็จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในแต่ละพื้นที่รับน้ำ โดยเครื่องวัดแต่ละตัวจะเป็นตัววัดปริมาณน้ำฝนในพื้นที่นั้นๆและถ้าหากว่าจุดติดตั้งใดๆไม่มีฝนก็สามารถกำหนดได้ว่าไม่มีปริมาตรน้ำที่พื้นที่ย่อยนั้นๆ ซึ่งจะทำให้การหาค่าปริมาตรน้ำในแต่ละพื้นที่ใกล้เคียงความจริงมากยิ่งขึ้น

3.2 การไหลของน้ำโดยอาศัยการหลักการเคลื่อนตัวของน้ำ

หลังจากที่ทำการหาปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนที่ไหลลงสู่แม่น้ำแล้วต่อมาก็จะทำการหาปริมาณน้ำที่ไหลจากต้นแม่น้ำหรือจุดที่กำหนดให้เป็นจุดตรวจวัดโดยจะทำการคำนวณปริมาณน้ำโดยใช้วิธีการเคลื่อนตัวของน้ำซึ่งน้ำที่ไหลเข้ามาที่จุดตรวจวัดทั้งด้านบนและด้านล่างแล้วใช้สมการ Storage Routing ดังสมการที่ (3) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I - O = \frac{dS}{dt} \qquad (3)$$

โดยที่

I และ O = Inflow และ Outflow Storage

S = Storage

T = Time

ถ้าหากว่า Outflow (O) เป็นสัดส่วนกับ Storage (S) จะได้สมการที่ (4) [3]

$$S = T_s O \qquad (4)$$

โดยที่

T_s = Time of Storage ต่อช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น

เมื่อแทนค่าสมการที่ (3) [3] ด้วยสมการที่ (4) [3] จะได้สมการที่ (5) [3]

$$\frac{dO}{dt} = \frac{I - O}{T_s} \qquad (5)$$

ซึ่งสามารถนำเอาสมการ Storage Routing มาทำการหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลออก ณ. ช่วงเวลาล่วงหน้าซึ่งสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (6) [3]

$$O_2 = \left(\frac{I_m - O_1}{T_s + \frac{\Delta t}{2}} \right) \Delta t + O_1 \qquad (6)$$

โดยที่

O_1 และ O_2 = Outflow ที่เวลา t_1 และ t_2

I_m = ค่าเฉลี่ยของ Inflow $(I_1 + I_2)/2$

Δt = ช่วงเวลา $t_2 - t_1$

จากสมการที่ (6) [3] จะเป็นการหาค่าปริมาตรน้ำที่เก็บอยู่ในช่วงน้ำในช่วงเวลาหนึ่งๆ Δt โดยเริ่มตั้งแต่เวลา t_1 จนกระทั่งถึง t_2 โดยสามารถหาค่าปริมาตรน้ำที่ถูกเก็บที่ช่วงท้ายของช่วงเวลา (t_2) ได้โดยกำหนดให้ค่าปริมาตรน้ำที่เข้ามาเป็นค่าเฉลี่ย $(I_1 + I_2)/2$ และปริมาตรน้ำที่เวลา t_1 ซึ่งในแต่ละสถานีก็จะทำการคำนวณไปพร้อมๆกันเพื่อให้ทราบค่าปริมาตรน้ำที่ถูกเก็บอยู่ในช่วงน้ำแต่ละช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกำหนดให้ไม่มีน้ำไหลเข้ามาในช่วงน้ำที่สถานี A เพื่อที่จะทำให้ทราบอัตราการลดลงของปริมาตรน้ำที่ไหลจากสถานีหนึ่งไปยังอีกสถานีหนึ่งซึ่งถูกคำนวณที่ฐานเวลาเดียวกัน หลังจากที่ได้ทำการหาค่าปริมาตรน้ำที่ถูกเก็บอยู่ในช่วงน้ำที่กำหนดแล้วก็จะทำการนำเอาค่าปริมาตรน้ำที่ถูกเก็บอยู่ในช่วง Time of Storage ดังกล่าวมาทำการหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลออกจากช่วงน้ำโดยการนำเอาค่า Time of Storage ที่คำนวณได้มาทำการคำนวณตามช่วงเวลาโดยนำค่าที่คำนวณได้มาคำนวณเรื่อยๆต่อไป (Incremental) โดยใช้สมการที่ (7) [3] ดังนี้

$$T_s = \frac{KTS}{Q^n} \qquad (7)$$

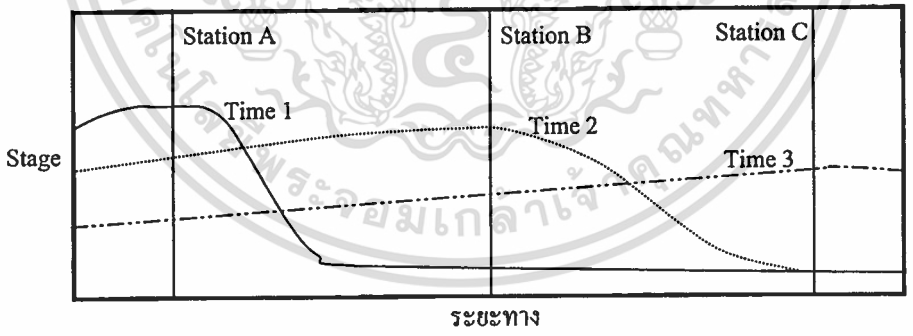
โดยที่

KTS = ค่าคงที่ที่ได้จากการวัดอัตราการไหลของน้ำ

Q = ปริมาณน้ำ (ลบ.ม.)

n = สัมประสิทธิ์ต้านการไหลโดยมีค่า –1 ถึง 1

จากสมการที่ (7) [3] จะทำการคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลออกจากช่วงน้ำซึ่งสามารถที่จะคำนวณปริมาณน้ำจากสถานีหนึ่งจนกระทั่งถึงอีกสถานีหนึ่งโดยการคำนวณก็จะทำการคำนวณปริมาณน้ำ ณ. ที่เวลาต่างๆซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและออกที่เวลาต่างๆของแต่ละสถานี

จากรูปที่ 3.4 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าที่สถานี A ณ.เวลา Time 1 โดยที่ปริมาณน้ำที่สถานี B และสถานี C ณ.เวลา Time 1 จะต่ำมากเนื่องจากน้ำที่เข้ามาที่สถานี A นั้นยังไหลไม่ถึงสถานี B และสถานี C ต่อมาที่เวลา Time 2 ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาที่ A ณ.เวลา Time 1 ไหลลงมาถึงสถานี B ทำให้ปริมาณน้ำที่สถานี B มีค่าปริมาณน้ำมากขึ้นส่วนสถานี C นั้นระดับน้ำยังเท่าเดิม และต่อมาที่เวลา Time 3 ระดับน้ำที่สถานีที่ 3 จะมากขึ้นเนื่องจากน้ำจากสถานี B ไหลลงมาถึงสถานี C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาแล้วเป็นการหาค่าปริมาณน้ำโดยใช้ช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นของ Time of Storage ซึ่งคำนวณโดยใช้เงื่อนไขที่ไม่มี Inflow เข้ามาซึ่งสามารถนำค่าที่คำนวณได้มาใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณการไหลของน้ำที่ไหลในแม่น้ำและสถานีตรวจวัดต่างๆ โดยการไหลของน้ำจะเป็นลักษณะต่อเนื่องซึ่งการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีแต่ละสถานีนั้นจะใช้สมการ Flood Flow ซึ่งแสดงในสมการที่ (8) [3] และสมการที่ (9) [3] ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + T\frac{\partial H}{\partial t} - q = 0 \qquad (8)$$

$$2M \times \frac{Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x} - M \times \frac{Q^2}{A^2}\frac{\partial A}{\partial x} + \frac{Q^2}{A}\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} +$$

$$gA\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{gAQ|Q|}{\left[\sum_{i=2}^{3} Ki\right]^2} - qu = 0 \qquad (9)$$

โดยที่

Q = ปริมาณน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

q = ปริมาณน้ำต่อหน่วยความยาวที่ไหลเข้าสู่แม่น้ำในแนวตั้งฉาก (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

H = ระดับน้ำ (เมตร)

T = ความกว้างของลำแม่น้ำที่สถานีตรวจวัด (เมตร)

A = พื้นที่หน้าตัดของลำแม่น้ำที่สถานีตรวจวัด (ตารางเมตร)

K = Conveyance Correction factor

M = Momentum Correction factor

x , t = ระยะทาง (กิโลเมตร) และ ช่วงเวลา (นาที)

u = ความเร็วในการไหลของกระแสน้ำของ q (เมตร/วินาที)

n = สัมประสิทธิ์ต้านการไหล (-1 ถึง 1)

พารามิเตอร์ K และ M สามารถหาได้ดังสมการที่ (10) [3] และ (11) [3] โดย

$$K_i = \frac{1}{n_i} \times A_i \times R_i^{\frac{2}{3}} \qquad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

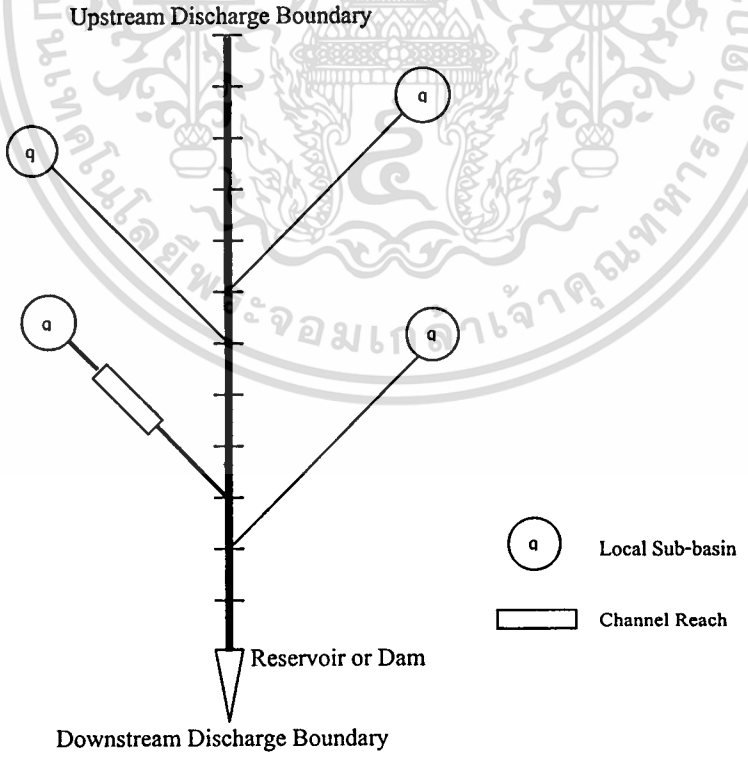
$$M = \frac{\sum_{i=1}^{3} \rho \times Q_i \times V_i}{\rho \times Q \times V} \qquad (11)$$

i = Index number ของพื้นที่หน้าตัดของลำแม่น้ำ

ρ = Water Density

V = ความเร็วของกระแสน้ำในลำแม่น้ำ (เมตร/วินาที)

โดยในการที่จะคำนวณหาค่าระดับน้ำหรือปริมาณน้ำที่สถานีต่างๆนั้น ในการคำนวณจะสมมติว่าแม่น้ำที่ไหลจากต้นน้ำจนกระทั่งถึงเขื่อนเป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยกำหนดให้ต้นแม่น้ำเป็น Upstream Discharge Boundary และท้ายเขื่อนเป็น Downstream Boundary และที่จุดวงกลมแสดงถึงปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในลุ่มน้ำอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนที่ตกอยู่บริเวณสถานีต่างๆ ตามลำแม่น้ำและเครื่องหมายสี่เหลี่ยมแสดงถึงลำน้ำที่ไหลมารวมกับแม่น้ำสายหลักและระหว่างช่วงน้ำก็จะทำการแบ่งระยะทางของช่วงน้ำออกเป็นช่วงๆ ตามความยาวลำน้ำ ซึ่งรูปที่ 3.5 แสดงถึงช่วงน้ำทั้งหมดตั้งแต่ต้นน้ำจนกระทั่งถึงเขื่อนซึ่งในช่วงน้ำนี้ก็จะทำการแบ่งออกเป็นช่วงน้ำย่อยๆ โดยใช้สถานีตรวจวัดต่างๆเป็นจุดแบ่งช่วงน้ำ



รูปที่ 3.5 รูปแสดงลำน้ำในรูปเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (8) [3] และ (9) [3] เมื่อนำมาใช้ในการหาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำในลักษณะที่เป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 3.5 นั้น โดยสมการที่ (9) [3] สามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปอย่างง่ายนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (12) [3]

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{A^2}\frac{\partial A}{\partial x} +$$

$$gA\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{gn^2 Q|Q|}{AR^{4/3}} = 0 \qquad (12)$$

จากสมการที่ (8) [3] และสมการที่ (12) [3] สามารถแก้สมการได้โดยใช้วิธี Finite Difference Approximation โดยการแปลงสมการที่ (8) [3] และสมการที่ (12) [3] สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ Linear Difference equation ดังแสดงได้จากสมการที่ (13) [3] และสมการที่ (14) [3]

$$C(P,Q)\Delta H(P) + D(P,Q)\ \Delta H(Q) + E(P,Q)\ \Delta Q(P) + F(P,Q)\ \Delta Q(Q) + K(P,Q) = 0 \qquad (13)$$

$$C'(P,Q)\Delta H(P) + D'(P,Q)\ \Delta H(Q) + E'(P,Q)\ \Delta Q(P) +$$
$$F'(P,Q)\ \Delta Q(Q) + K'(P,Q) = 0 \qquad (14)$$

จากสมการที่ (13) [3] และสมการที่ (14) [3] สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ C, D, E, F, K, C', D', E', F' และ K' ของสมการได้ดังสมการที่ (15) [3] (16) [3] (17) [3] (18) [3] (19) [3] (20) [3] (21) [3] และ (22) [3] ต่อไปนี้

$$C(P,Q) = D(P,Q) = \left[\frac{T(P) + T(Q)}{2}\right] \cdot \Delta x \qquad (15)$$

$$E(P,Q) = -F(P,Q) = -2 \cdot \Delta t \qquad (16)$$

$$K(P,Q) = 2\Delta t \times [Q(Q) - Q(P)] \qquad (17)$$

และ

$$C'(P,Q) = -g \cdot \Delta t\ \{A(P) + A(Q)\} \qquad (18)$$

$$D'(P,Q) = g \cdot \Delta t\ \{A(P) + A(Q)\} \qquad (19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E'(P,Q) = \Delta x - \frac{8 \cdot \Delta t \cdot Q(Q)}{\{A(P) + A(Q)\}} + \frac{2^{7/3} g \cdot \Delta x \cdot \Delta t \cdot n^2 \cdot \{Q(P) + Q(Q)\}}{\{A(P) + A(Q)\} \cdot \{R(P) + R(Q)\}^{4/3}} \times \frac{|\{Q(P) + Q(Q)\}|}{Q(P) + Q(Q)} - \frac{4 \cdot \Delta t \cdot \{A(Q) - A(P)\} \cdot \{Q(P) + Q(Q)\}}{\{A(P) + A(Q)\}^2} \quad (20)$$

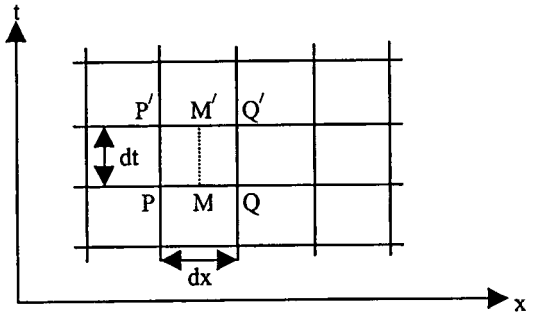
$$F'(P,Q) = \Delta x - \frac{8 \cdot \Delta t \cdot Q(Q)}{\{A(P) + A(Q)\}} + \frac{2^{7/3} g \cdot \Delta x \cdot \Delta t \cdot n^2 \cdot \{Q(P) + Q(Q)\}}{\{A(P) + A(Q)\} \cdot \{R(P) + R(Q)\}^{4/3}} \times \frac{|\{Q(P) + Q(Q)\}|}{Q(P) + Q(Q)} - \frac{4 \cdot \Delta t \cdot \{A(Q) - A(P)\} \cdot \{Q(P) + Q(Q)\}}{\{A(P) + A(Q)\}^2} \quad (21)$$

$$K'(P,Q) = \frac{4 \cdot \Delta t \cdot \left(Q(Q)\right)^2 - \left(Q(P)\right)^2}{\{A(P) + A(Q)\}} + g \cdot \Delta t \cdot \{A(P) + A(Q)\} \times \{H(Q) - H(P)\} + \frac{2^{4/3} \cdot g \cdot \Delta x \cdot \Delta t \cdot n^2 \cdot \{Q(P) + Q(Q)\}^2}{\{A(P) + A(Q)\} \cdot \{R(P) + R(Q)\}^{4/3}} \times \frac{|Q(P) + Q(Q)|}{Q(P) + Q(Q)} - \frac{2 \cdot \Delta t \cdot \{A(Q) - A(P)\} \cdot \{Q(P) + Q(Q)\}}{\{A(P) + A(Q)\}^2} \quad (22)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ C(P,Q) D(P,Q) E(P,Q) F(P,Q) K(P,Q) และ $C'(P,Q)$ $D'(P,Q)$ $E'(P,Q)$ $D'(P,Q)$ $E'(P,Q)$ $F'(P,Q)$ $K'(P,Q)$ ของสมการ (13) [3] และ (14) [3] ซึ่งเป็นค่าที่ทราบค่าแล้วเช่น Δx, Δt, n, g, Q, H, A, t ซึ่งค่าต่างๆที่ได้สามารถหาได้จากการคำนวณครั้งก่อน

ซึ่งในการแก้สมการที่ (13) [3] และ (14) [3] นั้นสามารถที่จะสร้างตารางเพื่อแทนจุดตรวจวัดต่างๆต้นแม่น้ำหรือจุดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดแรกในการตรวจวัด (Upstream) จนกระทั่งถึงท้ายช่วงน้ำ (Downstream) ซึ่งจะเรียกว่า Boundary Condition ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งสมการที่ (13) [3] และ (14) [3] เป็นสมการที่เขียนโดยใช้จุดตัด $PQQ'P'$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

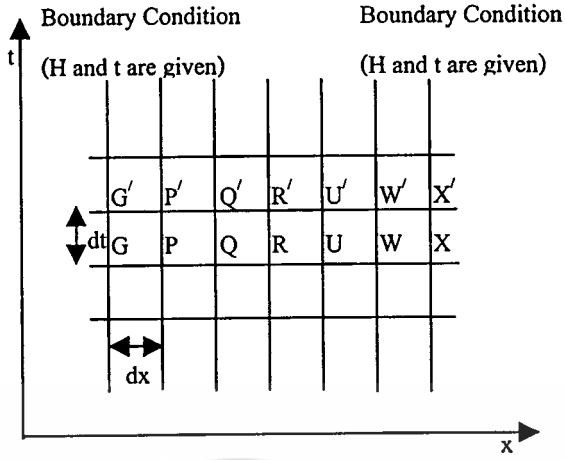


รูปที่ 3.6 แสดงตารางที่ใช้ในการแก้สมการ [9]

จากรูปที่ 3.6 แสดงตารางที่ใช้ในการแก้สมการโดยแสดงถึงแกนระยะทาง (x) และ เวลา (t) โดยกำหนดให้แต่ละจุดที่ตัดกันของตารางในแนวแกนระยะทางแทนระยะทางระหว่างสถานีตรวจวัดโดยช่วงห่างระหว่างสถานีแสดงช่วงระยะทาง Δx และในแนวแกนเวลาแสดงเวลา ณ. เวลาที่ทำการคำนวณโดยระหว่างจุดตัดแสดงช่วงเวลา Δt โดยแต่ละจุดตัดของตารางต่างก็จะมีจุดละ 2 สมการ โดยถ้าให้ NG เท่ากับจำนวนจุดตัดดังนั้นสมการทั้งหมดจะเท่ากับ 2NG ซึ่งค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าจะมากกว่าจำนวนสมการอยู่ 2 ตัวดังนั้นจำนวนตัวแปรเท่ากับ 2 + 2NG ซึ่งในการคำนวณนั้นจะต้องทำการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรที่ไม่ทราบค่าทั้ง 2 ซึ่งก็คือค่าระดับน้ำ (H) หรือปริมาณน้ำ (Q) ที่ Upstream หรือระดับน้ำ (H) หรือปริมาณน้ำ (Q) ที่ Downstream เพียง 2 ตัวเท่านั้น

ในการนำเอาสมการที่ (13) [3] และสมการที่ (14) [3] มาใช้ในการคำนวณนั้นจะทำการเขียนรูปใหม่ที่มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 3.6 ให้เป็นรูปที่ 3.7 ซึ่งเป็นรูปแสดงตารางในการคำนวณระดับน้ำและปริมาณน้ำในลักษณะเส้นตรง โดยกำหนดให้จุด G และจุด X เป็น Boundary Condition สำหรับจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รูปแสดงจุดตัดระหว่างระยะทางและเวลาในกรณีแม่น้ำมีลักษณะเป็นเส้นตรง

จากรูปที่ 3.7 ที่จุดตัด G,P,P',G' สามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (23) [3] และสมการที่ (24) [3]

$$C(G,P)\,\Delta H(G) + D(G,P)\,\Delta H(P) + E(G,P)\,\Delta Q(G) + F(G,P)\,\Delta Q(P) + K(G,P) = 0 \qquad (23)$$

$$C'(G,P)\,\Delta H(G) + D'(G,P)\,\Delta H(P) + E'(G,P)\,\Delta Q(G) + F'(G,P)\,\Delta Q(P) + K'(G,P) = 0 \qquad (24)$$

แทนค่า $\Delta H(G)$ ในสมการที่ (23) [3] และ (24) [3] และให้

$$J(G,P) = K(G,P) + C(G,P)\,\Delta H(G)$$

$$J'(G,P) = K'(G,P) + C'(G,P)\,\Delta H(G)$$

แทนค่า J และ J′ ลงในสมการที่ (23) [3] และ (24) [3] และเขียนสมการใหม่ดังสมการที่ (25) [3] และสมการที่ (26) [3]

$$D(G,P)\,\Delta H(P) + E(G,P)\,\Delta Q(G) + F(G,P)\,\Delta Q(P) + J(G,P) = 0 \qquad (25)$$

$$D'(G,P)\,\Delta H(P) + E'(G,P)\,\Delta Q(G) + F'(G,P)\,\Delta Q(P) + J'(G,P) = 0 \qquad (26)$$

และสามารถหาค่า $\Delta Q(P)$ ได้ดังสมการที่ (27) [3]

$$\Delta Q(P) = \gamma(G,P) \times \Delta H(P) + \beta(G,P) \qquad (27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$\gamma = (D'E - DE') / (FE' - F'E) |_{(G,P)}$$

$$\beta = (J'E - JE') / (FE' - F'E) |_{(G,P)}$$

จากรูปที่ 3.7 ที่จุดตัด P,Q,Q',P' สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (28) [3] และสมการที่ (29) [3]

$$C(P,Q)\,\Delta H(P) + D(P,Q)\,\Delta H(Q) + E(P,Q)\,\Delta Q(P) + F(P,Q)\,\Delta Q(Q) + K(P,Q) = 0 \qquad (28)$$

$$C'(P,Q)\,\Delta H(P) + D'(P,Q)\,\Delta H(Q) + E'(P,Q)\,\Delta Q(P) + F'(P,Q)\,\Delta Q(Q) + K'(P,Q) = 0 \qquad (29)$$

แทนค่า $\Delta Q(P)$ จากสมการที่ (27) [3] ลงในสมการที่ (28) [3] และสมการที่ (29) [3] และทำการลดรูปตัวแปร $\Delta H(P)$ และทำการหาค่า $\Delta Q(Q)$ ในรูปของ $\Delta H(Q)$ ดังสมการที่ (30) [3]

$$\Delta Q(Q) = \theta(P,Q) \times \Delta H(Q) + \omega(P,Q) \qquad (30)$$

โดยที่

$$\theta(P,Q) = [D'(C + E\gamma)] - [D(C' + E\gamma)] / [F(C' + E'\gamma)] - [F'(C + E\gamma)]$$

$$\omega(P,Q) = [(K' + E'\beta) - (C + E) - (K + E\beta)(C' + E'\beta)] / [F(C' + E'\gamma) - F'(C + E\gamma)]$$

โดยที่ $\beta = \beta(G,P)$

ในทำนองเดียวกันสามารถหาค่า $\Delta Q(R)$ จากจุดตัด Q,R,R',Q' ได้ดังสมการที่ (31) [3]

$$\Delta Q(R) = \theta(Q,P) \times \Delta H(R) + \omega(Q,R) \qquad (31)$$

และสามารถหาค่า ΔQ จากจุดตัดต่างๆได้ในลักษณะเดียวกันนี้จนกระทั่งถึงจุดตัดสุดท้ายที่ Boundary Condition W,X,X',W' ได้ดังสมการที่ (32) [3]

$$\Delta Q(X) = \theta(W,X) \times \Delta H(X) + \omega(W,X) \qquad (32)$$

จากสมการที่ (32) [3] $\Delta H(X)$ เป็นค่าเริ่มต้นที่กำหนดเอาไว้ก่อนหรือ (Boundary Condition) ดังนั้นเมื่อแทนค่า $\Delta H(X)$ ลงในสมการแล้วสามารถหาค่า $\Delta Q(X)$ ได้จากสมการที่ (32) [3] ได้โดยตรง

จากสมการที่ (28) [3] และสมการที่ (29) [3] สามารถที่จะลดรูป $\Delta Q(P)$ ได้โดยนำเอา $E'(P,Q)$ และ $-E(P,Q)$ คูณเข้าไปในสมการตามลำดับ ซึ่งทำให้สามารถหาค่า $\Delta H(P)$ ได้ดังสมการที่ (33) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta H(P) = L(P,Q)\,\Delta H(Q) + M(P,Q)\,\Delta Q(Q) + N(P,Q) \qquad (33)$$

โดย

$$L(P,Q) = (D'E - DE') / (CE' - C'E)\,|_{(P,Q)}$$
$$M(P,Q) = (F'E - FE') / (CE' - C'E)\,|_{(P,Q)}$$
$$N(P,Q) = (K'E - KE') / (CE' - C'E)\,|_{(P,Q)}$$

ดังนั้นเมื่อได้ค่า $\Delta H(P)$ ก็สามารถที่จะหาค่า $\Delta Q(P)$ ได้โดยแทนค่าลงในสมการที่ (27) [3] ในการหาค่า $\Delta Q(G)$ สามารถทำได้โดยการหาค่า ΔH และค่า ΔQ ของทุกจุดตัดโดยทำการหาค่าดังกล่าวตั้งแต่จุดตัดสุดท้ายในที่นี้คือ $WXX'W'$ เรื่อยลงมาจนกระทั่งถึงจุดตัดแรกซึ่งในที่นี้ก็คือ $GPP'G'$ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (34) [3]

$$\Delta Q(G) = \alpha\,\Delta H(P) + \beta\,\Delta Q(P) + \nu \qquad (34)$$

โดยที่

$$\alpha = (CD' - C'D) / (CE' - C'E)$$
$$\beta = (CF' - C'F) / (CE' - C'E)$$
$$\nu = (CK' - C'K) / (CE' - C'E)$$

ในทำนองเดียวกันสามารถหาค่าปริมาณน้ำ (Q) ได้โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของปริมาณน้ำและทำการคำนวณโดยใช้วิธีเดียวกันแต่เปลี่ยนจากค่าระดับน้ำ (H) เป็นค่าปริมาณน้ำ (Q)

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถนำมาสรุปเป็นขั้นตอนการคำนวณก่อนที่จะนำเอาหลักการดังกล่าวมาทำการออกแบบโปรแกรมในการคำนวณ โดยทำการกำหนดค่า $\Delta H(G)$ ที่เวลาใดๆ $n\Delta t$ ในการคำนวณหาค่าระดับน้ำหรือปริมาณน้ำสามารถทำได้โดยทำตามขั้นตอนต่างๆได้ดังนี้

1. ทำการหาค่าระดับน้ำ (H) หรือปริมาณน้ำ (Q) เพื่อกำหนดให้เป็นค่าเริ่มต้นโดยอาจจะมาจากการวัดค่าระดับน้ำหรือปริมาณน้ำที่สถานีตรวจวัดต่างๆหรืออาจจะมาจากการคำนวณก่อนหน้านี้ก็ได้ และนำเอาค่าที่ได้จากการสำรวจภูมิประเทศของลุ่มน้ำต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ C, D, E, F, K และ C', D', E', F', K' ดังสมการที่ (15) [3] ถึง สมการที่ (22) [3] สำหรับทุกๆจุดตัดที่จะทำการคำนวณ

2. ทำการกำหนดค่า $\Delta H(G)$ และ $\Delta H(X)$ ณ. ช่วงเวลาใดๆ ($n\Delta t$) เพื่อกำหนดเป็น Boundary Condition ที่ใช้ในการคำนวณ โดยกำหนด Boundary Condition นั้นจะทำการกำหนดค่า ΔH หรือ ΔQ ค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้นซึ่งถ้าหากกำหนดค่า ΔH ก็จะต้องทำการกำหนดทั้งด้านสถานีตรวจวัดเริ่มต้นและที่สถานีที่เชื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการคำนวณหาค่า γ และ β ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ (27) [3] และ θ และ ω ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ (30) [3] และสมการที่ (31) [3] สำหรับทุกๆจุดตัด

4. ทำการคำนวณหาค่า L, M, N ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ (33) [3] สำหรับทุกๆจุดตัด

5. จากค่า Boundary Condition ที่จุดตัดที่ X ซึ่งสามารถที่จะหาค่า $\Delta Q(X)$ จากสมการที่ (32) [3] โดยใช้ค่า Boundary Condition $\Delta H(X)$

6. คำนวณหาค่า $\Delta H(W)$ โดยใช้สมการที่เหมือนกับสมการที่ (33) [3] และค่า L, M, N ที่ได้ทำการคำนวณไว้ก่อนแล้ว ต่อจากนั้นก็ทำการหาค่า $\Delta Q(W)$ โดยใช้สมการที่เหมือนกับสมการที่ (32) [3] โดยใช้ค่า $\Delta H(W)$ ที่คำนวณได้ก่อนหน้านี้

7. ทำการคำนวณซ้ำข้อ 5. และข้อ 6. จากจุดตัดถึงจุดตัดเรื่อยลงมาจนกระทั่งถึงจุดตัด G,P,P′,G′ โดยที่ค่า $\Delta Q(G)$ สามารถหาได้จากสมการที่ (23) [3] และสมการที่ (25) [3] โดยใช้ค่าที่ทราบค่าแล้วก็คือ $\Delta H(P)$, $\Delta Q(P)$, $\Delta H(G)$ ในการคำนวณ และในการคำนวณหาค่า $\Delta Q(G)$ ซึ่งสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (34) [3] ในทำนองเดียวกันถ้าหากว่าค่า Boundary Condition เป็นค่าปริมาณน้ำ (Q) ก็ใช้วิธีเดียวกันนี้ในการคำนวณ แต่เปลี่ยนจากการหาค่า ΔH เป็นค่า ΔQ

8. คำนวณค่า Q และ H ที่เวลา $t + \Delta t$ โดยการบวกค่า ΔH หรือ ΔQ ที่คำนวณได้กับค่า H หรือ Q ที่ทุกๆจุดที่ใช้ในการคำนวณและค่า H หรือ Q ระหว่างจุดตัดแต่ละจุดสามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีการ Interpolation ในการคำนวณใช้ค่า Q และ H ที่คำนวณได้จากข้อ 8. เป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณต่อไปได้ตามต้องการ โดยทำซ้ำข้อ 1.

3.3 ความสมดุลย์ของน้ำ (Water Balance)

Water Balance เป็นวิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาตรน้ำที่เข้ามาในลุ่มน้ำหรือระบบทั้งหมด โดยปริมาตรน้ำที่เข้ามาจะต้องเท่ากับปริมาตรน้ำที่ออกจากระบบ โดยถ้าหากว่าปริมาตรน้ำที่เข้ามาในระบบทั้งหมดก็คือน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝน จะต้องเท่ากับปริมาณน้ำที่ระเหย ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม หรือประปา ฯลฯ เป็นต้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้หลักการของ Water Balance ในการตรวจสอบหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อนและปริมาณน้ำที่เขื่อนปล่อยน้ำออกทางด้านท้ายเขื่อน โดยตารางที่ 3.2 แสดง Water Balance ซึ่งจะแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อนกับปริมาณน้ำที่สูญเสียไปต่างๆเช่นการสูญเสียจากการระเหยและปริมาณการระบายน้ำออกจากเขื่อนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดง Water Balance [8]

วันที่	ปริมาตรน้ำในเขื่อนปัจจุบัน	น้ำไหลเข้า	น้ำไหลออก	การระเหย	ปริมาตรน้ำในเขื่อนวันรุ่งขึ้น
1/11/00	685.4	31.13	23.76	0.465	692.54
2/11/00	692.54	33.85	25.10	0.467	700.82
3/11/00	700.82	33.95	25.20	0.469	709.10
4/11/00	709.10	36.84	25.32	0.471	720.14
5/11/00	720.14	36.14	21.86	0.474	733.94
6/11/00	733.94	32.56	22.43	0.477	743.60
7/11/00	743.60	31.83	23.07	0.480	751.88
8/11/00	751.88	32.57	22.43	0.482	761.54
9/11/00	761.54	28.33	22.33	0.484	767.06
10/11/00	767.06	32.52	21.00	0.486	778.10
11/11/00	778.10	36.44	18.65	0.489	795.50
12/11/00	795.50	32.39	19.64	0.501	807.75
13/11/00	807.75	25.92	23.65	0.513	809.50
14/11/00	809.50	31.91	26.15	0.515	814.75
15/11/00	814.75	24.12	25.35	0.520	813.00

จากตารางที่ 3.2 เป็นตารางแสดง Water Balance ที่ใช้ในการเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ไหลเข้าเขื่อนและปริมาณน้ำที่ไหลออกจากเขื่อนและปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหย ซึ่งทำการหาค่า Water Balance โดยวัดค่าระดับน้ำในเขื่อนเพื่อทำการคำนวณหาค่าปริมาตรน้ำที่เก็บกักอยู่ที่หน้าเขื่อน ต่อจากนั้นก็ทำการหาค่าปริมาตรน้ำทั้งหมดที่ปล่อยออกจากเขื่อนและทำการหาค่าปริมาณการระเหยของน้ำที่เก็บกักอยู่ที่หน้าเขื่อน โดยปริมาตรน้ำที่ไหลเข้าเขื่อนเท่ากับปริมาตรน้ำที่ถูกเก็บอยู่ที่หน้าเขื่อนของวันรุ่งขึ้นซึ่งได้จากการคำนวณพยากรณ์ปริมาตรน้ำที่เก็บกักอยู่ที่หน้าเขื่อนล่วงหน้า 1 วัน ลบออกจากปริมาตรน้ำที่ถูกเก็บกักอยู่ที่หน้าเขื่อน ณ. เวลาปัจจุบัน และบวกกับปริมาณการระบายน้ำออกจากเขื่อนและอัตราการระเหยของน้ำที่หน้าเขื่อนรวมไปถึงปริมาณการรั่วซึมของน้ำ ซึ่งจากตารางที่ 3.2 แสดงการหาค่า Water Balance เป็นเวลา 15 วัน ตั้งแต่วันที่ 1 – 15 พฤศจิกายน 2542

. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในระบบ SCADA

ในการออกแบบโปรแกรมเพื่อนำเอามาใช้กับระบบ SCADA เพื่อควบคุมระดับน้ำในเขื่อนนั้น สามารถทำได้โดยการนำเอากราฟที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำที่หน้าเขื่อน (Rule Curve) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 มาเป็นเกณฑ์ในการควบคุมระดับน้ำ โดยการควบคุมระดับน้ำที่หน้าเขื่อนนั้นจะต้องทำการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนให้เป็นไปตาม Rule Curve ซึ่งจะมีค่าระดับน้ำที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาต่างๆของแต่ละปี โดยในแต่ละปีก็จะทำการหาค่า Rule Curve โดยการนำเอาข้อมูลที่เก็บสะสมในแต่ละปีเช่นค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละปีหรือปริมาณน้ำหรือระดับน้ำที่หน้าเขื่อนตามช่วงเวลาที่ทำการเก็บรวบรวมสถิติในแต่ละปีและถ้าหากว่าในปีนี้เกิดปริมาณน้ำฝนที่มากกว่าปรกติที่เคยเป็นมาก็สามารถที่จะทำการปรับ Rule Curve เพื่อให้ระดับน้ำที่ต้องการที่จะควบคุมที่หน้าเขื่อนมีระดับที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้เขื่อนสามารถที่จะมีพื้นที่อย่างเพียงพอในการรับปริมาณน้ำหลากที่อาจจะเกิดขึ้นได้หรือเขื่อนจะต้องสามารถที่จะเก็บกักน้ำให้มากพอที่จะมีน้ำใช้อย่างเพียงพอในหน้าแล้ง ดังนั้นจึงได้แบ่งการพยากรณ์เพื่อกำหนดค่าระดับน้ำในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละปีออกเป็น 3 ระดับคือ

- การพยากรณ์ระยะสั้น
- การพยากรณ์ระยะกลาง
- การพยากรณ์ระยะยาว

การพยากรณ์ระยะสั้นเป็นการพยากรณ์ในช่วงเวลาสั้นๆ โดยระยะเวลาในการพยากรณ์อาจจะเป็นการพยากรณ์ทุกชั่วโมงหรือทุกวัน

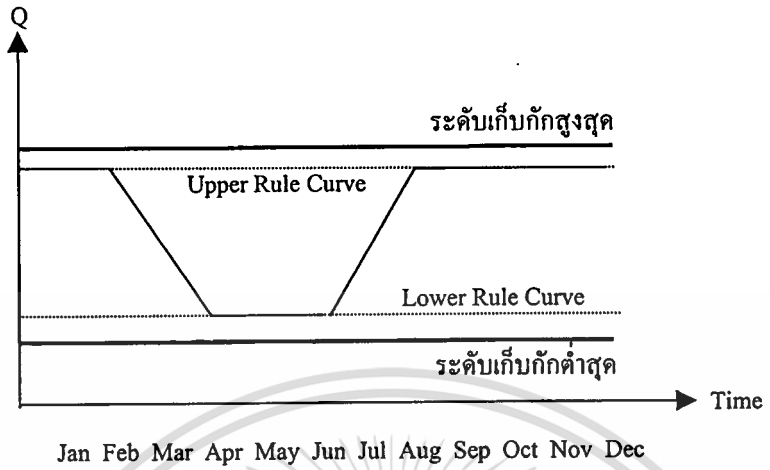
การพยากรณ์ระยะกลางเป็นการพยากรณ์ในช่วงเวลาปานกลาง โดยระยะเวลาในการพยากรณ์อาจจะเป็นทุกๆสัปดาห์หรือทุกๆเดือนซึ่งก็ขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตกลงมาถ้าหากว่ามีปริมาณมากก็อาจจะทำการพยากรณ์เพื่อทำการกำหนดค่า Rule Curve ให้เหมาะสมกับช่วงเวลานั้นๆ

การพยากรณ์ระยะยาวเป็นการพยากรณ์ในช่วงระยะเวลายาวๆซึ่งอาจจะทำเพียงปีละ 1 ครั้งเพื่อเป็นการกำหนดปริมาณน้ำที่จะต้องใช้และปริมาณน้ำที่ได้เพื่อกำหนดเป็นเกณฑ์คร่าวๆในแต่ละปี

จากที่กล่าวมาแล้วว่าการควบคุมระดับน้ำที่เขื่อนสามารถทำได้โดยใช้ Rule Curve และ Rule Curve สามารถหาจากข้อมูลระดับน้ำที่หน้าเขื่อนและปริมาณน้ำฝนที่ได้ทำการบันทึกเอาไว้และจัดเก็บเป็นข้อมูลทางสถิติจากอดีตที่ผ่านมา ดังนั้นจึงสามารถนำเอาข้อมูลดังกล่าวมาทำการพยากรณ์ระดับน้ำที่หน้าเขื่อนและปริมาณน้ำที่เข้ามาที่เขื่อน และค่าที่ได้จากการพยากรณ์ดังกล่าวก็จะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาสร้าง Rule Curve เพื่อนำ Rule Curve มาใช้เป็นเกณฑ์กำหนดในการควบคุมระดับน้ำที่หน้าเขื่อนต่อไป



รูปที่ 4.1 แสดง Rule Curve

การออกแบบโปรแกรมเพื่อควบคุมระดับน้ำหรือปริมาณน้ำในเขื่อนโดยใช้ระบบ SCADA ก็เพื่อที่จะนำเอาค่าปริมาณน้ำฝน ค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่สถานีตรวจวัดจาก RTU ทุกตัวในระบบ SCADA ซึ่งได้ทำการติดตั้งอยู่ที่สถานีตรวจวัดต่างๆตามลำแม่น้ำมาทำการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำหรือระดับน้ำที่เขื่อนที่เวลาหนึ่งๆ ซึ่งการคำนวณดังกล่าวสามารถหาได้จากสมการที่ (8) [3] และสมการที่ (12) [3] โดยนำค่าที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดเป็นค่าเริ่มต้นให้กับสมการดังกล่าว และทำการกำหนดค่าที่ต้องการที่จะควบคุมให้กับสมการ โดยนำเอาค่าระดับน้ำหรือปริมาณน้ำที่ต้องการที่จะควบคุมมาจาก Rule Curve มาเป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการควบคุมโดยถ้าหากปริมาณน้ำมีปริมาณมากกว่าค่าที่ Rule Curve กำหนดก็จะทำการระบายน้ำออกจากเขื่อนโดยการระบายน้ำออกนั้นจะต้องไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมที่ด้านท้ายเขื่อนด้วย และถ้าหากว่าปริมาณน้ำที่ได้มีปริมาณน้อยกว่าก็จะทำการเก็บกักน้ำเอาไว้ทั้งหมดต่อไป

4.1 การสำรวจข้อมูล

ข้อมูลต่างๆเช่นค่าปริมาณน้ำฝน ระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ RTU ทำการส่งให้กับห้องควบคุมนั้น สามารถที่จะตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนและเครื่องมือวัดระดับน้ำ ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้เป็นค่าปัจจุบันที่เกิดขึ้นที่สถานีนั้น แต่ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการสำรวจพื้นที่ต่างๆที่สถานีตรวจวัดต่างๆด้วยเพื่อที่จะได้สามารถนำเอาค่าข้อมูลเหล่านั้นเข้ามาคำนวณด้วย และค่าที่ใช้ในการคำนวณบางค่าไม่สามารถที่จะวัดได้จากเครื่องมือวัด

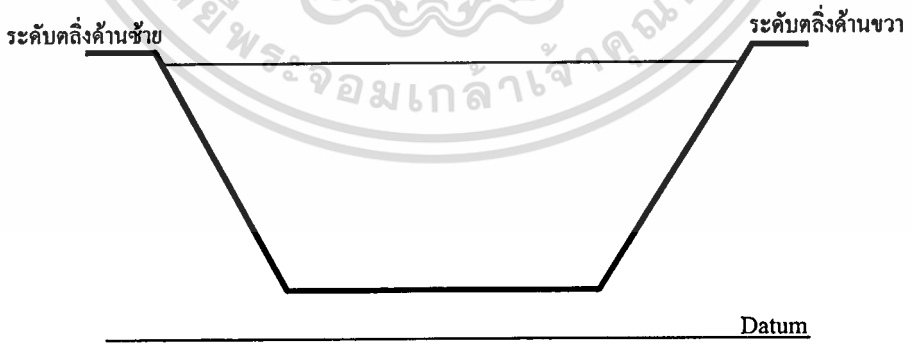
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และซึ่งจะต้องใช้การเก็บสถิติต่างๆเพื่อนำมาเอาค่าทางสถิติดังกล่าวมาช่วยในการคำนวณ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการที่จะทำการคำนวณค่าปริมาณน้ำมีดังต่อไปนี้

- ข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ
- ความยาวของลำน้ำ
- ความจุของอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อน

ข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ

ข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำมีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากจะต้องนำเอาค่าพื้นที่หน้าตัดมาทำการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านจุดตรวจวัดของสถานีตรวจวัด โดยที่จะไม่สามารถหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านจุดตรวจวัดของสถานีตรวจได้เลยถ้าหากว่าไม่ได้ทำการสำรวจพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ และที่สำคัญในการหาพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำนั้นจะต้องหา ณ.จุดที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำ ในการหาค่าพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำนั้นจะต้องทำการสำรวจหาค่าระดับของตลิ่งทั้งด้านซ้ายและด้านขวาด้วย เนื่องจากเมื่อระดับน้ำสูงกว่าระดับตลิ่งแล้วก็จะแสดงถึงน้ำได้ท่วมบริเวณสถานีตรวจวัดนั้นแล้วซึ่งการที่ระดับน้ำสูงกว่าระดับตลิ่งนั้นจะทำให้ไม่สามารถคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีนั้นได้และซึ่งโดยปรกติอาจจะนำค่าปริมาณน้ำที่ระดับสูงสุดคือที่ระดับตลิ่งมาคำนวณซึ่งปริมาณน้ำที่ได้นั้นจะน้อยกว่าความเป็นจริง จากรูปที่ 4.2 เป็นตัวอย่างอย่างง่ายของพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำที่จะต้องทำการสำรวจพร้อมกับบอกระดับตลิ่งทั้งด้ายซ้ายและด้านขวาโดยค่าระดับต่างๆจะทำการวัดค่าและเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level: MSL) และนอกจากนั้นจะต้องทำการหาค่า Datum เพื่อใช้เป็นค่าระดับอ้างอิงซึ่งค่า Datum นี้จะเป็นตัวที่จะชี้ความลาดเอียงของลำแม่น้ำตั้งแต่จุดที่เริ่มตรวจวัดจนกระทั่งถึงเขื่อน



รูปที่ 4.2 แสดงพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวของลำน้ำ

ในการหาค่าความยาวของลำแม่น้ำก็เพื่อที่จะทำการแบ่งลำแม่น้ำออกเป็นช่วงๆ (Boundary) โดยแบ่งเป็น Upstream Boundary ซึ่งก็คือช่วงบนของช่วงน้ำด้านบนซึ่งจะเป็นจุดที่ใช้วัดระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในช่วงและ Downstream Boundary ซึ่งก็คือช่วงด้านล่างของช่วงน้ำซึ่งใช้เป็นจุดตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลออกจากช่วง โดยแม่น้ำทั้งสายอาจจะถูกแบ่งออกเป็นหลายๆช่วงแล้วทำการวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในช่วงน้ำและวัดปริมาณน้ำที่ไหลออกจากช่วงน้ำซึ่งน้ำที่ไหลออกจากช่วงหนึ่งก็จะเข้าสู่อีกช่วงหนึ่งเรื่อยลงมาจากต้นแม่น้ำหรือจุดเริ่มต้นที่จะทำการตรวจวัดของแม่น้ำจนกระทั่งถึงเขื่อน โดยแต่ละช่วงอาจจะมีความยาวที่แตกต่างกัน ดังนั้นความยาวของลำแม่น้ำที่ทำการสำรวจนั้นก็รวมไปถึงความยาวของช่วงน้ำแต่ละช่วงด้วย

ความจุของอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อน

ในการหาค่าความจุของอ่างเก็บน้ำนั้นสามารถทำได้โดยการหาค่าระดับความสูงของอ่างเก็บน้ำ โดยค่าระดับความสูงของอ่างเก็บน้ำโดยการวัดค่าระดับความสูงของอ่างเก็บน้ำนั้นจะใช้ระดับความสูงที่เปรียบเทียบกับระดับทะเลปานกลางเพื่อใช้เป็นระดับอ้างอิง ซึ่งในการหาค่าความจุของอ่างจะต้องทำการหาค่าพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำบริเวณเหนืออ่างเก็บน้ำหรือเขื่อนที่มีระดับความสูงเดียวกันกับระดับความสูงของอ่างเก็บน้ำซึ่งระดับความสูงที่ต่ำกว่าระดับความสูงของอ่างเก็บน้ำก็จะเกิดน้ำท่วม ต่อจากนั้นก็ทำการหาค่าระดับก้นอ่างเก็บน้ำเพื่อนำมาหาค่าความสูงของอ่างเก็บน้ำซึ่งเมื่อหาพื้นที่และความสูงได้แล้วก็จะสามารถหาค่าความจุของอ่างเก็บน้ำได้โดยใช้จากสมการ (35)

$$Q = A \times H \qquad (35)$$

โดยที่

Q = ความจุของเขื่อน (ลบ.ม)

A = พื้นที่ (ตร.ม.)

H = ความสูง (ม.)

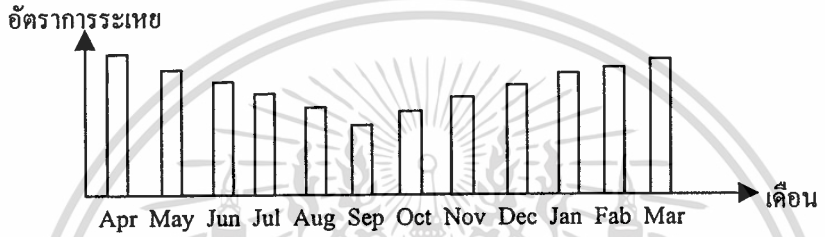
นอกจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภูมิประเทศแล้วข้อมูลที่ได้จากการเก็บสถิติและข้อมูลต่างๆที่ได้จากการสังเกตุเช่น

- อัตราการระเหย
- ปริมาณฝนที่ตกตลอดปี
- ระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Evaporation and Transpiration

Evaporation คือการที่น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอหรือการระเหย ส่วน Transpiration คือกระบวนการที่ต้นไม้ดูดเอาความชื้นจากดิน โดยที่มากกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำฝนที่ตกลงมาจะถูกกระบวนการในการระเหยและการดูดเอาความชุ่มชื้นของดินซับน้ำเอาไว้ก่อนที่น้ำที่เหลือจะไหลลงสู่แม่น้ำ ค่าอัตราการระเหยที่นำมาใช้นี้ของแต่ละช่วงน้ำใช้ค่าอัตราการระเหยที่เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน ซึ่งในแต่ละเดือนก็จะมีค่าไม่เท่ากันแต่ค่าเฉลี่ยของแต่ละวันในเดือนนั้นจะมีค่าเท่ากัน โดยฤดูร้อนก็จะมีค่าเฉลี่ยของอัตราการระเหยสูงและฤดูฝนก็จะมีค่าเฉลี่ยของอัตราการระเหยต่ำโดยอัตราการระเหยดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 รูปแสดงอัตราการระเหยของน้ำในแต่ละเดือน

จากรูปที่ 4.3 เป็นการแสดงค่าอัตราการระเหยของน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยซึ่งในแต่ละเดือนจะใช้ค่าเฉลี่ยเท่ากันหมดและจะไม่เท่ากันในแต่ละเดือนซึ่งค่าอัตราการระเหย โดยค่าอัตราการระเหยสามารถหาได้โดยการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Evaporimeters หรือ Evaporation pans ซึ่งค่าที่นำมาใช้ในที่นี้ไม่ได้นำเอาค่าที่บันทึกได้จากเครื่องมือดังกล่าวในแต่ละวันมาใช้แต่จะใช้ค่าที่เฉลี่ยรายเดือนที่ได้ทำการบันทึกและเก็บเป็นสถิติมาใช้

ปริมาณฝนที่ตกตลอดปี

ค่าปริมาณฝนที่ตกตลอดปีในลุ่มน้ำนั้นมีความสำคัญมากเนื่องจากปริมาณฝนที่ตกลงมาแต่ละปีนั้นจะนำมาทำการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำจากปริมาณน้ำฝนรวมเพื่อที่จะสามารถปริมาณน้ำที่ไหลจากต้นแม่น้ำที่มาถึงเขื่อนซึ่งจะต้องนำมาใช้ในการกำหนดกราฟเพื่อควบคุมระดับน้ำ (Rule Curve) โดยยิ่งสามารถเก็บค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในลุ่มน้ำได้มากเท่าไรก็จะสามารถนำเอาข้อมูลเหล่านั้นมาประเมินได้อย่างใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น

ระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีตรวจวัด

ก่อนที่จะทำการนำเอาระบบ SCADA มาใช้ควรจะทำการสำรวจจุดที่จะทำการติดตั้งสถานีตรวจวัดต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดที่จะทำการติดตั้ง RTU นั้นจะต้องทำการสำรวจเพื่อเก็บบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำ เพื่อให้ทราบพฤติกรรมของระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีนั้น ซึ่งจะทำให้การปรับแต่งโปรแกรมเพื่อให้สามารถคำนวณระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีตรวจวัดนั้นถูกต้องมากยิ่งขึ้น

4.2 การออกแบบโปรแกรมและระบบ SCADA

ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนให้อยู่ในระดับที่ต้องการนั้นสามารถทำได้โดยการหาค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในลุ่มแม่น้ำและการหาค่าระดับน้ำ ปริมาณน้ำตั้งแต่ต้นแม่น้ำเพื่อให้ทราบสถานะการณ์ต่างๆที่จะเป็นผลทำให้ปริมาณน้ำในลุ่มแม่น้ำเพิ่มขึ้นซึ่งจะเป็นผลต่อเนื่องทำให้ปริมาณน้ำในเขื่อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการที่จะควบคุมระดับน้ำในเขื่อนให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้นั้นจะต้องทราบข้อมูลต่างๆเหล่านั้นเพื่อให้มีเวลาในการเตรียมรับสถานการณ์ต่างๆที่เขื่อนได้อย่างทันท่วงที และเนื่องจากแม่น้ำแต่ละสายมีความยาวต่างกันทั้งสั้นบ้างและยาวบ้างดังนั้นเพื่อให้ห้องควบคุมที่เขื่อนสามารถรับทราบข้อมูลต่างๆดังกล่าวจึงได้นำเอาระบบ SCADA มาใช้ในการรายงานผลข้อมูลต่างๆให้กับห้องควบคุมที่เขื่อนเนื่องจากระบบ SCADA เป็นระบบการรวบรวมและแสดงผลข้อมูลระยะไกล ในการนำเอาระบบ SCADA มาใช้ก็สามารถทำได้โดยการนำเอา RTU ที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบ SCADA ไปติดตั้งตามจุดต่างๆที่สถานีตรวจวัด ในที่นี้สถานีตรวจวัดต่างๆก็จะติดตั้งอยู่ตามจุดต่างๆตามลำแม่น้ำตั้งแต่ต้นแม่น้ำเรื่อยลงมาจนถึงสถานีที่เขื่อนโดยแต่ละสถานีตรวจวัดก็จะติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนและเครื่องมือวัดระดับน้ำและต่อเข้ากับ RTU เพื่อที่จะทำหน้าที่ในการรายงานข้อมูลต่างๆดังกล่าวให้กับห้องควบคุม ซึ่งห้องควบคุมก็จะนำเอาข้อมูลต่างๆดังกล่าวมาทำการประมวลผล เพื่อที่จะได้ทราบถึงระดับน้ำหรือปริมาณน้ำที่เวลาต่างๆของสถานีตรวจวัดต่างๆรวมไปถึงระดับน้ำและปริมาณน้ำที่หน้าเขื่อน ซึ่งถ้าหากว่าระดับน้ำที่ห้องควบคุมคำนวณได้ก็จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำจาก Rule Curve ถ้าหากว่าค่าระดับน้ำที่คำนวณได้มากกว่าระดับน้ำจาก Rule Curve ก็จะใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลในการตัดสินใจที่จะปล่อยน้ำออกจากเขื่อนซึ่งในการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนนั้นจะต้องไม่ทำให้น้ำท่วมที่ท้ายเขื่อนด้วย และถ้าหากว่าปริมาณน้ำที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าที่ Rule Curve กำหนดก็จะทำการเก็บกักน้ำเอาไว้ในเขื่อน ดังนั้นในการนำเอาระบบ SCADA มาใช้ในการควบคุมระดับน้ำที่เขื่อนนั้นจะแบ่งการทำงานของระบบ SCADA ออกเป็น 2 ส่วนคือ

- การออกแบบโปรแกรม
- การออกแบบระบบ SCADA

การออกแบบโปรแกรม

จากที่กล่าวมาแล้วว่าในการที่จะควบคุมระดับน้ำในเขื่อนให้อยู่ในระดับที่ต้องการนั้นจะสามารถทำได้โดยการนำเอาข้อมูลจากสถานีตรวจวัดต่างๆ เช่นปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในลุ่มแม่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าระดับน้ำตามลำน้ำ เพื่อมารายงานให้ห้องควบคุมทราบเพื่อที่จะคำนวณหาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่เวลาต่างๆของสถานีตรวจวัดและสถานีที่หน้าเขื่อน และเนื่องจากสถานีตรวจวัดต่างๆ อยู่ห่างไกลออกไปจากห้องควบคุมที่เขื่อน และข้อจำกัดในการสื่อสารข้อมูลที่ไม่สามารถนำเอาค่าต่างๆมาคำนวณตลอดเวลาได้ ดังนั้นจึงได้ใช้คุณสมบัติของระบบ SCADA ในการที่จะแบ่งระดับการควบคุมหรือแสดงผลออกไปให้ RTU ที่สถานีตรวจวัดทำการตรวจวัดและประมวลผลข้อมูลที่สถานีตรวจวัดก่อนแล้วจึงนำเอาค่าที่ได้จากการประมวลผลแล้วส่งกลับมาให้ห้องควบคุมทำการประมวลผลต่อโดยเป็นการประมวลผลรวมของทั้งระบบ ดังนั้นในการออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ระบบ SCADA ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนจึงได้แบ่งโปรแกรมที่ใช้ในระบบ SCADA ออกเป็น 2 ส่วนคือ

- การออกแบบโปรแกรมที่ RTU
- การออกแบบโปรแกรมที่ห้องควบคุม

การออกแบบโปรแกรมที่ RTU

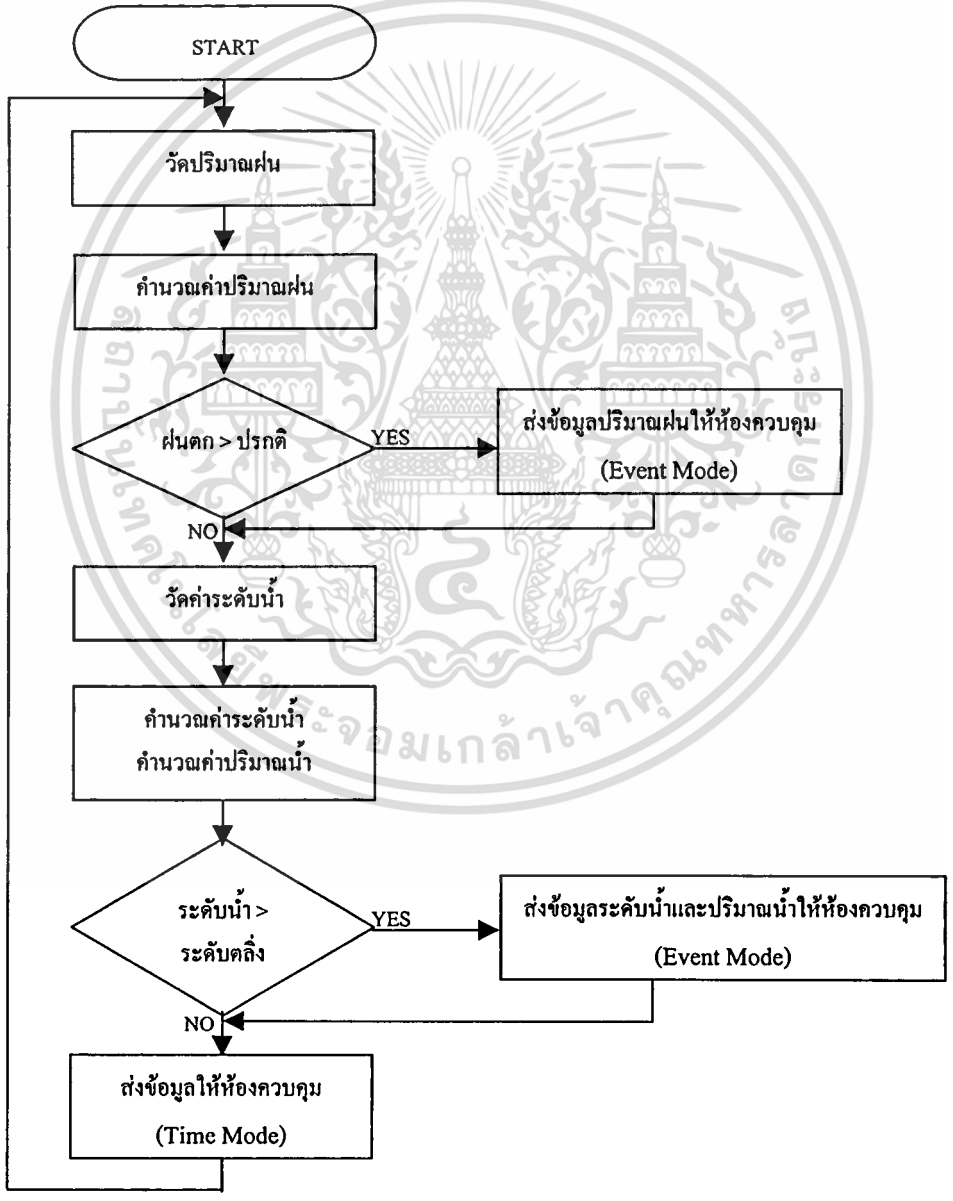
โปรแกรมที่สถานีตรวจวัด (RTU) ทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นก่อนที่จะส่งข้อมูลที่ประมวลผลได้ให้กับห้องควบคุม โดยข้อมูลที่ทำการประมวลผลนั้นจะได้มาจากเครื่องมือวัดที่ได้ทำการติดตั้งอยู่ที่สถานีสนาม ซึ่งในที่นี้เครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีสนามในที่นี้ก็คือ เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนและเครื่องมือวัดระดับน้ำ ก็จะถูกต่อเข้ากับ I/O Module ของ RTU และ CPU Module ของ RTU จะทำหน้าที่ในการเก็บเอาค่าจากเครื่องมือวัดดังกล่าวเข้ามาประมวลผลโดยลักษณะการทำงานของโปรแกรมของระบบโดยรวมของ RTU สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 โดยลักษณะของการทำงานของโปรแกรมจะแบ่งกระบวนการคำนวณของโปรแกรมออกเป็นดังต่อไปนี้

- โปรแกรมคำนวณค่าปริมาณน้ำฝน
- โปรแกรมคำนวณค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำ

จากรูปที่ 4.4 โปรแกรมที่ RTU จะนำเอาค่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนผ่านทาง Input / Output Module มาทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคำนวณค่าปริมาณน้ำฝนและค่าความเข้มของฝน ดังแสดงใน Flowchart การคำนวณค่าปริมาณน้ำฝนดังรูปที่ 4.5 ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมามากกว่าค่าปรกติ (ค่าปริมาณน้ำฝนที่อาจจะทำให้เกิดน้ำท่วมได้ในกรณีที่ฝนตกติดต่อกันนานซึ่งจะต้องกำหนดจากข้อมูลสถิติต่างๆ) โดย RTU จะต้องทำการรายงานค่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ในขณะนั้นให้ห้องควบคุมทันที (Event Mode Transmission) เพื่อให้ห้องควบคุมได้รับทราบสถานการณ์ของฝนที่ตกที่สถานีต่างๆดังกล่าวเพื่อจะได้เตรียมพร้อมในการรับสถานการณ์อันเนื่องมาจากปริมาณฝนได้อย่างทันท่วงที เนื่องจากความเข้มของฝนมีผลต่อปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำ ต่อจากนั้นโปรแกรมก็จะนำเอาค่าระดับน้ำที่วัดได้จากเครื่องมือวัดระดับน้ำมาทำการคำนวณระดับน้ำและปริมาณน้ำโดยใช้โปรแกรมคำนวณระดับน้ำและปริมาณน้ำดังแสดงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flowchart การคำนวณระดับน้ำและปริมาณน้ำดังรูปที่ 4.7 และถ้าหากว่าระดับน้ำสูงกว่าระดับตลิ่ง RTU จะต้องรายงานค่าระดับน้ำให้กับห้องควบคุมทันทีเนื่องจากระดับน้ำที่สูงกว่าระดับตลิ่งแสดงว่าน้ำได้ท่วมบริเวณดังกล่าวแล้ว โดยการทำงานของโปรแกรมที่ RTU จะทำงานตลอดเวลากล่าวคือ CPU ของ RTU จะทำการตรวจสอบค่าที่เข้ามาจาก Input / Output Module ตลอดเวลาซึ่งถ้าหากมีความผิดปรกติเกิดขึ้นก็จะรายงานให้กับห้องควบคุมทันทีและถ้าหากว่าไม่มีเหตุการณ์ผิดปรกติเกิดขึ้นค่าต่างๆที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำของ RTU จะถูกส่งให้กับห้องควบคุมก็ต่อเมื่อห้องควบคุมถามมาเท่านั้นซึ่งลักษณะการถามข้อมูลจากห้องควบคุมจะเป็นลักษณะตามช่วงเวลา (Time Mode Transmission)



รูปที่ 4.4 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ RTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

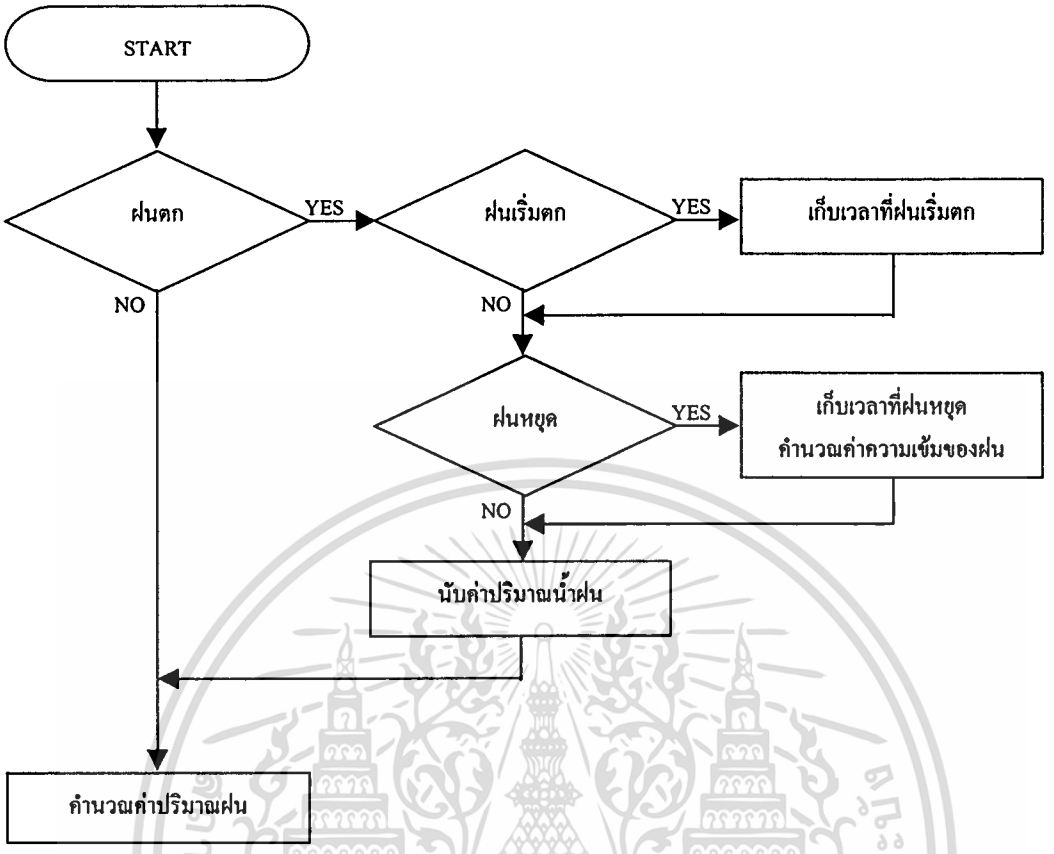
โปรแกรมคำนวณค่าปริมาณน้ำฝน

ในการออกแบบโปรแกรมในการคำนวณค่าปริมาณน้ำฝนที่ทำได้โดยการนำเอาค่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากเครื่องมือวัดน้ำฝน โดยค่าปริมาณน้ำฝนที่ทำการคำนวณที่ RTU จะทำการคำนวณค่าต่างๆดังนี้

- ค่าปริมาณน้ำฝนสะสม (Accumulated Rainfall) ซึ่งจะทำการเก็บสะสมค่าปริมาณน้ำฝนเอาไว้ทั้งวัน
- ค่าความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) ทำได้โดยการนับค่าปริมาณฝนตั้งแต่เวลาที่ฝนเริ่มตกจนกระทั่งฝนหยุดตก

ลักษณะการทำงานของโปรแกรมในการคำนวณค่าปริมาณน้ำฝนสามารถแสดงได้ดัง Flow chart ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เมื่อฝนตกลงมาจนทำให้ปริมาณน้ำใน Bucket ของเครื่องมือวัดน้ำฝนเต็มก็จะทำให้ Bucket กระดกซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณ Pulse เกิดขึ้นซึ่งจะทำให้ RTU ทราบว่ามีฝนตกเกิดขึ้น ซึ่งถ้าหากว่าฝนเริ่มตกก็จะทำการเก็บค่าเวลาที่ฝนเริ่มตกซึ่งในที่นี้ก็คือเวลาที่เกิดสัญญาณ Pulse ที่เกิดขึ้นและจะทำการนับค่าปริมาณฝนที่เกิดขึ้น เพื่อทำการคำนวณค่าปริมาณฝนสะสมและในรอบของการทำงานของฝนที่เริ่มตกนั้นในส่วนของฝนหยุดจะต้องไม่เป็นจริง ต่อจากนั้นในรอบการทำงานต่อมาหลังจากที่ฝนเริ่มตกแล้วนั้น โปรแกรมจะทำการตรวจสอบฝนหยุด โดยที่ในส่วนของฝนเริ่มตกจะต้องไม่เป็นจริง และเมื่อฝนหยุดก็จะทำการเก็บค่าเวลาที่ฝนหยุดและทำการคำนวณหาค่าความเข้มของฝน โดยทุกรอบการทำงานนั้นเมื่อมีฝนตกจะต้องทำการนับค่าปริมาณน้ำฝนตลอดเวลาเพื่อที่จะนำเอาค่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าปริมาณน้ำฝนสะสมและในกรณีที่ฝนไม่ตกนั้นค่าปริมาณน้ำฝนสะสมก็จะเป็นศูนย์ หรือเป็นค่าฝนที่สะสมตลอดทั้งวัน โดยในการนิยามความหมายของคำว่าฝนหยุดตกนั้นจะทำการนิยามตามที่ตกลงกันเอาไว้ก่อนซึ่งอาจจะเป็น 10 นาที 30 นาที 1 ชั่วโมง หรือ 3 ชั่วโมง หลังจากที่เครื่องมือวัดสร้าง Pulse สุดท้าย ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้ทำการเก็บสถิติเอาไว้ โดยอาจจะประมาณจากความเข้มของฝนเฉลี่ยว่าระยะเวลาที่ฝนตกในแต่ละวันนั้นเป็นเท่าใด หรือระยะเวลาที่ฝนตกในกรณีที่เกิดพายุเข้ามาในแต่ละลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมคำนวณปริมาณน้ำฝนที่ RTU

โปรแกรมคำนวณค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำ

ในการออกแบบโปรแกรมในการคำนวณค่าระดับน้ำทำได้โดยการนำเอาค่าระดับน้ำที่วัดได้จากเครื่องมือวัดระดับน้ำ โดยค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่คำนวณที่ RTU มีดังต่อไปนี้

- ค่าระดับน้ำ (Water Level) โดยค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดจะเป็นค่าความลึกของระดับน้ำที่สถานีตรวจวัด และที่ RTU จะทำการเปลี่ยนเป็นค่าระดับน้ำเมื่อเทียบกับระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level :MSL)
- ค่าปริมาณน้ำ (Discharge) ทำได้โดยการนำเอาค่าระดับน้ำมาเปรียบเทียบหาค่าปริมาณน้ำจาก Rating Curve

ในการหาค่า Rating Curve นั้นสามารถทำได้โดยการนำเอาค่าพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำและความเร็วน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดนั้นแต่ละระดับตั้งแต่ระดับก้นแม่น้ำจนถึงระดับสูงสุดของตลิ่ง ซึ่งค่าพื้นที่หน้าตัดและความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดนั้นที่ระดับต่างๆ สามารถหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสำรวจพื้นที่ ซึ่งทำให้สามารถทำการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (36) [1]

$$Q = \int_A V(x, y)dA \qquad (36)$$

Q = ปริมาณน้ำ (ลบม. / วินาที)

V(x , y) = ความเร็วเฉลี่ยในการไหลของน้ำผ่านพื้นที่หน้าตัด (เมตร / วินาที)

A = พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

จากสมการที่ (36) [1] ดังกล่าวจะต้องทำการหาค่าความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดของจุดตรวจวัด ซึ่งทำได้โดยการวัดค่าอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านจุดตรวจวัดดังกล่าวตามระดับน้ำในแต่ละระดับเพื่อจะหาความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านจุดตรวจวัดดังกล่าวต่อจากนั้นจึงทำการหาค่าปริมาณน้ำ (Q) โดยใช้สมการต่อจากนั้นจึงนำค่าปริมาณน้ำ (Q) ที่ได้มาสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์หรือสร้างเป็นตารางเพื่อใช้ในการหาค่าปริมาณน้ำจากที่มีความสัมพันธ์กับระดับน้ำที่วัดได้จากเครื่องมือวัด จากรูปที่ 4.6 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำกับระดับน้ำที่ระดับต่างๆ และตารางที่ 4.1 แสดงตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ระดับต่างๆ

รูปที่ 4.6 รูปแสดง Rating Curve

ในการออกแบบโปรแกรมเพื่อคำนวณหาค่าปริมาณน้ำจาก Rating Curve นั้นสามารถทำได้โดยการนำเอาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำจาก Rating Curve มาสร้างเป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 แล้วเก็บค่าต่างๆในตารางเป็นค่าคงที่ที่ทำให้โปรแกรมสามารถเรียกตารางดังกล่าวมาทำการคำนวณเปรียบเทียบโดยการเลือกค่าต่างๆจากกราฟสามารถทำได้โดยการเลือกค่าที่เหมาะสมและให้มีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นตรงมากที่สุดเนื่องจากถ้าหากว่าเกิดค่าระดับน้ำที่วัดได้ไม่ตรงกับค่าในตารางก็สามารถใช้วิธีการ Interpolation ในการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ได้และถ้าหากว่าค่าระดับน้ำที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าค่าระดับน้ำที่มีค่าน้อยกว่าค่าระดับน้ำที่ต่ำที่สุดใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางให้ถือว่าระดับน้ำในแม่น้ำมีระดับที่ต่ำมากและสามารถกำหนดให้ค่าปริมาณน้ำเป็น 0 ลูกบาศก์เมตร/วินาทีได้ แต่ถ้าหากว่าค่าระดับน้ำมีค่ามากกว่าค่าสูงสุดในตารางก็แสดงว่าระดับน้ำล้นตลิ่งซึ่งสามารถกำหนดให้ใช้ค่าปริมาณน้ำที่สูงสุดในตารางได้ซึ่งก็จะสามารถบอกห้องควบคุมได้ว่าเกิดน้ำท่วมที่บริเวณสถานีตรวจวัดนั้น

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำ [8]

Table Row (x)	ระดับน้ำ (WL)	ปริมาณน้ำ (Q)
0	53.00	0
1	57.20	50
2	59.50	100
3	61.20	150
4	62.20	200
5	62.80	250
6	63.40	300
7	63.80	350
8	64.00	400
9	64.20	450
10	64.30	500
11	64.35	550
12	64.40	600
13	64.45	650
14	64.50	700

ลักษณะการทำงานของโปรแกรมในการคำนวณระดับน้ำและปริมาณน้ำสามารถแสดงได้ดัง Flow chart ดังแสดงในรูปที่ 4.7

ในการหาค่า Interpolation เพื่อหาค่าปริมาณน้ำของระดับน้ำที่ไม่ได้กำหนดไว้ในตารางสามารถหาได้โดยใช้สมการ (37)

$$Q = \left(\frac{WL_m - WL_{tR2}}{WL_{tR3} - WL_{tR2}} \right) \times \left(Q_{tR3} - Q_{tR2} \right) + Q_{tR2} \qquad (37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

WL_m = ค่าระดับน้ำที่วัดได้จากเครื่องมือวัด (เมตร รทก.)

WL_{tR2} = ค่าระดับน้ำที่กำหนดในตารางแถวที่ 2 ของตารางที่ 4.1

WL_{tR3} = ค่าระดับน้ำที่กำหนดในตารางแถวที่ 3 ของตารางที่ 4.1

Q = ค่าปริมาณน้ำ (ลูกบาศก์เมตร / วินาที)

Q_{tR2} = ค่าปริมาณน้ำที่กำหนดในตารางแถวที่ 2 ของตารางที่ 4.1

Q_{tR3} = ค่าปริมาณน้ำที่กำหนดในตารางแถวที่ 3 ของตารางที่ 4.1

โดยสมมติว่าค่าระดับน้ำที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 60.00 เมตร(รทก.) ซึ่งอยู่ระหว่างแถวที่ 2 และแถวที่ 3 ของตารางที่ 4.1 ซึ่งสามารถหาค่าปริมาณน้ำได้โดยการหาค่า Q

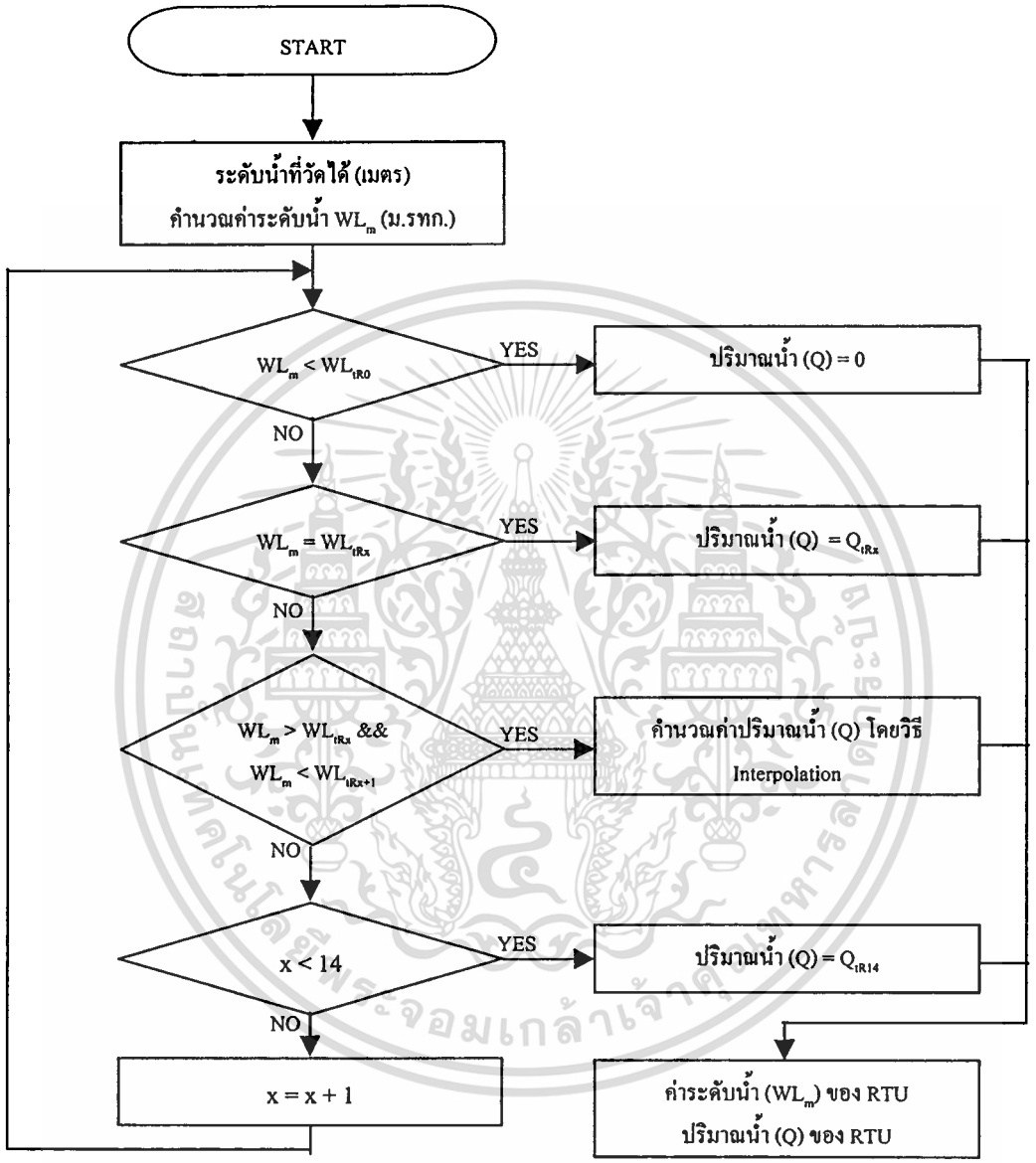
$$Q = \left(\frac{60.00 - 59.50}{61.20 - 59.50}\right) \times (150 - 100) + 100$$

$$Q = 114.7 \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที}$$

จากรูปที่ 4.7 เมื่อ RTU ทำการวัดค่าระดับน้ำเข้ามาแล้วก็จะทำการแปลงค่าระดับน้ำที่วัดได้จากค่าความลึกของระดับน้ำที่วัดได้มาเป็นค่าระดับน้ำเมื่อเทียบกับระดับทะเลปานกลาง (Mean See Level: MSL) ซึ่งค่าระดับทะเลปานกลางที่คำนวณได้นั้นจะเป็นค่าระดับน้ำที่ผิวน้ำ เนื่องจากระดับน้ำที่วัดออกมาเป็นระดับทะเลปานกลางนั้นก็เพื่อที่จะทำการปรับระดับน้ำที่ผิวน้ำให้มีระดับอ้างอิงที่ระดับเดียวกันตลอดทั้งพื้นที่ของลำแม่น้ำและสถานีตรวจวัดทุกสถานีได้ นอกจากนั้นการวัดค่าระดับน้ำเมื่อเทียบกับระดับทะเลปานกลางจะทำให้สามารถทราบระดับลาดเอียงของแม่น้ำ หลังจากที่ได้ทำการแปลงค่าระดับน้ำเป็นระดับเมื่อเทียบกับระดับทะเลปานกลางแล้วก็จะทำการเปรียบเทียบระดับน้ำที่วัดได้กับระดับน้ำที่ถูกกำหนดไว้ในแถวแรกของตาราง เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณน้ำ (Rating Curve) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งถ้าหากว่าค่าระดับน้ำที่วัดได้มากกว่าค่าที่อยู่ในแถวแรกของตารางก็จะทำการเปรียบเทียบกับแถวถัดขึ้นไป ซึ่งถ้าหากว่าตรงกับแถวใดก็เอาค่าระดับน้ำนั้นไปเปรียบเทียบหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีและถ้าหากว่าไม่ตรงกับแถวใดเลยก็จะทำการคำนวณเปรียบเทียบหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีโดยใช้วิธี Interpolation ดังสมการที่ (37) และถ้าหากว่าค่าระดับน้ำต่ำมากจนไม่สามารถคำนวณเปรียบเทียบหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีแล้วก็สามารถที่จะกำหนดให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีเท่ากับศูนย์ และหากว่าระดับน้ำสูงกว่าระดับสูงที่สุดของตารางก็สามารถที่จะกำหนดให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีเป็นค่าสูงสุดที่อยู่ในตารางนั้นก็ได้เนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีดังกล่าวไม่สามารถที่จะคำนวณได้แล้วเนื่องจากน้ำอาจจะท่วมตลิ่งออกนอกลำแม่น้ำไปแล้ว ซึ่งเมื่อคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีแล้วก็จะทำการเก็บไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหน่วยความจำของ CPU ของ RTU เพื่อเตรียมส่งให้กับห้องควบคุมต่อไป ซึ่งการทำงานของโปรแกรมจะทำงานเป็น Loop โดยจะทำการคำนวณทุกรอบโปรแกรมที่ทำการนำเอาค่าระดับน้ำเข้ามา



โดยที่

x = Row Number of Table 3.

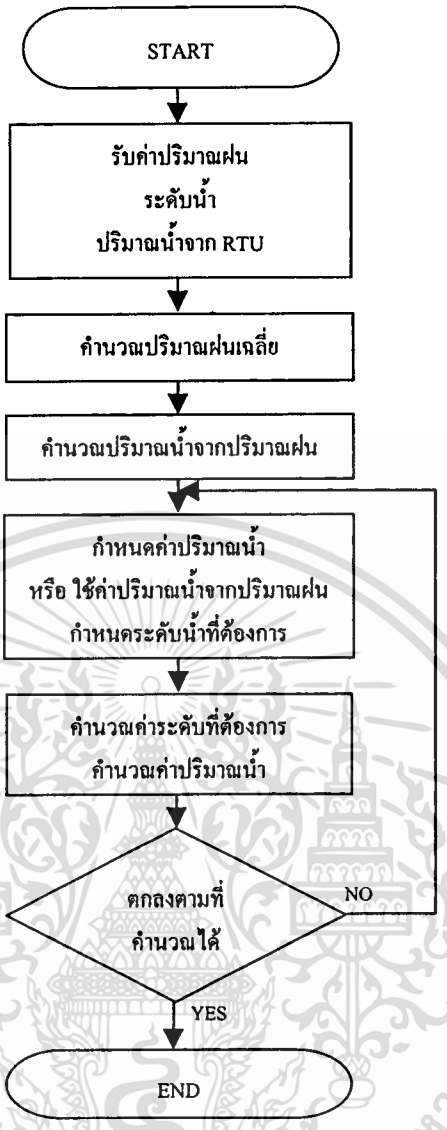
รูปที่ 4.7 Flow chart แสดงการคำนวณค่าปริมาณน้ำจากค่าระดับน้ำที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบโปรแกรมที่ห้องควบคุม

โปรแกรมที่ห้องควบคุม (Control Center) ซึ่งมีลักษณะการทำงานดัง Flow chart ดังรูปที่ 4.8 โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากค่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานี ดังสมการที่ (2) [2] ต่อจากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนซึ่งทำให้ทราบค่าปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝน เมื่อได้ค่าปริมาณน้ำ (Q) ในลุ่มน้ำซึ่งจะใช้เป็นค่าเริ่มต้นของปริมาณน้ำด้านต้นน้ำ (Up Stream) ต่อจากนั้นก็ทำการกำหนดค่าระดับน้ำที่ต้องการ (H) หรือค่าปริมาณน้ำที่ต้องการระบายออกจากเขื่อน (Q) ซึ่งถือเป็นค่าเริ่มต้นด้านเขื่อนหรือ (Down Stream) และเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณของสมการที่ (23) [3] และ (24) [3] เพื่อทำการหาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีต่างๆ ตามลุ่มน้ำ และเมื่อทราบปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีตรวจวัดแต่ละสถานีแล้วก็สามารถที่จะหาระยะเวลาที่น้ำจะไหลลงมาที่เขื่อนได้โดยนำเอาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำ ณ.เวลาที่ทำการคำนวณมาเป็นค่าเงื่อนไขเริ่มต้นแล้วใช้สมการที่ (23) [3] และ (24) [3] ทำการคำนวณก็จะได้ค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่สถานีตรวจวัด ณ. เวลาที่กำหนดซึ่งจะทำให้สามารถเวลาและปริมาณน้ำที่จะไหลลงมาถึงเขื่อนได้ ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณน้ำที่เข้ามามีปริมาณมากกว่าปริมาณที่ต้องการเก็บกักก็จะทำการปล่อยน้ำออกจากเขื่อน ซึ่งการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนจะต้องปล่อยออกในปริมาณที่เหมาะสมทั้งปริมาณและเวลาซึ่งจะต้องไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมที่ท้ายเขื่อนด้วย ทั้งนี้สามารถที่จะดูได้จากปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีที่ด้านท้ายเขื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ห้องควบคุม

การออกแบบระบบ SCADA

ในการออกแบบระบบ SCADA เพื่อนำเอาระบบ SCADA มาใช้กับงานต่างๆนั้นจะต้องคำนึงถึงส่วนประกอบที่สำคัญหลักๆของระบบ SCADA ซึ่งสามารถแบ่งการออกแบบระบบ SCADA ดังกล่าวออกเป็นส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

- การออกแบบในการติดตั้ง RTU
- การออกแบบระบบสื่อสารข้อมูล
- ระบบ SCADA ที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบในการติดตั้ง RTU

ในการออกแบบในการติดตั้ง RTU เพื่อให้สามารถนำเอา RTU ไปต่อร่วมกับอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ ได้อย่างถูกต้องโดยจะต้องต่อ Input / Output Module ของ RTU ให้ถูกต้องตรงกับลักษณะของสัญญาณที่ทำการรับหรือส่งระหว่าง Input / Output Module ของ RTU กับอุปกรณ์เครื่องมือวัดหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมในกระบวนการต่างๆ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับว่าเครื่องมือวัดหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมีลักษณะสัญญาณเป็นสัญญาณ Analog หรือ Digital และโดยการต่อ RTU กับเครื่องมือวัดหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมนั้นลักษณะของสัญญาณจะต้องเป็นลักษณะเดียวกันเช่น เครื่องมือวัดมีลักษณะเป็น Analog จะต้องต่อกับ Analog Input Module เป็นต้น ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะสัญญาณที่จะติดต่อกันระหว่าง Input / Output Module ของ RTU กับ Sensors ต่างๆ จากตารางจะเห็นว่าในการนำเอา Sensors ต่างๆมาต่อกับ Input / Output Module ของ RTU ลักษณะสัญญาณจะต้องเป็นสัญญาณชนิดเดียวกันเท่านั้น

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะสัญญาณที่จะติดต่อกันระหว่าง Input / Output Module กับ Sensors

Input / Output Module	Sensors
Analog Input	เครื่องมือวัด (4 – 20 mA)
Digital Input	เครื่องมือวัดสถานะ (On-Off)
Analog Output	อุปกรณ์ควบคุม (4 – 20 mA)
Digital Output	อุปกรณ์ควบคุมสถานะ (On-Off)

ในการนำเอาระบบ SCADA มาใช้ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนนั้นได้มีการนำเอาเครื่องมือตรวจวัด (Sensors) มาต่อกับ Input / Output Module ของ RTU ซึ่งเครื่องมือวัดที่นำมาใช้นั้นมีอยู่ 2 ตัวคือ

- เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝน
- เครื่องมือวัดระดับน้ำ

เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝน

ในการวัดปริมาณน้ำฝนในอดีตที่ผ่านมาจะใช้กระบอกน้ำไปวางเอาไว้ในที่โล่งเพื่อรองรับน้ำฝนที่ตกลงมาและเมื่อฝนหยุดแล้วก็จะนำเอาภาชนะเล็กๆมาตวงน้ำออกจากกระบอกดังกล่าวแล้วทำการนับจำนวนครั้งของการตวงในแต่ละครั้งเพื่อให้ทราบค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา โดยจำนวนครั้งในการตวงนั้นก็ขึ้นอยู่กับภาชนะเล็กๆที่ใช้ในการตวงนั่นเอง โดยภาชนะเล็กๆดังกล่าวนั้นอาจจะเป็น 0.2 มิลลิเมตรต่อการตวง 1 ครั้ง 0.5 มิลลิเมตรต่อครั้งหรือ 1 มิลลิเมตรต่อครั้ง ซึ่งจากหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

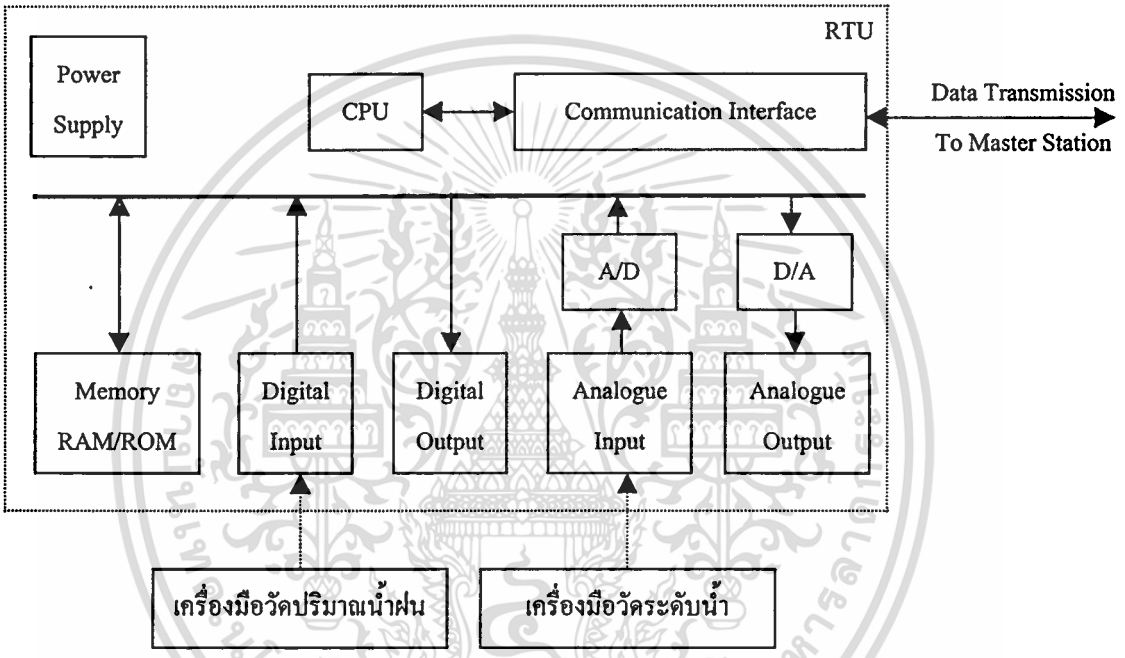
การดังกล่าวทำให้มีผู้คิดค้นเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนโดยให้เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนสามารถต่อเข้ากับระบบอื่นๆได้ ซึ่งเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนที่นำมาใช้ในวัดปริมาณน้ำฝนมีลักษณะเป็นกระบอกเพื่อรองรับน้ำฝนที่ตกลงมา โดยที่เวลาที่ฝนตกลงมานั้นน้ำที่ฝนที่ตกลงมาในกระบอกก็จะไหลลงมารวมกันภายในกระบอกซึ่งในกระบอกก็จะมี Bucket 2 อันซึ่งจะผลัดกันรองรับน้ำฝนที่ไหลลงมาจากปากกระบอกโดยแต่ละ Bucket ก็จะถูกต่อเข้ากับ Switch และเมื่อปริมาณน้ำฝนที่ไหลลงมาที่ปากกระบอกเต็ม Bucket น้ำหนักของน้ำก็จะกด Bucket ให้ตกลงมาเพื่อเทน้ำใน Bucket ที่รองรับน้ำในขณะนั้นทิ้งไปเพื่อให้ Bucket อีกอันหนึ่งขึ้นมารองรับน้ำจากปากกระบอกแทนและในระหว่างที่ Bucket กำลังกระดกนั้นก็จะไปสัมผัสผ่าน Switch ทำให้ครบวงจรซึ่ง Switch จะครบวงจรเพียงชั่วขณะที่ Bucket กำลังกระดกเท่านั้น ซึ่ง Bucket ทั้ง 2 ก็จะสลับการทำงาน ในการนำเอาเครื่องมือวัดน้ำฝนมาต่อเข้ากับ RTU นั้นสามารถทำได้โดยการนำเอาสัญญาณจาก Switch มาต่อเข้ากับ Digital Input ของ RTU เนื่องจากสัญญาณที่ออกจาก Switch ของเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนจะเป็นลักษณะสัญญาณ 0 (ครบวงจร) หรือ 1 (ไม่ครบวงจร) ซึ่งลักษณะของสัญญาณก็จะเป็นลักษณะสัญญาณ Pulse โดยขณะที่ Bucket กระดกเพื่อเทน้ำทิ้งนั้นก็จะเกิดสัญญาณ 1 Pulse จาก Switch ของเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนซึ่งจะทำให้ RTU สามารถตรวจวัดสัญญาณนั้นได้ โดยให้ CPU ของ RTU จะทำการตรวจสอบสัญญาณจาก Digital Input Module ตลอดเวลาเพื่อตรวจสอบสัญญาณ Pulse ที่มาจากเครื่องมือวัดน้ำฝนและเมื่อวัดสัญญาณดังกล่าวแล้วก็จะทำการนับค่าสัญญาณ Pulse ดังกล่าวเพื่อทำการคำนวณค่าปริมาณน้ำฝนในโปรแกรมต่อไป โดยปริมาณน้ำฝนที่ทำให้เกิดสัญญาณ Pulse 1 สัญญาณจะมีค่าเท่าไรนั้นก็ขึ้นอยู่กับขนาดของ Bucket ที่อยู่ในกระบอกของเครื่องมือวัด ซึ่งอาจจะเป็น 0.2 มิลลิเมตร 0.5 มิลลิเมตร หรือ 1 มิลลิเมตร

เครื่องมือวัดระดับน้ำ

เครื่องมือวัดระดับน้ำโดยปรกติจะวัดระดับความลึกของระดับน้ำในแม่น้ำ โดยค่าที่วัดได้จะถูกแปลงเป็นค่าสัญญาณมาตรฐานซึ่งอาจจะเป็น 0 - 5 Volts ซึ่งจะไม่ขอกล่าวในที่นี้หรือ 4 - 20 mA เช่นเครื่องมือวัดระดับน้ำ 0 - 10 เมตร 4 - 20 mA หมายความว่าเครื่องมือวัดระดับน้ำนี้จะวัดระดับน้ำตั้งแต่ 0 เมตรถึง 10 เมตรโดยที่ 0 เมตร โดยที่ระดับน้ำ 0 เมตรเครื่องมือวัดระดับน้ำจะจ่ายกระแสไฟฟ้า 4 mA และที่ 10 เมตร เครื่องมือวัดระดับน้ำก็จะจ่ายกระแสออกมา 20 mA เช่นเดียวกันถ้าหากเครื่องมือวัดระดับน้ำ 0 - 15 เมตร หรือ 0 - 20 เมตร 4 - 20 mA ที่ระดับ 0 เมตร เครื่องมือวัดระดับน้ำจะจ่ายกระแสออกมา 4 mA และที่ระดับน้ำ 15 หรือ 20 เมตรตามลำดับเครื่องมือวัดระดับน้ำก็จะจ่ายกระแสออกมา 20 mA เป็นต้น ในการนำเอาเครื่องมือวัดระดับน้ำมาต่อกับ RTU ทำได้โดยต่อสัญญาณ 4 – 20 mA เข้ากับ Analog Input Module ของ RTU ซึ่ง Analog Input Module ก็จะทำการแปลงค่า Analog เป็น Digital โดยใช้ Analog To Digital Converter เพื่อให้ CPU ของ RTU สามารถนำเอาค่า Digital ดังกล่าวเพื่อนำเอาไปประมวลผลต่อไป ในการนำเอาเครื่องมือวัดระดับน้ำมาใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมระดับน้ำในเขื่อนโดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำที่สถานีตรวจวัดต่างๆตามลำแม่น้ำนั้นสิ่งที่สำคัญและมีผลต่อการคำนวณปริมาณน้ำอย่างมากก็คือในการติดตั้งเครื่องมือวัดนั้นจะต้องพยายามติดตั้งที่จุดที่ทำการสำรวจหาพื้นที่หน้าตัดและจะต้องติดตั้ง ณ. จุดที่ลึกที่สุดของพื้นที่หน้าตัดนั้น เนื่องจากว่าพื้นที่หน้าตัดของลำแม่น้ำในแต่ละจุดจะไม่เหมือนกันและถ้าหากว่าติดตั้งเครื่องมือวัดไว้สูงเกินไปจะทำให้ไม่สามารถวัดค่าระดับน้ำที่ต่ำกว่าจุดที่ตรวจวัดได้ รูปที่ 4.9 แสดงการเชื่อมต่อ RTU กับเครื่องมือวัดต่างๆ โดยแสดงถึงโครงสร้างภายใน RTU รวมไปถึงการแสดงการติดต่อกับ Master Station ด้วย



รูปที่ 4.9 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง RTU กับเครื่องมือวัดต่างๆ

การออกแบบระบบสื่อสารข้อมูล

ระบบสื่อสารที่นำมาใช้ในระบบ SCADA จะต้องมีความเชื่อถือได้อย่างสูงซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิทยุเป็นสื่อในการสื่อสารข้อมูลระหว่าง RTU กับ RTU หรือ RTU กับห้องควบคุม โดยในการนำเอาวิทยุมาใช้เป็นสื่อในการสื่อสารข้อมูลนั้นก่อนที่จะทำการติดตั้ง RTU ณ.ตำแหน่งต่างๆนั้นควรจะต้องมีการคำนวณว่า RTU ที่นำไปติดตั้ง ณ.ตำแหน่งต่างๆนั้น จะสามารถทำการรับ – ส่งข้อมูลหรือติดต่อสื่อสารกับห้องควบคุมได้หรือไม่ ซึ่งการคำนวณนี้จะเป็นการประเมินว่าวิทยุที่นำมาใช้นั้นจะสามารถที่จะกระจายคลื่นได้ระยะไกลเท่าไร (Coverage Area) ซึ่งค่า Coverage Area จะต้องครอบคลุมระยะห่างระหว่าง RTU นั้นกับห้องควบคุมซึ่งในการคำนวณจะต้องทำการคำนวณที่ RTU ทุกตัวในระบบเพื่อให้แน่ใจได้ว่า RTU ทุกตัวสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับห้อง

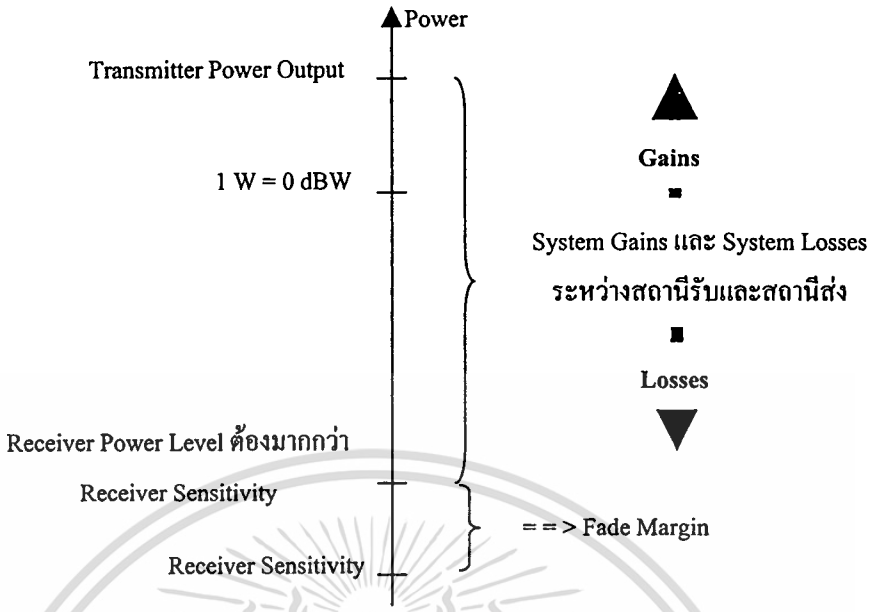
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมได้ โดยในการสื่อสารโดยผ่านสื่อที่เป็นวิทยุนั้นจะต้องออกแบบระบบการสื่อสารของระบบ SCADA จะต้องมี Fade Margin หรือ System Margin (System Gain – System Losses) อย่างน้อย 30 dB ซึ่งผลของ Fade Margin สามารถที่จะกำหนดให้เป็นความน่าเชื่อถือในการสื่อสารข้อมูลของระบบก็ได้ เนื่องจากการติดต่อสื่อสารผ่านวิทยุนั้นระยะทาง ภูมิประเทศและสภาพอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูล และเพื่อให้ระบบสื่อสารข้อมูลของระบบ SCADA มีความน่าเชื่อถือได้สูงจึงต้องทำการกำหนด Fade Margin ในการติดต่อสื่อสารกันเอาไว้ ในการคำนวณหาค่าความเข้มของการกระจายคลื่นในที่นี้จะใช้ Bullington's Method [7] โดยใช้รูปแบบการคำนวณดังนี้

การคำนวณความเข้มของคลื่นโดยวิธี Bullington (Bullington' s Method)

ในการส่งข้อมูลผ่านวิทยุนั้นเครื่องส่งวิทยุก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปโดยเครื่องส่งวิทยุแต่ละเครื่องก็จะมีกำลังส่งที่แตกต่างกันออกไปซึ่งกำลังส่งที่แตกต่างกันก็ทำให้ค่า Coverage Area ที่ได้ก็แตกต่างกันออกไปซึ่งเครื่องส่งวิทยุนั้นจะส่งด้วยกำลังส่งที่คงที่ โดยที่หลังจากที่เครื่องส่งได้ส่งข้อมูลออกไปแล้วนั้นกำลังส่งของการส่งสามารถที่จะเพิ่มขึ้นได้ที่สายอากาศ (Antenna) ซึ่งถือว่าเป็นอัตราการขยาย (Gains) และเมื่อคลื่นได้กระจายออกไปในอากาศแล้วก็จะเกิดการสูญเสีย (Losses) เกิดขึ้นซึ่งความสูญเสียดังกล่าวจะมากน้อยก็ขึ้นอยู่กับระยะทางสภาพภูมิประเทศและสภาพอากาศ แต่อย่างไรก็ตามในการที่วิทยุจะทำการรับ-ส่งข้อมูลได้นั้นข้อมูลที่มาถึงสถานีรับนั้นระดับกำลังของสัญญาณจะต้องสูงกว่าระดับ Receiver Sensitivity โดยระดับสัญญาณที่เครื่องรับสามารถรับได้และสูงกว่าระดับ Receiver Sensitivity เรียกว่า Fade Margin ดังแสดงในรูปที่ 4.10 จากรูปจะแสดงระดับกำลังส่งที่ส่งออกไปจากสถานีส่งและแสดงระดับกำลังที่เครื่องรับสามารถรับได้ซึ่งจะต้องมากกว่าระดับ Receiver Sensitivity ของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงค่า Losses Gains และ Fade Margin ของการรับ – ส่งของแต่ละสถานี

ในการวัดค่ากำลังส่งทั้ง System Gains และ System Losses สามารถวัดได้เป็นเดซิเบล (dB) โดยสามารถแปลงค่ากำลัง (Power) ที่มีหน่วยเป็น Watt เป็น dB ดังสมการที่ (38) [7]

$$dBW = 10 \log (W) \qquad (38)$$

ในระบบการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างกันนั้นเริ่มตั้งแต่เครื่องส่งของสถานีส่งจนกระทั่งถึงเครื่องรับที่สถานีรับนั้นประกอบด้วย System Gain, System Losses และ Fade Margin ซึ่งส่วนประกอบของ System Gains, System Losses ก็จะประกอบไปด้วย

System Gains

- Transmitter Power
- Transmitter antenna Gain
- Receiver Sensitivity
- Receiver Antenna Gain

System Losses

- Propagation Loss หรือ Path Loss
- Shadow Loss หรือ Obstacle Loss
- Environment Loss (Tree Loss or Building Clutter Loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Equipment Loss (Loss in Connector, Transmission Line length)

Fade Margin or System Margin

- Fade Margin = System Gain = System Loss

ในการที่จะเพิ่ม Coverage Area นั้นก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มกำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุหรืออาจจะทำได้โดยการเพิ่มความสูงของเสา โดยถ้าหากว่าเพิ่มความสูงของเสาเป็น 2 เท่าจะทำให้ค่า Coverage Capability 6 dB หรือถ้าหากต้องการเพิ่ม Coverage Area เป็น 2 เท่าจะต้องทำการเพิ่ม Gains ให้ได้ประมาณ 16 dB

โดยปรกติแล้ว System Gains สามารถคำนวณได้จาก Specification ของอุปกรณ์ไม่ว่าจะเป็น Specification ของวิทยุหรือว่าสายอากาศต่างๆ แต่ในส่วนของ System Loss ที่สำคัญที่จะกล่าวถึงต่อไปก็คือ Propagation Loss และ Path Loss

Propagation Loss

Propagation Loss เป็นการสูญเสียเนื่องจากการกระจายคลื่นออกไปในอากาศ ซึ่งแบ่งออกเป็น Path Loss และ Shadow Loss ซึ่ง Path Loss นั้นก็คือความสูญเสียอันเนื่องมาจากระยะห่างระหว่างสายอากาศของเครื่องส่งและเครื่องรับโดยระยะทางดังกล่าวจะมีส่วนโค้งของผิวโลกบังอยู่ ซึ่งการหา Path Loss จะสามารถหาได้โดยการหาค่า Free Space Loss หรือ Plane earth Loss, 3-Path Loss และ Diffraction Loss ซึ่งเป็นการสูญเสียเนื่องจากการกระจายคลื่นโดยที่สถานีรับและสถานีส่งที่อยู่ห่างกันออกไปนั้นจะมีส่วนโค้งของผิวโลกบังอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ส่วน Shadow Loss นั้นเป็นการสูญเสียอันเนื่องมาจากระยะทางในการส่งนั้นมีสิ่งกีดขวางอื่นๆที่นอกเหนือจากส่วนโค้งของผิวโลกเช่นภูเขาหรือตึกเป็นต้นซึ่งสิ่งกีดขวางดังกล่าวมีผลต่อสัญญาณที่ทำการรับ-ส่ง ในการคำนวณหาความสูญเสียอันเนื่องมาจากการรับ-ส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุหรือ Propagation Loss นั้นสามารถทำได้โดยการหาค่า Path Loss และ Shadow Loss ซึ่งเมื่อนำเอา Path Loss มารวมกับ Shadow Loss โดยที่ถ้าหากว่าไม่มีสิ่งกีดขวาง Shadow Loss ก็จะเท่ากับ 0 dB หรือไม่ต้องนำ Shadow Loss มาคิดในการคำนวณหาค่า Propagation Loss ซึ่งการหาค่า Propagation Loss นั้นสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. หาค่าระยะทางตั้งแต่จุดสูงสุดของของสายอากาศของเครื่องส่งและเครื่องรับถึงจุดสัมผัสกับผิวโลก
2. ถ้าระยะห่างระหว่างสายอากาศของเครื่องส่งและเครื่องรับไกลกว่าระยะห่างระหว่างสายอากาศกับจุดสัมผัสผิวโลก สามารถหาค่า Path Loss ได้โดย

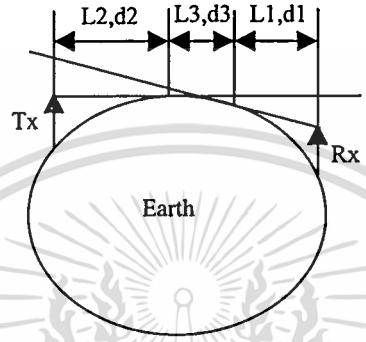
   Path Loss = Free Space Loss + 3-Path Loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถ้าระยะห่างระหว่างสายอากาศของเครื่องรับและเครื่องส่งใกล้กว่าระยะระหว่างสายอากาศกับจุดสัมผัสผิวโลกจะต้องทำการหา Diffraction Loss เพื่อที่จะหาค่า Path Loss โดย

   Path Loss = (Diffraction Loss + Plane Earth Loss) หรือ Free Space Loss แล้วแต่ว่าค่าใดมากกว่า

4. หาค่า Shadow Loss



รูปที่ 4.11 แสดงระยะห่างระหว่างสถานีรับและสถานีส่งที่มีส่วนโค้งของผิวโลกบังอยู่

จากที่กล่าวมาแล้วว่าในการหาค่า Propagation Loss ทำได้โดยการหาค่า Path Loss และ Shadow Loss ซึ่งในการหาค่า Path Loss สามารถทำได้โดยการหาค่าระยะห่างระหว่างสายอากาศของเครื่องส่งและเครื่องรับกับจุดที่ตัดกับส่วนโค้งของผิวโลกซึ่งสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (39) [7] และ (40) [7] ตามลำดับ ซึ่งในการหาค่าระยะห่างระหว่างสายอากาศเครื่องส่งและเครื่องรับตัดกับส่วนโค้งของผิวโลกจะทำให้สามารถที่จะนำไปพิจารณาในการหาค่า Path Loss ต่อไปซึ่งถ้าหากว่าค่าระยะห่างระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งมีค่ามากกว่าค่าระยะห่างระหว่างสายอากาศเครื่องส่งและเครื่องรับที่ตัดกับส่วนโค้งของผิวโลกก็จะทำการคำนวณหาค่า Free Space Loss ซึ่งสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (41) [7] และ 3-Path Loss ซึ่งประกอบไปด้วยความสูญเสียที่เกิดจากระยะทางทั้ง 3 คือ

L1 = ความสูญเสียอันเนื่องมาจากระยะทางระหว่างสายอากาศเครื่องรับหรือเครื่องส่งกับส่วนตัดกับผิวโลกที่สั้นกว่า

L2 = ความสูญเสียอันเนื่องมาจากระยะทางระหว่างสายอากาศเครื่องรับหรือเครื่องส่งกับส่วนตัดกับผิวโลกที่ยาวกว่า

L3 = ระยะห่างระหว่างสายอากาศเครื่องรับกับเครื่องส่งลบออกจากระยะ L1 บวกระยะ L2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแต่ละระยะทางทั้ง 3 ก็จะเกิดความสูญเสียที่แตกต่างกันซึ่งหาได้โดยใช้สมการที่ (44) [7] สมการที่ (45) [7] และสมการที่ (46) [7] โดยค่าคงที่ที่นำมาใช้ในการคำนวณนั้นจะต้องนำค่าในตารางที่ 4.3 มาคำนวณด้วยซึ่งมีที่มาจากการคำนวณของบริษัท Motorola และถ้าหากว่าค่าระยะห่างระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งมีค่าน้อยกว่าค่าระยะห่างระหว่างสายอากาศเครื่องส่งและเครื่องรับที่ตัดกับส่วนโค้งของผิวโลกก็จะทำการคำนวณหาค่า Diffraction Loss ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (43) [7] และ Plane Earth Loss ซึ่งสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (42) [7]

$$d1 = \sqrt{2 \times h1} \quad (39)$$

$$d2 = \sqrt{2 \times h2} \quad (40)$$

โดยที่

d1 = ระยะห่างระหว่างสายอากาศของเครื่องส่งกับจุดตัดกับส่วนโค้งของผิวโลก

d2 = ระยะห่างระหว่างสายอากาศของเครื่องรับกับจุดตัดกับส่วนโค้งของผิวโลก

h1 = ความสูงของสายอากาศของเครื่องส่ง

h2 = ความสูงของสายอากาศของเครื่องรับ

Free Space Loss ระหว่างสายอากาศของสถานีรับและสถานีส่ง (Half-Wave Antenna)

$$\text{Free Space Loss} = 28.15 + 20\log(\text{Freq}) + 20\log(D) \quad (41)$$

$$\text{Plane Earth Loss} = 115.721 + 20\log\left(D^2\right) - 20\log(h1 \times h2) \quad (42)$$

$$\text{Diffraction Loss} = 5.815 \times 10^{-3} \times \left[\frac{D}{1.609}\right]^{1.435} \times \left[\text{Freq}\right]^{0.4744} \quad (43)$$

3 – Path Loss

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณ 3 Path Loss [7]

MHz	U	V	W	X	Y	Z
50	57.051588	-6.3568269	0.42801541	-0.013944412	0.0002149674	0.0000012496989
150	43.65533	-4.48901	0.31428088	-0.010714076	0.0001766758	0.0000011223596
450	39.139309	-4.398768	0.34628006	-0.01272436	0.0002212879	0.0000014645631
960	38.326075	-6.2153436	0.70612217	-0.036744558	0.0008883177	0.0000080237743

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L1 = U + (V \times d1) + (W \times d1^2) + (X \times d1^3) + (Y \times d1^4) + (Z \times d1^5) \quad (44)$$

$$L2 = 10^{[-\log(d2) - (0.001 \times Freq) + 2.25]} \quad (45)$$

$$L3 = (0.5 \times \log(Freq) - 0.45) \times |d3| \quad (46)$$

ในการหาค่า Shadow Loss จะทำก็ต่อเมื่อมีสิ่งกีดขวางต่างๆเช่นภูเขาหรือตึกเป็นต้นตั้งขวางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งและถ้าหากว่าไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่งแล้วก็ไม่ต้องคำนวณ Shadow Loss ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Shadow Loss สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (47) [7]

$$\text{Shadow Loss} = -51.02 + 10\log\left[H \times \sqrt{\frac{Freq \times D}{d1 \times d2}}\right] \quad (47)$$

โดยที่

D = ระยะห่างระหว่างเครื่องส่ง และเครื่องรับ (กิโลเมตร)

H = ความสูงของสิ่งที่กีดขวางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ (เมตร)

Freq = ความถี่ที่ใช้ในการรับ – ส่ง (MHz)

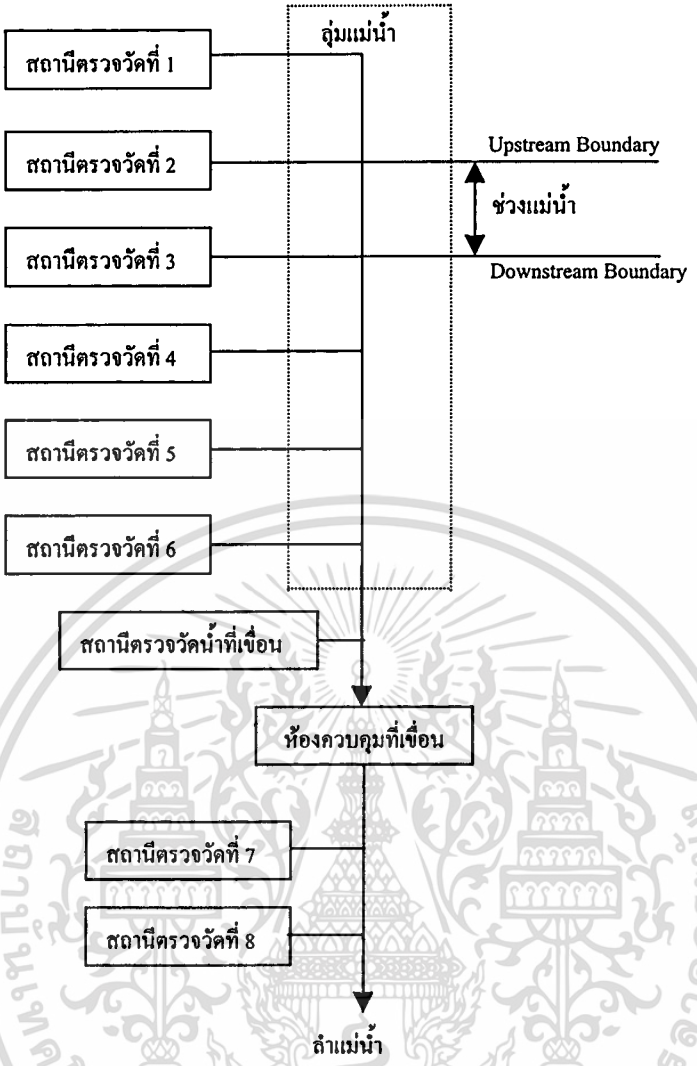
ระบบ SCADA ที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อน

ก่อนที่จะทำการออกแบบระบบ SCADA ที่นำมาใช้ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนนั้นจะต้องทำการกำหนดพื้นที่ของลุ่มแม่น้ำโดยสามารถกำหนดพื้นที่ลุ่มแม่น้ำได้จากแผนที่โดยอาศัยสันปันน้ำเป็นตัวกำหนดเนื่องจากปริมาณน้ำที่อยู่ในลุ่มน้ำจะไหลลงสู่แม่น้ำสายหลัก นอกจากนั้นจะต้องทำการสำรวจพื้นที่ต่างๆตามลำแม่น้ำเพื่อที่จะสำรวจพื้นที่ในการติดตั้ง RTU นอกจากนั้นยังเป็นการกำหนดช่วงของลำแม่น้ำ (Boundary) ที่จะเป็นจุดที่จะตรวจสอบปริมาณน้ำและระดับน้ำ โดยแต่ละช่วงบนของลำแม่น้ำ (Upstream Boundary) ก็จะเป็นสถานีที่จะทำการตรวจสอบระดับน้ำและปริมาณน้ำที่จะไหลเข้ามาในช่วงน้ำ (Boundary) และช่วงล่างช่วงน้ำที่กำหนดของลำแม่น้ำ (Downstream Boundary) ซึ่งใช้เป็นสถานีที่ทำการตรวจสอบระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลออกจากช่วงน้ำที่กำหนด ซึ่งในบางสถานีอาจจะเป็นทั้ง Upstream Boundary และ Downstream Boundary) ในกรณีที่สถานีดังกล่าวเป็นช่วงต่อของช่วงน้ำด้านบนและช่วงน้ำด้านล่าง และทำเช่นนี้ตั้งแต่ต้นแม่น้ำหรือจุดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดตรวจวัดเริ่มต้นจนกระทั่งถึงเขื่อน นอกจากนั้นจะต้องทำการสำรวจพื้นที่ที่อยู่ด้านท้ายเขื่อนด้วยเนื่องจากจะต้องใช้สถานีด้านท้ายเขื่อนเพื่อคอยตรวจสอบระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากเขื่อนเพื่อไม่ให้ระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากเขื่อนไม่ให้มากเกินไปจนทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณท้ายเขื่อน โดยจุดที่ทำการสำรวจเพื่อติดตั้งสถานีตรวจวัด

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นก็คือจุดที่จะต้องติดตั้ง RTU ของระบบ SCADA ด้วยและถ้าหากว่าจุดที่ติดตั้งดังกล่าวมีข้อมูลของระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านจุดดังกล่าวบันทึกเอาไว้ด้วยอยู่แล้วก็จะเป็นการดีมากเนื่องจากจะทำให้การปรับแต่งโปรแกรมได้ดีและสะดวกขึ้น ดังนั้นเมื่อทำการสำรวจพื้นที่เพื่อติดตั้งจุดตรวจวัดแล้วจะต้องทำการคำนวณระบบสื่อสารรวมไปถึงปริมาณข้อมูลที่จะใช้ในการสื่อสารข้อมูลรวมถึงความสามารถของสื่อที่จะใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง RTU และห้องควบคุมด้วย ดังนั้นในการนำเอาระบบ SCADA มาใช้ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนก็ทำได้โดยการนำเอา RTU ไปติดตั้งตามสถานีตรวจวัดต่างๆตามที่ได้ทำการสำรวจเอาไว้ในตอนต้นตามลำแม่น้ำตั้งแต่ต้นแม่น้ำหรือจุดตรวจวัดใดๆที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นในการวัดค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำเพื่อทำการตรวจวัดค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนและทำการคำนวณค่าปริมาณน้ำของสถานีตรวจวัดต่างๆเรื่อยลงมาจนกระทั่งถึงสถานีที่เขื่อน โดย RTU แต่ละตัวที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีตรวจวัดต่างๆจะทำหน้าที่ในการรายงานค่าดังกล่าวให้กับห้องควบคุมโดยผ่านระบบสื่อสารของ RTU โดย RTU ทุกตัวก็จะทำการประมวลผลข้อมูลดังกล่าวโดยให้ค่าข้อมูลต่างๆดังกล่าวอยู่บนพื้นฐานเวลาเดียวกันกันทุก RTU เพื่อให้ห้องควบคุมสามารถนำค่าข้อมูลที่ได้รับจาก RTU ไปทำการคำนวณค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำซึ่งในการคำนวณจะทำการคำนวณหาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำล่วงหน้าตามช่วงเวลา $(t + \Delta t)$ ซึ่งในการคำนวณนั้นใช้ข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำที่สถานีต่างๆที่ RTU ส่งมาให้เป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณหาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำ ดังนั้นจึงจะต้องให้ข้อมูลที่ได้จาก RTU จะต้องเป็นข้อมูลที่มาจากฐานเวลาเดียวกันซึ่งห้องควบคุมสามารถที่จะเรียกถามข้อมูลจาก RTU ได้ตามช่วงเวลาที่ต้องการซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความสามารถของสื่อที่ใช้ในการสื่อสารของระบบ SCADA หลังจากที่ห้องควบคุมได้ทำการคำนวณค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำแล้วซึ่งก็จะทำให้ได้ค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่เวลา $(t + \Delta t)$ ซึ่งก็รวมถึงระดับน้ำและปริมาณน้ำที่เขื่อนด้วยดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจึงเป็นข้อมูลที่ใช้ช่วยในการตัดสินใจว่าจะทำการเก็บน้ำหรือปล่อยน้ำออกจากเขื่อนโดยการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนนั้นจะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่จะปล่อยออกจากเขื่อนแล้วยังจะต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่เขื่อนจะสามารถปล่อยน้ำออกจากเขื่อนโดยที่ไม่ให้เกิดน้ำท่วมที่ท้ายเขื่อนและปริมาณน้ำที่จะไหลมาถึงเขื่อนในช่วงเวลาถัดมาด้วยด้วย ดังนั้นเพื่อให้สะดวกต่อการและง่ายต่อการมองภาพของระบบโดยรวมจึงได้สมมติให้ลำแม่น้ำที่ไหลลงมาที่เขื่อนเป็นเส้นตรง ดังแสดง ในรูปที่ 4.12 จากรูปพื้นที่ที่อยู่ภายในเส้นปะแสดงถึงพื้นที่บริเวณลุ่มแม่น้ำและเส้นตรงแสดงถึงลำแม่น้ำโดยกำหนดให้ช่วงแม่น้ำแต่ละช่วงจะทำการติดตั้ง RTU เอาไว้เพื่อกำหนดเป็นให้เป็นสถานีตรวจวัดต่างๆ โดยแต่ละสถานีจะเป็นทั้ง Upstream และ Downstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงภาพระบบโดยรวมของสถานีตรวจวัดต่างๆตามลุ่มแม่น้ำ

จากรูปที่ 4.12 เป็นแสดงจุดที่ทำการติดตั้ง RTU ของระบบ SCADA ไปติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆของลำแม่น้ำ โดยในบทความนี้ใช้สถานีตรวจวัดตามลำแม่น้ำจำนวน 6 สถานี สถานีตรวจวัดที่เขื่อน และสถานีตรวจวัดที่ด้านท้ายเขื่อน 2 สถานี โดยกำหนดให้สถานีตรวจวัดที่ 1. ถึงสถานีตรวจวัดที่ 6. เป็นสถานีตรวจวัดที่อยู่ทางด้านเหนือเขื่อนขึ้นไปตามลำแม่น้ำ สถานีตรวจวัดที่เขื่อนเป็นสถานีตรวจวัดที่หน้าเขื่อนเพื่อใช้ในการตรวจสอบระดับน้ำที่หน้าเขื่อนและสถานีตรวจวัดด้านท้ายเขื่อนอีก 2 สถานีคือสถานีตรวจวัดที่ 7. และสถานีตรวจวัดที่ 8. ซึ่งจะทำหน้าที่ในการตรวจสอบระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีว่าระดับน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณท้ายเขื่อนหรือไม่และยังทำให้ทราบด้วยว่าควรจะปล่อยน้ำเท่าไรจึงจะไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมด้านท้ายเขื่อน และเนื่องจากพื้นที่ในการติดตั้งสถานีตรวจวัดต่างๆเป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลซึ่งทำให้การติดตั้งระบบสื่อสารอื่นๆเช่นดาวเทียม Microwave หรือแม้กระทั่งข่ายสายโทรศัพท์เป็นไปได้ยาก ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงใช้วิทยุสื่อสารเป็นสื่อในการติดต่อสื่อสารระหว่าง RTU กับห้องควบคุมหรือระหว่าง RTU กับ RTUซึ่งในการใช้วิทยุเป็นสื่อก็จะทำให้เกิดปัญหากับสถานีที่อยู่ห่างไกลจากห้องควบคุมที่ไม่สามารถที่จะรับ – ส่งข้อมูลระหว่าง RTU กับห้องควบคุมได้โดยตรงดังนั้นระบบ SCADA จะต้องสามารถที่จะทำให้ RTU แต่ละตัวสามารถทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณในตัวเองได้โดยใช้โปรโตคอลในการสื่อสารข้อมูลที่มีคุณสมบัติในการการสื่อสารข้อมูลเชื่อมต่อระหว่าง RTU กับ RTU ได้ดังโปรโตคอลในการสื่อสารข้อมูลของ OSI (Open System Interconnection) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนั้นความถี่ที่ใช้ในการรับ – ส่งข้อมูลระหว่าง RTU กับ RTU ที่เป็นสถานีทวนสัญญาณกับห้องควบคุมนั้นจะต้องทำได้ทั้งแบบ 2 ความถี่และความถี่เดียว โดยที่ถ้าหากว่าเป็นแบบ 2 ความถี่ก็หมายความว่าการรับ – ส่งข้อมูลระหว่าง RTU กับ RTU ที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณใช้ความถี่ (f_1) และจาก RTU ที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณถึงห้องควบคุมใช้ความถี่ (f_2) และถ้าเป็นการรับ – ส่งข้อมูลเป็นการใช้ความถี่เดียวกันจะต้องทำการจัดพื้นที่ในการรับ – ส่งข้อมูลโดยการรับ – ส่งข้อมูลจาก RTU กับ RTU ที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณใช้ความถี่ (f_1) Zone 1 และจาก RTU ที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณถึงห้องควบคุมใช้ความถี่ (f_1) Zone 2 โดยการกำหนดพื้นที่ของแต่ละ RTU สามารถหาได้จาก Coverage Area ของวิทยุที่ใช้เป็นสื่อดังกล่าวข้างต้นซึ่งก็ขึ้นอยู่กับกำลังส่งของวิทยุและพารามิเตอร์ต่างๆดังที่กล่าวมาแล้ว แต่สิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือระยะห่างระหว่าง RTU ที่กำหนดในเบื้องต้นจะต้องมีระยะห่างที่ระบบสื่อสารจะสามารถติดต่อถึงกันได้ ซึ่งในที่นี้จะใช้การสื่อสารข้อมูลที่เป็นแบบความถี่เดียวเนื่องจากความถี่ที่ใช้นั้นมีความถี่เดียวและมีลักษณะการรับส่งข้อมูลระหว่าง RTU กับห้องควบคุมมีลักษณะเป็นดังต่อไปนี้

สถานีตรวจวัดที่ 1. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 2.
สถานีตรวจวัดที่ 2. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 3.
สถานีตรวจวัดที่ 3. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 4.
สถานีตรวจวัดที่ 4. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 5.
สถานีตรวจวัดที่ 5. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 6.
สถานีตรวจวัดที่ 6. รับ - ส่งข้อมูลกับห้องควบคุม
สถานีตรวจวัดที่เขื่อน รับ - ส่งข้อมูลกับห้องควบคุม
สถานีตรวจวัดที่ 7. รับ - ส่งข้อมูลกับห้องควบคุม
สถานีตรวจวัดที่ 8. รับ - ส่งข้อมูลกับห้องควบคุม

จากลักษณะการสื่อสารข้อมูลดังกล่าวข้างต้นสามารถออกแบบระบบในการสื่อสารระหว่าง RTU กับห้องควบคุมได้โดยใช้วิธีจัด Zone และความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลใช้ความถี่เพียงความถี่เดียวได้โดยกำหนด Zone ในการสื่อสารของสถานีต่างๆดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดง Zone ในการสื่อสารของแต่ละสถานี

สถานีตรวจวัด	Zone
1	6
2	5,6
3	4,5
4	3,4
5	2,3
6	1,2
เขื่อน	1
7	1
8	1

จากตารางที่ 4.4 สถานีที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณจะครอบคลุม Zone อยู่ 2 Zone เนื่องจากจะต้องทำการรับ – ส่งข้อมูลระหว่างสถานีใน Zone หนึ่งไปยังอีก Zone หนึ่ง จากตารางที่ 4.4 สามารถนำมาออกแบบระบบการสื่อสารของระบบ SCADA ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.13

จากรูปที่ 4.13 แสดงระบบการสื่อสารของ RTU ของระบบ SCADA โดยมีการทำงานคือถ้าหากว่าสถานีตรวจวัดที่ 1. จะส่งข้อมูลให้กับห้องควบคุมก็สามารถทำได้ดังนี้

สถานีตรวจวัดที่ 1. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 2. โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 6

สถานีตรวจวัดที่ 2. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 3. โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 5

สถานีตรวจวัดที่ 3. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 4. โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 4

สถานีตรวจวัดที่ 4. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 5. โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 3

สถานีตรวจวัดที่ 5. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 6. โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 2

สถานีตรวจวัดที่ 6. รับ - ส่งข้อมูลกับห้องควบคุม โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 1

ในทำนองเดียวกันถ้าหากว่าห้องควบคุมต้องการที่จะส่งข้อมูลให้กับสถานีตรวจวัดที่ 1. ก็สามารถทำได้ดังนี้

ห้องควบคุม รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 6. โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 1

สถานีตรวจวัดที่ 6. รับ - ส่งข้อมูลให้กับสถานีตรวจวัดที่ 5. โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 2

สถานีตรวจวัดที่ 5. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 4. โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 3

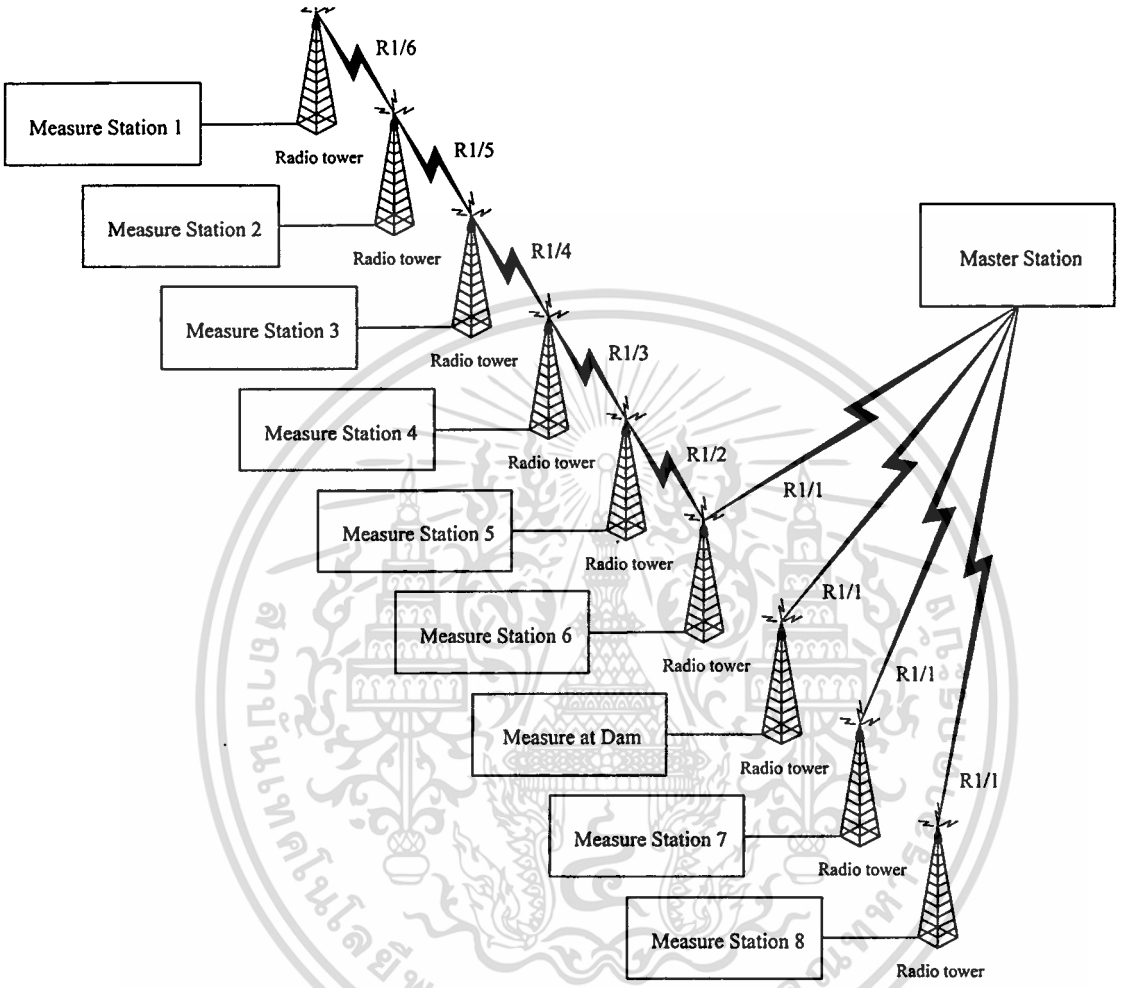
สถานีตรวจวัดที่ 4. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 3. โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 4

สถานีตรวจวัดที่ 3. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 2. โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 5

สถานีตรวจวัดที่ 2. รับ - ส่งข้อมูลกับสถานีตรวจวัดที่ 1. โดยสื่อสารกันใน Zone ที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการสื่อสารระหว่างสถานีตรวจวัดต่างๆกับห้องควบคุมก็มักษณะเป็นไปในทำนองเดียวกัน ซึ่งสถานีตรวจวัดที่เขื่อน สถานีตรวจวัดที่ 7 และสถานีตรวจวัดที่ 8 สามารถที่จะรับ – ส่งข้อมูลกับห้องควบคุมโดยตรง



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะการสื่อสารข้อมูลของระบบ SCADA

4.3 การออกแบบโปรแกรมในการพยากรณ์น้ำ

จาก Flowchart รูปที่ 4.8 เป็นการแสดงการทำงานของโปรแกรมที่ห้องควบคุมซึ่งโปรแกรมในการพยากรณ์น้ำที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นส่วนหนึ่งในโปรแกรมที่ห้องควบคุม โดยโปรแกรมในการพยากรณ์น้ำนั้นจะทำงานตามช่วงเวลาที่กำหนดเช่นอาจจะเป็นทุกๆ 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง หรือ 1 วัน ซึ่งช่วงเวลาที่ทำการคำนวณพยากรณ์ก็ขึ้นอยู่กับว่าจะเลือกช่วงเวลาเท่าไรและช่วงเวลาที่ใช้นี้ก็คือช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยใช้สมการที่ (23) [3] และสมการที่ (24) [3] โดยข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณพยากรณ์นี้จะเป็นข้อมูลที่ได้รับจากสถานีสนามซึ่งเป็นข้อมูลที่ค่อนข้างจะใหม่ซึ่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการคำนวณพยากรณ์นี้ก็จะเป็นข้อมูลที่ช่วยในการตัดสินใจที่จะปล่อยน้ำหรือว่ากักเก็บน้ำ โดยการทำงานของโปรแกรมก็จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

- โปรแกรมคำนวณปริมาณน้ำจากปริมาณน้ำฝน
- โปรแกรมคำนวณระดับน้ำและปริมาณน้ำที่เวลา $(t + \Delta t)$

โปรแกรมคำนวณปริมาณน้ำจากปริมาณน้ำฝน

ก่อนที่จะทำการออกแบบโปรแกรมเพื่อที่จะทำการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำจากปริมาณน้ำฝนจะต้องทำการหาพื้นที่ของลุ่มน้ำที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดน้ำฝนทั้งหมดทุกสถานีต่อจากนั้นจึงดำเนินการหาค่าพื้นที่ในการรับน้ำของแต่ละสถานีโดยใช้วิธีการ Thiessen Network ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3. ต่อจากนั้นเมื่อข้อมูลที่รับได้จากสถานีตรวจวัดแต่ละสถานีถูกส่งเข้ามาที่ห้องควบคุมแล้วโปรแกรมก็จะทำการหาค่าปริมาณฝนเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มน้ำโดยใช้สมการที่ (2) [2] และหาค่าปริมาตรน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนของแต่ละพื้นที่รับน้ำ Thiessen (Thiessen Area) ต่างๆ ซึ่งในการหาค่าปริมาณน้ำจากปริมาณน้ำฝนในแต่ละพื้นที่รับน้ำนั้นสามารถทำได้โดยการนำเอาค่าปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัดของแต่ละสถานีมาหาปริมาตรน้ำในแต่ละพื้นที่โดยใช้สมการที่ (1) โดยแทนค่า $\left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \pi$ ของสมการที่ (1) ด้วยพื้นที่รับน้ำ Thiessen ซึ่งการทำงานของโปรแกรมในการหาค่าปริมาณน้ำจากปริมาณน้ำฝนสามารถแสดงได้ดัง Flowchart ดังรูปที่ 4.14 จากรูปที่ 4.14 แสดงการคำนวณปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนของสถานีตรวจวัดต่างๆ โดยถ้าหากว่าฝนตกที่สถานีใดๆ ก็จะทำการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำของพื้นที่รับน้ำนั้นๆ และถ้าหากว่าไม่มีฝนตกค่าปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนของพื้นที่นั้นๆก็จะเป็น 0 เมื่อทำการตรวจสอบและคำนวณจนครบทุกสถานีแล้วก็จะทำการหาค่าปริมาณฝนเฉลี่ย ซึ่งจะเป็นปริมาณฝนเฉลี่ยของทั้งลุ่มแม่น้ำและสามารถที่จะหาปริมาณน้ำของลุ่มแม่น้ำทั้งลุ่มโดยใช้ปริมาณฝนเฉลี่ยซึ่งทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำที่เข้ามาในลุ่มแม่น้ำโดยใช้ค่าปริมาณน้ำฝน โดยห้องควบคุมก็จะรับข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีสนามต่างๆในระบบ SCADA และทำการคำนวณตามการทำงานของโปรแกรมดังกล่าวซึ่งเป็นการคำนวณปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนจากพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยเริ่มจากสถานีตรวจวัดที่ 1. (M1) และเรื่อยลงมาจนกระทั่งถึงเขื่อน โดยสามารถแสดงตัวอย่างของการคำนวณได้ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

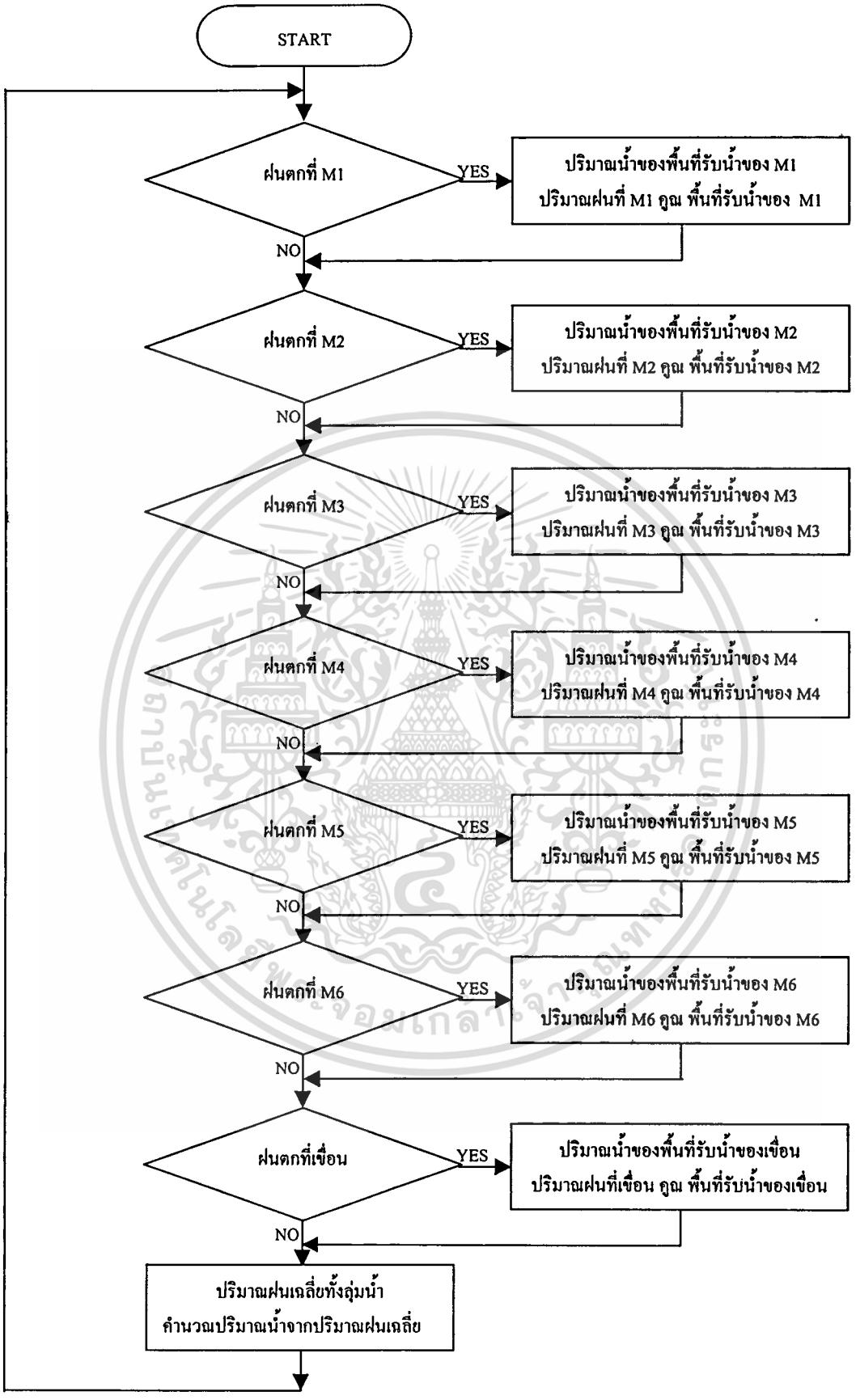
ตารางที่ 4.5 แสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝน [8]

ลำดับที่	สถานีตรวจวัด	พ.ท. รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณฝน (มม.)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)
1	M1	1026	2	2.052
2	M2	2540	0	0
3	M3	2359	0	0
4	M4	1245	2	2.49
5	M5	2221	0	0
6	M6	1270	2	2.54
7	เขื่อน	1286	0	0

$$\text{ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย} = \frac{7.082}{11947} = 0.6 \text{ mm.}$$

โดยปรกติแล้วการคำนวณปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนนั้นจะต้องทำการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ได้จาก Base Flow, Surface Flow และ Sub Surface Flow แต่เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจทางภูมิประเทศและข้อมูลทางสถิติยังไม่เพียงพอที่จะทำการคำนวณปริมาณน้ำจากปริมาณน้ำฝนโดยวิธีการหาค่าต่างๆดังกล่าวได้ ดังนั้นในการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำในลุ่มน้ำจึงได้มาจากการข้อมูลสถิติซึ่งใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำในลุ่มน้ำของลุ่มแม่น้ำป่าสัก [8] โดยปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนจะเป็น 70 % ของปริมาณน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำฝนรวมทั้งหมด โดยพื้นที่ลุ่มแม่น้ำป่าสักแสดงดังรูปที่ A1 ในภาคผนวกที่ 1. ตัวอย่างแผนที่ของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำ ซึ่งเป็นรูปที่แสดงพื้นที่ลุ่มแม่น้ำป่าสัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



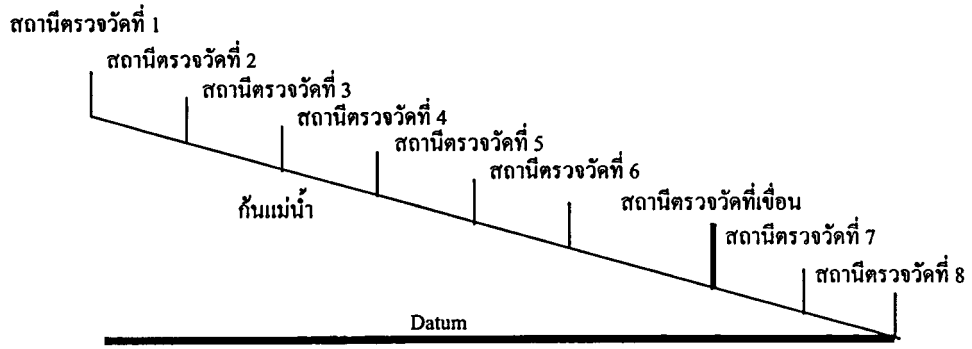
รูปที่ 4.14 แสดงการคำนวณปริมาณน้ำจากปริมาณน้ำฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมคำนวณระดับน้ำและปริมาณน้ำที่เวลา (t + Δt)

ในการคำนวณหาค่าระดับน้ำ (H) และปริมาณน้ำ (Q) สามารถนำเอาวิธีการในการคำนวณจากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3. โดยทำการสร้างรูปที่มีลักษณะเป็นจุดตัดต่างๆดังรูปที่ 3.7 โดยให้แต่ละจุดตัดแทนจุดที่จะทำการคำนวณดังกล่าว โดยจุดตัดแต่ละจุดตัดนั้นสามารถที่จะเขียนสมการออกมาได้ 2 สมการซึ่งมีลักษณะเป็นดังสมการที่ (23) [3] และสมการที่ (24) [3] โดยที่ค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ใช้ในการคำนวณนั้นมาจากระบบ SCADA โดยนำเอาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดมาเป็นข้อมูลในการคำนวณหาระดับน้ำ (H) และปริมาณน้ำ (Q) ที่จะไหลมาถึงเขื่อนหรือระดับน้ำ (H) หรือปริมาณน้ำ (Q) ณ.เวลาล่วงหน้าจากเวลาปัจจุบัน (Δt) โดยการกำหนดให้ค่าระดับน้ำ (H) และปริมาณน้ำ (Q) ที่ได้จากสถานีตรวจวัดเป็นค่าเริ่มต้น ณ. เวลา t ซึ่งในการคำนวณของโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำ ณ. เวลาที่ผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง Δt ซึ่งผลของการคำนวณก็จะทำให้สามารถทราบค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำ ณ. จุดต่างๆตามลำแม่น้ำได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดที่ได้ทำการสำรวจหาพื้นที่หน้าตัดเอาไว้แล้ว โดยสถานีตรวจวัดที่ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำเอาไว้นั้นก็จะถูกใช้เป็นจุดตรวจสอบค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่เข้ามาในช่วงลำน้ำและออกจากช่วงลำน้ำในแต่ละช่วงของลำแม่น้ำทั้งหมดจนกระทั่งถึงเขื่อน (Boundary Condition) ซึ่งโดยปรกติแล้วน้ำจะไหลจากต้นแม่น้ำซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศในระดับที่สูงกว่ากว่าระดับที่ปลายแม่น้ำหรือเขื่อนโดยเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยระยะเวลาที่น้ำไหลจากต้นแม่น้ำมาถึงเขื่อนนั้นขึ้นอยู่กับความลาดเอียงของลำแม่น้ำในแต่ละสาย โดยความลาดเอียงดังกล่าวสามารถหาได้โดยการนำเอาระดับก้นแม่น้ำของแต่ละจุดที่ทำการสำรวจเอาไว้แล้วทำการลากลงมาจากสถานีแรกจนกระทั่งถึงเขื่อนและทำการหาค่าลาดเอียงได้โดยใช้เส้น Datum เป็นระดับอ้างอิงโดยเส้น Datum จะเป็นเส้นที่ลากจากก้นแม่น้ำของปลายแม่น้ำในลักษณะแนวราบตามลำแม่น้ำดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.15 ซึ่งเป็นรูปแสดงลำแม่น้ำที่แสดงในลักษณะเส้นตรงโดยแสดงความลาดเอียงของลำน้ำโดยใช้ Datum เป็นระดับอ้างอิงซึ่งจะเห็นว่ามีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมและแสดงช่วงน้ำที่ได้ทำการแบ่งเอาไว้แล้วซึ่งแต่ละช่วงสามารถแสดงได้โดยใช้สถานีตรวจวัดต่างๆตั้งแต่สถานีตรวจวัดที่1 จนกระทั่งถึงสถานีตรวจวัดที่ 6 ซึ่งเป็นสถานีที่เปรียบเสมือนเป็นประตูที่น้ำจะไหลเข้าเขื่อนซึ่งปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีนี้ก็คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่เขื่อนนั่นเอง ซึ่งเมื่อสามารถหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเข้ามาที่เขื่อนก็ทำให้สามารถที่จะหาค่าปริมาตรน้ำและระดับน้ำที่เขื่อนได้ โดยแต่ละสถานีตรวจวัดก็จะทำการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำเพื่อทำการวัดค่าระดับน้ำและคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในช่วงน้ำและไหลออกจากช่วงน้ำโดยแทนช่วงน้ำ และสถานีตรวจวัดที่เขื่อนจะเป็นสถานีตรวจวัดระดับน้ำที่หน้าเขื่อน และอีก 2 สถานีคือสถานีตรวจวัดที่ 7 และสถานีตรวจวัดที่ 8 ซึ่งได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำเอาไว้เพื่อทำการวัดระดับน้ำที่ด้านท้ายเขื่อนเพื่อทำการตรวจสอบว่าระดับน้ำที่ปล่อยออกไปนั้นไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมที่ด้านท้ายเขื่อน

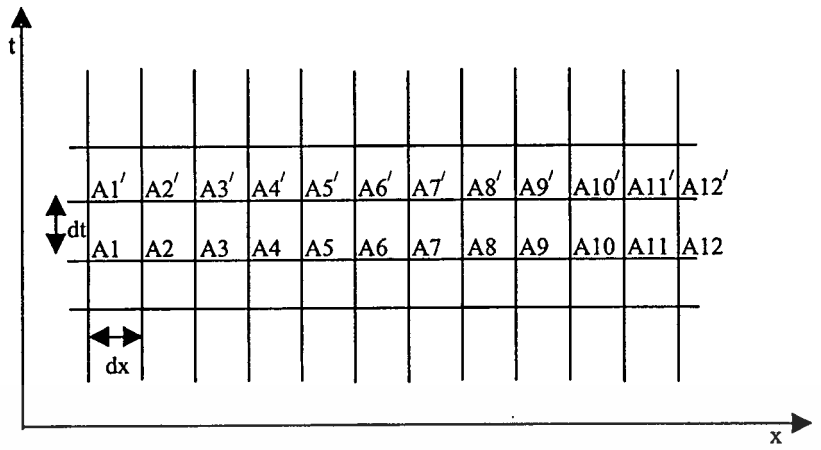
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 รูปแสดงภาพตัดขวางตามแนวทางการไหลของน้ำ

จากรูปที่ 4.15 เมื่อทำการกำหนดจุดที่จะทำการคำนวณแล้วก็จะทำการสร้างรูปจุดตัดโดยให้แต่ละจุดตัดเป็นจุดที่ทำการคำนวณและในขณะเดียวกันก็ให้เป็นจุดที่เป็นสถานีตรวจวัดด้วย โดยสามารถสร้างรูปจุดตัดดังกล่าวได้ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งหลักการที่กล่าวมาแล้วสามารถที่จะออกแบบโปรแกรมเพื่อให้คำนวณหาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่จุดต่างๆตามแกนระยะทางที่ได้กำหนดเอาไว้ดังรูปที่ 4.15 ซึ่งในการออกแบบโปรแกรมนั้นจะนำเอาสมการที่ (23) [3] และสมการ (24) [3] มาทำการเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นดังรูปที่ 4.16 ซึ่งเป็นรูปแสดงจุดตัดของระยะทางกับเวลา โดยแต่ละสถานีก็จะทำการกำหนดจุดที่จะต้องทำการคำนวณโดยจะต้องทำการหาพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำและในการคำนวณจะทำการกำหนดค่า $\Delta Q(A1)$ หรือค่า $\Delta H(A1)$ ที่พื้นที่หน้าตัดที่ A1 เป็นค่าเริ่มต้นของจุดเริ่มต้น โดยกำหนดให้สถานีตรวจวัดที่ M1 เป็นจุดตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน A1 ด้วย และ $\Delta Q(A12)$ หรือ $\Delta H(A12)$ ที่สถานีตรวจวัดที่ M2 เป็นค่าเริ่มต้นของจุดท้ายสุดที่ทำการตรวจวัดหรือเป็น Boundary Condition ซึ่งจะเป็นตามรูปที่ 4.16 และทำลักษณะเดียวกันทุกสถานีจนกระทั่งถึงสถานีที่เขื่อน ซึ่งการกำหนดค่าเริ่มต้นดังกล่าวจะทำให้สามารถหาค่าระดับน้ำ (H) หรือปริมาณน้ำ (Q) ณ. จุดต่างๆและที่เวลาต่างๆ ตามจุดต่างๆตามลุ่มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



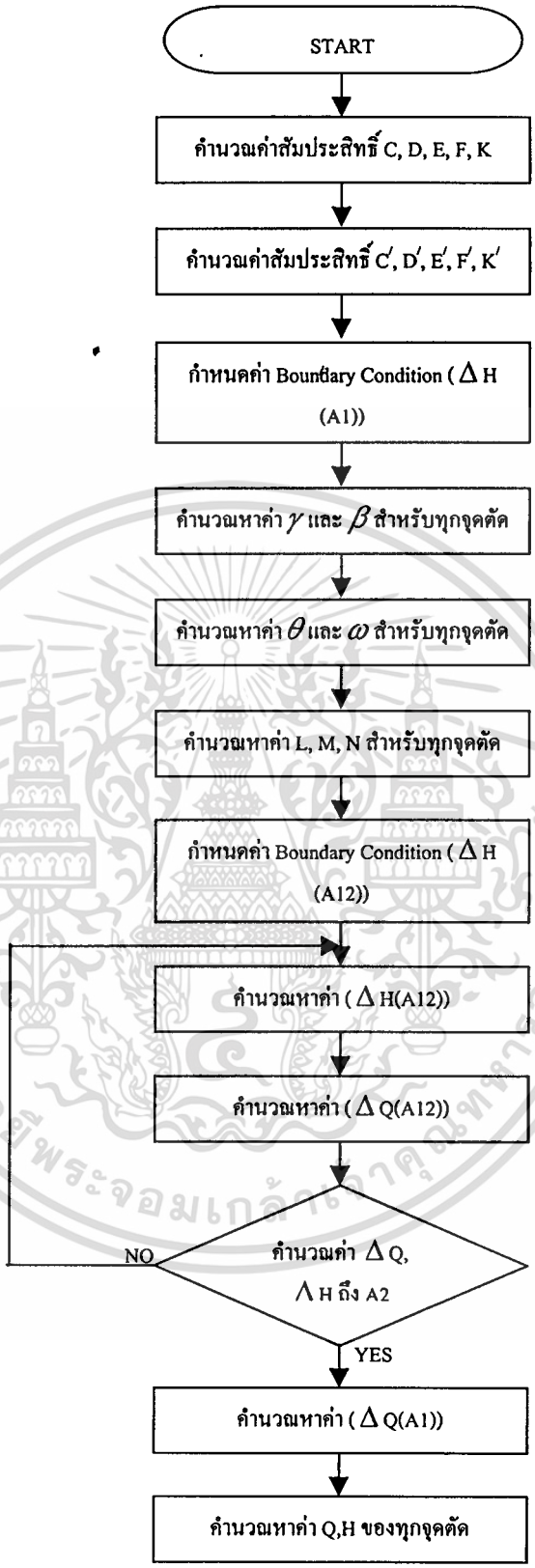
รูปที่ 4.16 รูปแสดงจุดตัดระหว่างระยะทางและเวลาของสถานีตรวจวัดทั้งหมด

เมื่อได้ทำการกำหนดจุดต่างๆที่ใช้ในการคำนวณและสร้างรูปจุดตัดดังกล่าวแล้วก็จะทำการคำนวณโดยใช้ขั้นตอนในการคำนวณที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3. และสามารถนำมาทำการออกแบบโปรแกรมในการคำนวณได้ โดยการทำงานของโปรแกรมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.17 ซึ่งเป็น Flow chart ในการคำนวณค่าพยากรณ์ค่าระดับน้ำหรือปริมาณน้ำ โดยในการคำนวณหาค่าระดับน้ำหรือปริมาณน้ำนั้นจะเริ่มจากการคำนวณค่าเริ่มต้นก่อน โดยเริ่มจากการหาค่าสัมประสิทธิ์ C,D,E,F,K และ C',D',E',F',K' ซึ่งสามารถหาได้โดยการใช้ค่าที่ได้จากการสำรวจพื้นที่ลุ่มน้ำต่างๆ ของทุกสถานีที่ทำการตรวจวัดหรือทุกจุดที่ได้ทำการสำรวจเอาไว้ ซึ่งจุดที่ได้ทำการสำรวจเอาไว้ก็สามารถที่จะทำการคำนวณได้แต่จะต้องมีข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณอย่างครบถ้วน โดยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ C,D,E,F,K และ C',D',E',F',K' ต่างๆ นั้นจะทำการหาแต่ละจุดตัดทุกจุดตัด ซึ่งหลังจากที่หาค่าสัมประสิทธิ์ C,D,E,F,K และ C',D',E',F',K' ต่างๆ ของแต่ละจุดตัดทุกจุดตัด และเนื่องจากการหาค่า Q หรือ H นั้นจะทำการจากค่าสัมประสิทธิ์ C,D,E,F,K และ C',D',E',F',K' ต่างๆ ดังนั้นจึงได้ทำการกำหนดให้ γ , β , θ และ ω แทนค่าสัมประสิทธิ์ของสัมประสิทธิ์ C,D,E,F,K และ C',D',E',F',K' เมื่อทำการหาค่า ΔQ หรือ ΔH เนื่องจากในการหาค่าดังกล่าวของแต่ละจุดตัดนั้นจะต้องเอาค่าสัมประสิทธิ์ C,D,E,F,K และ C',D',E',F',K' บางค่ามาทำการคำนวณร่วมด้วย ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจึงทำการแทนค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณหาค่า ΔQ เป็นค่าดังกล่าวข้างต้นโดยลักษณะการคำนวณหาค่า γ , β , θ และ ω จะแทนค่าในลักษณะเดียวกันโดยค่า γ และ β เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้หาค่า ΔQ หรือ ΔH ที่จุดตัดถัดลงมาจากจุดตัดเริ่มต้นในที่นี้คือ A2 และแสดงถึงว่าค่าที่ใช้คำนวณหาค่า ΔQ หรือ ΔH เป็นค่าการคำนวณที่ได้จากการกำหนด Boundary Condition โดยการกำหนดค่า Boundary Condition นั้นจะทำการกำหนดค่า ΔQ หรือ ΔH ของจุดตัดที่ 1 ในที่นี้คือ A1 และที่จุดตัดสุดท้ายเท่านั้นและการกำหนดค่าเริ่มต้นนั้นจะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้เหมือนกันทั้งที่จุดตัดเริ่มต้นและจุดตัดสุดท้ายกล่าวคือ ถ้าหากกำหนดค่า ΔQ ก็จะต้องกำหนดทั้งที่จุดตัดเริ่มต้นและจุดตัดสุดท้ายเช่นเดียวกันถ้าหากกำหนด ΔH ก็จะต้องกำหนดทั้งที่จุดตัดเริ่มต้นและจุดตัดสุดท้าย ส่วนค่า θ และ ω เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้หาค่า ΔQ หรือ ΔH ที่จุดตัดถัดลงมาจากจุดตัด A2 ซึ่งแสดงถึงว่าค่าที่ใช้คำนวณค่า ΔQ หรือ ΔH เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณของสถานีถัดขึ้นไป ต่อจากนั้นก็จะทำการคำนวณหาค่า L, M และ N ซึ่งในการหาค่า L, M และ N นี้ก็คือการหาค่าสัมประสิทธิ์ในการหาค่า ΔH ของจุดตัดต้นทางโดยใช้ค่า ΔQ จากจุดตัดปลายทาง เมื่อได้ค่า ΔH แล้วก็สามารถที่จะหาค่า ΔQ ของสถานีนั้นได้ในที่นี้จะทำการคำนวณหาค่า ΔH และ ΔQ ของจุดตัด A6 ต่อจากนั้นก็จะทำการคำนวณในลักษณะเดียวกันจนกระทั่งได้ค่า ΔQ และ ΔH ของทุกจุดตัดจนกระทั่งถึงจุดตัด A2 แล้วจึงทำการคำนวณหาค่า ΔQ ของสถานีแรกหรือที่จุดตัดเริ่มต้น A1 และเมื่อได้ค่า ΔQ แล้วก็ทำการคำนวณหาค่า Q ของทุกจุดตัดโดยการบวกค่า $\dot{Q}$ กับ ΔQ ที่เวลา $t + \Delta t$ หลังจากที่หาค่า Q หรือ H ณ. จุดตัดต่างๆทุกๆ จุดแล้วซึ่งรวมถึงค่า Q หรือค่า H ที่สถานีต่างๆแล้วและค่า Q ที่สถานี M6 ซึ่งเป็นสถานีที่น้ำจะไหลลงสู่เขื่อน ดังนั้นปริมาณน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดที่สถานีนี้จะเป็นปริมาณน้ำที่ไหลลงเขื่อน ซึ่งหลังจากที่ทำการหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลลงเขื่อนแล้วก็จะทำการหาค่าปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บกักและคำนวณหาค่าปริมาณการระบายน้ำออกจากเขื่อนรวมไปถึงระยะเวลาที่จะต้องใช้ในการระบายน้ำออกจากเขื่อนให้ได้ระดับที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



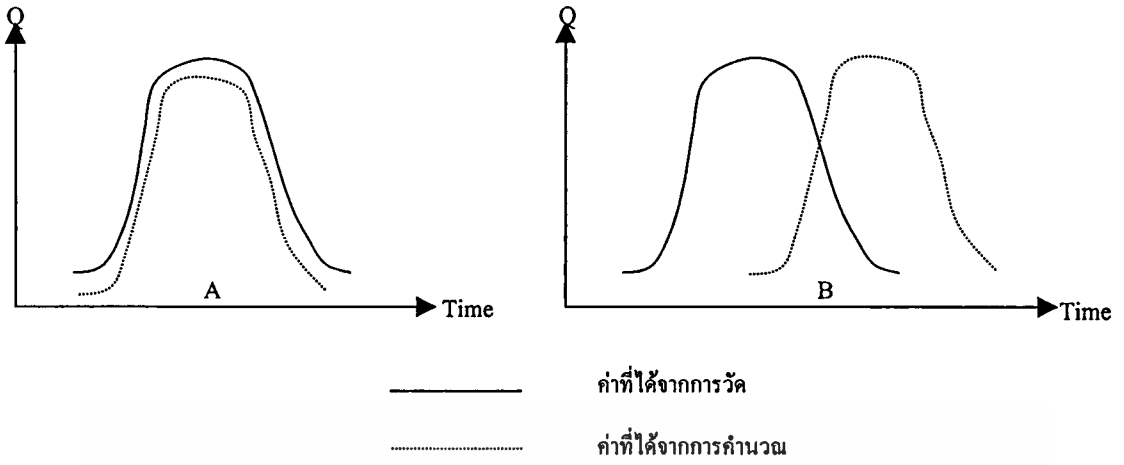
รูปที่ 4.17 Flow chart แสดงวิธีการคำนวณพยากรณ์น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การปรับแต่งตัวพารามิเตอร์เพื่อลดความผิดพลาดทางขนาดและความผิดพลาดทางเฟส

เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังกล่าวบางค่าได้มาจากการสำรวจและบางค่าได้มาจากสถิติ ดังนั้นก่อนที่จะนำเอาโปรแกรมในการควบคุมระดับน้ำที่เขื่อนดังกล่าวไปใช้งานจะต้องทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อให้ค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศต่างๆของลุ่มน้ำนั้นๆ ซึ่งโดยปรกติแล้วค่าความผิดพลาดต่างๆ ดังกล่าวก็คือค่า Amplitude Error เนื่องมาจากค่าปริมาณน้ำที่เข้ามาในลุ่มแม่น้ำไม่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงเช่นค่าอัตราการระเหย และค่าปริมาณน้ำที่ถูกใช้ในการเกษตรหรืออุตสาหกรรมต่างๆเป็นต้น นอกจากนั้นก็คือ Phase Error เนื่องมาจากปริมาณน้ำไหลลงมาถึงเขื่อนคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงมากเกินไปซึ่งอาจจะต้องทำการสำรวจเพื่อทำการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลของแม่น้ำ หรือตามทางที่น้ำไหลนั้นอาจจะมีบางช่วงที่อาจจะมีฝายกั้นน้ำอยู่ซึ่งทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณที่แตกต่างออกไปจากค่าที่วัดได้จริง จากรูปที่ 4.18 เป็นตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างการคำนวณพยากรณ์และค่าที่ได้จากการวัด โดยรูป A. แสดง Amplitude Error และรูป B. แสดง Phase Error ซึ่งเมื่อค่าที่วัดได้และค่าที่คำนวณได้มีความแตกต่างกันมากจะต้องทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างเพื่อให้ค่าที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด จากรูป A. จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการวัดมากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งอาจจะเป็นได้ได้ว่าค่าอัตราการระเหย และค่าปริมาณการใช้น้ำที่ใช้ในการคำนวณอาจจะน้อยเกินไป และจากรูป B. จะเห็นว่าค่าปริมาณน้ำที่ทำการคำนวณเอาไว้ล่วงหน้านั้นต่างจากค่าที่วัดได้จริงโดยค่าปริมาณน้ำที่วัดได้จริงนั้นเกิดขึ้นเร็วกว่าค่าที่ได้คำนวณเอาไว้ซึ่งก็อาจจะเป็นไปได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลอาจจะไม่ถูกต้อง หรืออาจจะเป็นที่ Rating Curve ไม่ถูกต้อง หรือเป็นที่ระยะระหว่างพื้นที่หน้าตัดยาวเกินไป ซึ่งอาจจะต้องทำการสำรวจเพิ่มเติมเพื่อที่จะลดค่าความผิดพลาดต่างๆ จากรูปที่ 4.18 ทั้งรูป A. และรูป B. จะแสดงตัวอย่างค่าความผิดพลาดที่เกิดที่ได้จากการคำนวณที่ผิดพลาดไปจากค่าที่วัดได้ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป A. แสดง Amplitude Error รูป B. แสดง Phase Error

รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างการคำนวณและการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

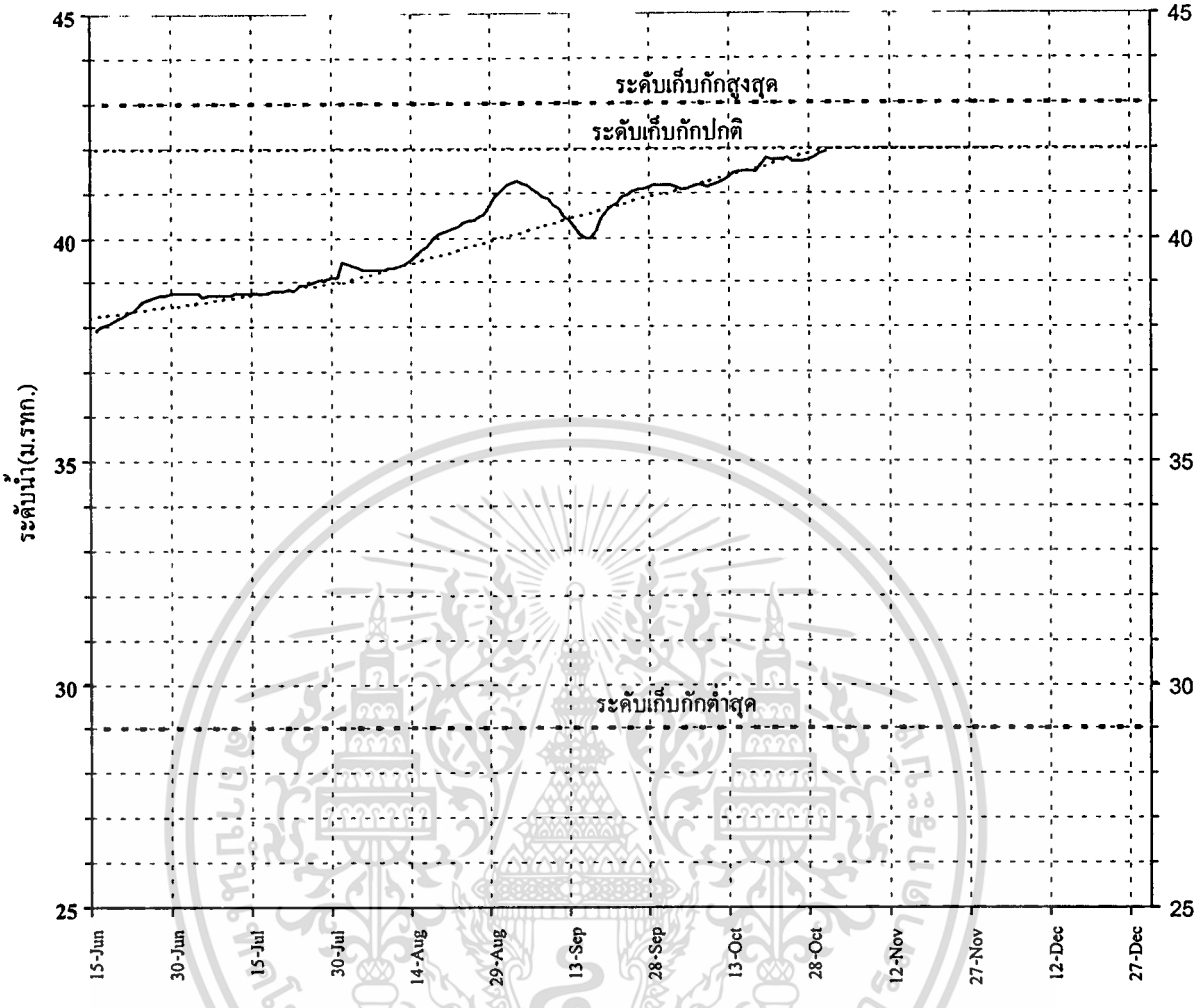
บทที่ 5
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการทดสอบการนำเอาระบบ SCADA มาใช้ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนนั้น จะทำการทดสอบออกเป็น การวัดค่าต่างๆจากอุปกรณ์ตรวจวัดเช่นการวัดค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากค่าระดับน้ำโดยใช้ Rating Curve ซึ่งสามารถนำเอาค่าปริมาณน้ำฝนมาคำนวณหาค่าปริมาณน้ำเพื่อประเมินค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในลุ่มน้ำเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการใส่ค่าตัวแปรเริ่มต้นให้กับโปรแกรม การทดสอบระบบการสื่อสารเพื่อให้สามารถที่จะแน่ใจได้ว่า RTU ทุกตัวที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีต่างๆ ในระบบ SCADA สามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับห้องควบคุมได้ ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อสื่อสารกับห้องควบคุมโดยตรงหรือผ่านสถานีทวนสัญญาณ โดยผลการทดสอบระบบสื่อสารดังแสดงในภาคผนวกที่ 2. ผลการคำนวณระบบการสื่อสารและการทดสอบระบบสื่อสารซึ่งเป็นผลการทดสอบระบบสื่อสารของระบบ SCADA ของระบบ SCADA โครงการลุ่มแม่น้ำป่าสัก[8] โดยในการทดสอบระบบสื่อสารของระบบ SCADA ซึ่งสื่อที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันนั้นเป็นวิทยุสื่อสารซึ่งมีกำลังส่ง 25 Watts ที่ความถี่ 139.00 MHz และใช้อัตราขยายของสายอากาศ 9 dB ซึ่งในการทดสอบนั้นก็จะทำการทดสอบความแรงของสัญญาณที่สถานีรับสามารถรับได้แล้วนำเอาความแรงของสัญญาณที่วัดได้ดังกล่าวนั้นมาลบออกจากความแรงของสัญญาณที่ส่งออกมาจากสถานีส่งซึ่งเรียกค่าดังกล่าวว่า Fade Marginจะต้องมากกว่า 30 dB ซึ่งการที่คำนวณค่า Fade Margin ได้มากกว่า 30 dB จะทำให้ความน่าเชื่อถือของการรับ – ส่งมีความน่าเชื่อถือได้ 99.99 % [6] โดยจากผลการทดสอบจะเห็นว่าทุกสถานีมี Fade Margin มากกว่า 30 dB ทุกสถานีทำให้เชื่อได้ว่าทุกสถานีสามารถที่จะทำการติดต่อสื่อสารกับห้องควบคุมได้อย่างดี นอกจากนั้นก็จะทำการวัดค่ากำลังส่งออกของเครื่องส่งวิทยุ (Forward Power) และกำลังงานสะท้อน (Reflected Power) และทำการคำนวณหาค่า VSWR และนอกจากจะทำการทดสอบระบบสื่อสารของระบบ SCADA แล้วจะต้องทำการตรวจสอบระบบ Ground ด้วยเพื่อป้องกันระบบให้ปลอดภัยจากความผิดพลาดอันเนื่องจากระบบไฟฟ้าหรือช่วยป้องกันอันตรายจากภัยธรรมชาติเช่นฟ้าผ่าเป็นต้น ซึ่งโดยปรกติแล้วค่าความต้านทานควรจะต้องมีค่าต่ำกว่า 1 โอห์ม และการทดสอบโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณพยากรณ์ค่าระดับน้ำโดยจะทำการคำนวณหาค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำที่เวลาต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ตารางที่ 5.2 ตารางที่ 5.3 ตารางที่ 5.4 ตารางที่ 5.5 และตารางที่ 5.6 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนสามารถแสดงได้โดยการใช้กราฟควบคุมระดับน้ำในเขื่อน (Rule Curve) เทียบกับค่าระดับน้ำที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดระดับน้ำที่เขื่อน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งและนอกจากนั้นยังแสดงค่าระดับน้ำที่วัดได้ที่สถานีต่างๆเมื่อเทียบกับค่าระดับน้ำที่วัดได้จากแต่ละสถานี โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณพยากรณ์เป็นเวลา 3 วัน จากรูปกราฟที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงดังรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าค่าระดับน้ำที่เก็บกักอยู่ที่เขื่อนซึ่งวัดที่สถานีตรวจวัดที่เขื่อนมีลักษณะเป็นไปตามเส้นกราฟที่ใช้ในการควบคุมคือมีลักษณะที่เพิ่มขึ้นตามเส้นกราฟควบคุม โดยในช่วงเดือนช่วงปลายเดือนสิงหาคมนั้นได้ทำการเก็บกักมากกว่าปรกติเนื่องจากมีปริมาณน้ำที่ไหลลงมาที่เขื่อนเป็นปริมาณมากและเขื่อนต้องการที่จะเก็บกักน้ำมากกว่าปรกติและเนื่องจากคาดว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าเขื่อนน่าจะมีปริมาณมากกว่าปรกติจึงได้ทำการระบายน้ำออกจากเขื่อนจนมีระดับใกล้เคียงกับเส้นกราฟควบคุมและทำการรักษาระดับให้เป็นไปตามเส้นควบคุมจนกระทั่งถึงระดับเก็บกักปรกติ ซึ่งเป็นระดับที่จะรักษาระดับน้ำไม่ให้มากกว่านี้เพื่อรักษาพื้นที่ในการเก็บกักน้ำในกรณีที่ปริมาณน้ำที่ไหลลงเขื่อนมากกว่าปรกติ โดยในผลการทดลองนี้ค่าระดับน้ำที่ใช้ในการสร้างกราฟจะเป็นช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 15 มิถุนายน ถึงวันที่ 30 ตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาของฤดูฝนที่เขื่อนจะต้องทำการเก็บกักน้ำเพื่อให้มีน้ำใช้ได้ตลอดทั้งปี โดยเขื่อนจะทำการเก็บกักน้ำเอาไว้จนถึงระดับเก็บกักปรกติแต่ถ้าหากว่ามีปริมาณฝนมากกว่าปรกติก็อาจจะทำการเก็บกักน้ำเอาไว้จนถึงระดับเก็บกักสูงสุด ซึ่งโดยปรกติจะทำการเก็บกักเอาไว้ที่ระดับเก็บกักปรกติเท่านั้นถ้าหากว่าปริมาณน้ำที่ไหลลงมาที่เขื่อนมากกว่าปรกติก็จะทำการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนซึ่งในการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนนั้นจะต้องไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณท้ายเขื่อนด้วยซึ่งถ้าหากว่าน้ำที่มามากเกินกว่าปรกติก็เป็นไปได้ที่จะเก็บกักเอาไว้มากกว่าระดับเก็บกักปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงระดับน้ำที่วัดได้ที่สถานีหน้าเขื่อนเมื่อเทียบกับ Rule Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ [8]

วันที่	เวลา	ระยะทางระหว่างสถานีตรวจวัดตามลำน้ำ (กม.)					
		สถานี M1		สถานี M2		สถานี M3	
		0.000		30.090		69.67	
		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ	
		ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ	ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ	ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ
18/10/00	7.00	190.46	14.90	151.46	4.70	105.59	21.20
18/10/00	8.00	190.43	14.60	151.45	3.90	105.61	22.40
18/10/00	9.00	190.42	14.60	151.44	3.10	105.59	21.20
18/10/00	10.00	190.42	14.40	151.44	3.10	105.60	21.80
18/10/00	11.00	190.44	14.70	151.44	3.10	105.63	23.60
18/10/00	12.00	190.44	14.70	151.44	3.10	105.65	24.80
18/10/00	13.00	190.45	14.80	151.44	3.10	105.67	26.00
18/10/00	14.00	190.44	14.70	151.45	3.90	105.68	26.60
18/10/00	15.00	190.43	14.60	151.44	3.10	105.70	27.70
18/10/00	16.00	190.43	14.60	151.44	3.10	105.75	30.40
18/10/00	17.00	190.42	14.40	151.46	4.70	105.77	31.50
18/10/00	18.00	190.43	14.60	151.44	3.10	105.78	32.10
18/10/00	19.00	190.43	14.60	151.45	3.90	105.81	33.70
18/10/00	20.00	190.43	14.60	151.45	3.90	105.83	34.80
18/10/00	21.00	190.41	14.30	151.46	4.70	105.85	35.90
18/10/00	22.00	190.44	14.70	151.48	6.20	105.86	36.50
18/10/00	23.00	190.43	14.60	151.48	6.20	105.85	35.90
19/10/00	00.00	190.44	14.70	151.48	6.20	105.82	34.30
19/10/00	01.00	190.43	14.60	151.47	5.40	105.85	35.90
19/10/00	02.00	190.43	14.60	151.47	5.40	105.86	36.50
19/10/00	03.00	190.43	14.60	151.47	5.40	105.84	35.40
19/10/00	04.00	190.44	14.70	151.48	6.20	105.84	35.40
19/10/00	05.00	190.42	14.40	151.48	6.20	105.82	34.30
19/10/00	06.00	190.42	14.40	151.47	5.40	105.82	34.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ [8]

วันที่	เวลา	ระยะทางระหว่างสถานีตรวจวัดตามลำน้ำ (กม.)					
		สถานี M4		สถานี M5		สถานี M6	
		147.85		259.32		332.11	
		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ	
		ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ	ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ	ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ
18/10/00	7.00	84.68	92.50	61.67	173.50	45.10	209.10
18/10/00	8.00	84.67	92.10	61.67	173.50	45.11	209.70
18/10/00	9.00	84.65	91.40	61.66	173.00	45.12	210.20
18/10/00	10.00	84.63	90.60	61.66	173.00	45.12	210.20
18/10/00	11.00	84.63	90.60	61.65	172.50	45.13	210.70
18/10/00	12.00	84.60	89.50	61.64	172.00	45.12	210.20
18/10/00	13.00	84.58	88.80	61.63	171.50	45.12	210.20
18/10/00	14.00	84.55	87.60	61.63	171.50	45.13	210.70
18/10/00	15.00	84.54	87.30	61.62	171.00	45.12	210.20
18/10/00	16.00	84.62	86.50	61.60	170.00	45.12	210.20
18/10/00	17.00	84.61	86.10	61.60	170.00	45.12	210.20
18/10/00	18.00	84.49	85.40	61.59	169.50	45.10	209.10
18/10/00	19.00	84.48	85.10	61.58	169.00	45.12	210.20
18/10/00	20.00	84.47	84.80	61.57	168.50	45.12	210.20
18/10/00	21.00	84.45	84.20	61.56	168.00	45.13	210.70
18/10/00	22.00	84.43	83.50	61.56	168.00	45.13	210.70
18/10/00	23.00	84.42	83.20	61.55	167.50	45.15	211.70
19/10/00	00.00	84.39	82.30	61.54	167.00	45.15	211.70
19/10/00	01.00	84.38	82.00	61.53	166.50	45.15	211.70
19/10/00	02.00	84.36	81.30	61.52	166.00	45.16	212.20
19/10/00	03.00	84.34	80.70	61.52	166.00	45.17	212.70
19/10/00	04.00	84.33	80.40	61.51	165.50	45.17	212.70
19/10/00	05.00	84.31	79.80	61.50	165.00	45.18	213.20
19/10/00	06.00	84.29	79.10	61.50	165.00	45.20	214.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ [8]

วันที่	เวลา	ระยะทางระหว่างสถานีตรวจวัดตามลำน้ำ (กม.)					
		สถานี DAM					
		433.2					
		ระดับน้ำและปริมาตรน้ำ					
		ระดับน้ำ	ปริมาตรน้ำ				
18/10/00	7.00	41.48	869.00				
18/10/00	8.00	41.48	869.00				
18/10/00	9.00	41.48	869.00				
18/10/00	10.00	41.48	869.00				
18/10/00	11.00	41.48	869.00				
18/10/00	12.00	41.48	869.00				
18/10/00	13.00	41.48	869.00				
18/10/00	14.00	41.48	869.00				
18/10/00	15.00	41.48	869.00				
18/10/00	16.00	41.48	869.00				
18/10/00	17.00	41.48	869.00				
18/10/00	18.00	41.48	869.00				
18/10/00	19.00	41.48	869.00				
18/10/00	20.00	41.48	869.00				
18/10/00	21.00	41.48	869.00				
18/10/00	22.00	41.48	869.00				
18/10/00	23.00	41.48	869.00				
19/10/00	00.00	41.48	869.00				
19/10/00	01.00	41.48	869.00				
19/10/00	02.00	41.48	869.00				
19/10/00	03.00	41.48	869.00				
19/10/00	04.00	41.48	869.00				
19/10/00	05.00	41.48	869.00				
19/10/00	06.00	41.48	869.00				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ [8]

วันที่	เวลา	ระยะทางระหว่างสถานีตรวจวัดตามลำน้ำ (กม.)					
		สถานี M1		สถานี M2		สถานี M3	
		0.000		30.090		69.67	
		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ	
		ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ	ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ	ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ
19/10/00	7.00	190.45	14.80	151.48	6.20	105.81	33.70
19/10/00	8.00	190.42	14.40	151.48	6.20	105.82	34.30
19/10/00	9.00	190.42	14.40	151.48	6.20	105.83	34.80
19/10/00	10.00	190.42	14.40	151.47	5.40	105.83	34.80
19/10/00	11.00	190.41	14.30	151.45	3.90	105.85	35.90
19/10/00	12.00	190.40	14.20	151.45	3.90	105.87	37.00
19/10/00	13.00	190.42	14.40	151.44	3.10	105.89	37.50
19/10/00	14.00	190.43	14.60	151.44	3.10	105.91	38.00
19/10/00	15.00	190.41	14.30	151.44	3.10	105.92	38.30
19/10/00	16.00	190.40	14.20	151.45	3.90	105.92	38.30
19/10/00	17.00	190.40	14.20	151.43	2.30	105.90	37.80
19/10/00	18.00	190.39	14.10	151.43	2.30	105.88	37.30
19/10/00	19.00	190.42	14.40	151.46	4.70	105.89	37.50
19/10/00	20.00	190.40	14.20	151.46	4.70	105.96	39.30
19/10/00	21.00	190.40	14.20	151.46	4.70	105.99	40.00
19/10/00	22.00	190.42	14.40	151.48	6.20	106.02	40.80
19/10/00	23.00	190.39	14.10	151.48	6.20	106.04	41.30
20/10/00	00.00	190.39	14.10	151.49	7.00	106.04	41.30
20/10/00	01.00	190.39	14.10	151.50	7.80	106.07	42.00
20/10/00	02.00	190.40	14.20	151.51	8.50	106.10	42.70
20/10/00	03.00	190.40	14.20	151.53	10.10	106.12	43.20
20/10/00	04.00	190.41	14.30	151.54	10.80	106.13	43.40
20/10/00	05.00	190.41	14.30	151.52	9.30	106.13	43.40
20/10/00	06.00	190.40	14.20	151.53	10.10	106.13	43.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ [8]

วันที่	เวลา	ระยะทางระหว่างสถานีตรวจวัดตามลำน้ำ (กม.)					
		สถานี M4		สถานี M5		สถานี M6	
		147.85		259.32		332.11	
		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ		ระดับน้ำและปริมาณน้ำ	
		ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ	ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ	ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำ
19/10/00	7.00	84.28	78.80	61.49	164.50	45.20	214.30
19/10/00	8.00	84.26	78.20	61.48	164.00	45.22	215.30
19/10/00	9.00	84.24	77.60	61.46	163.00	45.20	214.30
19/10/00	10.00	84.23	77.20	61.45	162.50	45.21	214.80
19/10/00	11.00	84.20	76.30	61.43	161.50	45.21	214.80
19/10/00	12.00	84.17	75.40	61.41	160.50	45.20	214.30
19/10/00	13.00	84.16	75.00	61.40	160.00	45.22	215.30
19/10/00	14.00	84.14	74.40	61.37	158.50	45.19	213.80
19/10/00	15.00	84.12	73.80	61.37	158.50	45.18	213.20
19/10/00	16.00	84.10	73.20	61.36	158.00	45.17	212.70
19/10/00	17.00	84.08	72.50	61.34	157.00	45.17	212.70
19/10/00	18.00	84.08	72.50	61.33	156.50	45.17	212.70
19/10/00	19.00	84.06	71.90	61.32	156.00	45.18	213.20
19/10/00	20.00	84.04	71.30	61.30	155.00	45.18	213.20
19/10/00	21.00	84.02	70.60	61.29	154.50	45.19	213.80
19/10/00	22.00	84.00	70.00	61.27	153.50	45.18	213.20
19/10/00	23.00	83.99	69.70	61.26	153.00	45.20	214.30
20/10/00	00.00	83.97	69.20	61.24	152.00	45.22	215.30
20/10/00	01.00	83.95	68.70	61.22	151.00	45.22	215.30
20/10/00	02.00	83.94	68.40	61.21	150.50	45.23	215.80
20/10/00	03.00	83.92	67.80	61.19	149.70	45.25	216.80
20/10/00	04.00	83.91	67.60	61.17	149.10	45.27	217.90
20/10/00	05.00	83.89	67.00	61.15	148.50	45.27	217.90
20/10/00	06.00	83.87	66.50	61.14	148.20	45.27	217.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับน้ำและระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ [8]

วันที่	เวลา	ระยะทางระหว่างสถานีตรวจวัดตามลำน้ำ (กม.)					
		สถานี DAM					
		433.2					
		ระดับน้ำและปริมาตรน้ำ					
		ระดับน้ำ	ปริมาตรน้ำ				
19/10/00	7.00	41.48	869.00				
19/10/00	8.00	41.48	869.00				
19/10/00	9.00	41.48	869.00				
19/10/00	10.00	41.48	869.00				
19/10/00	11.00	41.48	869.00				
19/10/00	12.00	41.48	869.00				
19/10/00	13.00	41.48	869.00				
19/10/00	14.00	41.48	869.00				
19/10/00	15.00	41.48	869.00				
19/10/00	16.00	41.48	869.00				
19/10/00	17.00	41.48	869.00				
19/10/00	18.00	41.48	869.00				
19/10/00	19.00	41.48	869.00				
19/10/00	20.00	41.48	869.00				
19/10/00	21.00	41.48	869.00				
19/10/00	22.00	41.48	869.00				
19/10/00	23.00	41.48	869.00				
20/10/00	00.00	41.48	869.00				
20/10/00	01.00	41.48	869.00				
20/10/00	02.00	41.48	869.00				
20/10/00	03.00	41.48	869.00				
20/10/00	04.00	41.48	869.00				
20/10/00	05.00	41.48	869.00				
20/10/00	06.00	41.48	869.00				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการนำระบบ SCADA มาใช้ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนให้อยู่ในระดับที่ต้องการนั้น สามารถทำได้โดยการนำเอา RTU ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบ SCADA ไปติดตั้งอยู่ตามลำแม่น้ำเพื่อให้ RTU ทำหน้าที่รับข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนและส่งข้อมูลดังกล่าวผ่านระบบสื่อสารเข้ามาที่ห้องควบคุมเพื่อทำการพยากรณ์ระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสถานีตรวจวัดต่างๆตามลุ่มแม่น้ำ โดยข้อมูลที่ได้รับจากระบบ SCADA จะเป็นข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณพยากรณ์ระดับน้ำและปริมาณน้ำล่วงหน้าและเมื่อถึงเวลาที่ได้ทำการคำนวณไว้แล้วก็จะนำเอาข้อมูลที่วัดได้จากระบบ SCADA ณ.เวลานั้นมาทำการเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความคลาดเคลื่อนต่างๆซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้เนื่องจากพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณอาจจะคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงซึ่งก็เนื่องมาจากภูมิประเทศต่างๆได้เปลี่ยนแปลงไปทุกวันรวมไปถึงภูมิอากาศต่างๆซึ่งมีผลต่อการคำนวณพยากรณ์มากและนอกจากนั้นปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่ต่างๆก็เป็นปัจจัยที่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ โดยค่าที่คำนวณล่วงหน้า 1 วันจะให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและถ้าหากว่าคำนวณพยากรณ์ล่วงหน้ามากขึ้นความคลาดเคลื่อนก็มากขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการคำนวณสามารถนำมาช่วยในการรักษาระดับน้ำ โดยถ้าหากว่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณมีมากกว่าระดับที่ต้องการก็จะทำการระบายน้ำส่วนที่เกินออกจากเขื่อนโดยในการระบายน้ำออกจากเขื่อนนั้นจะทำการระบายน้ำออกให้เหมาะสมกับเวลาที่ทำการระบายด้วยเพื่อไม่ให้ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากเขื่อนเร็วเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้เกิดน้ำท่วมที่ด้านท้ายเขื่อนได้ถ้าหากว่าพื้นที่ในการรองรับน้ำไม่สามารถที่จะรับน้ำได้อย่างเพียงพอ โดยในการรักษาระดับน้ำที่เขื่อนให้อยู่ในระดับที่ต้องการนั้นสามารถทำได้โดยใช้กราฟที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำที่ต้องการควบคุม (Rule Curve) ซึ่งจากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าระดับน้ำที่เขื่อนเป็นไปตามเส้นกราฟที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำ (Rule Curve) ซึ่งสามารถที่จะนำเอาระบบ SCADA มาใช้ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนนั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมระดับน้ำและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารและจัดการน้ำเพื่อให้เขื่อนสามารถที่จะรองรับน้ำที่ไหลลงมาและไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมและจะต้องทำการกักเก็บน้ำให้เพียงพอในการอุปโภคบริโภคอย่างเพียงพอในหน้าแล้งได้

ข้อเสนอแนะ

ในการนำเอาระบบ SCADA มาใช้นั้นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงก็คือระบบการสื่อสารข้อมูลของระบบ SCADA เนื่องจากสถานีตรวจวัดแต่ละสถานีนั้นอยู่ในพื้นที่ที่ห่างไกล ดังนั้นการสื่อสารของ RTU แต่ละตัวในระบบจะต้องสามารถที่จะทำการติดต่อสื่อสารระหว่างตัว RTU กับห้องควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุมให้ได้ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อโดยตรงหรือผ่านทางสถานีทวนสัญญาณก็ตามและระดับความแรงของสัญญาณจะต้องแรงพอที่จะไม่ทำให้ข้อมูลต่างๆขาดหายได้ ดังนั้น RTU แต่ละตัวจะต้องสามารถทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณได้ด้วย เนื่องจากจุดตรวจวัดอาจจะอยู่ห่างไกลจากห้องควบคุมมากดังนั้นในบางครั้งจะต้องใช้ RTU บางตัวทำหน้าที่ในการทวนสัญญาณเพื่อให้การสื่อสารระหว่าง RTU ตัวที่อยู่ห่างไกลจากห้องควบคุมสามารถที่จะทำการรับ – ส่งข้อมูลกับห้องควบคุมได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแม่น้ำที่มีลักษณะลุ่มแม่น้ำเป็นทางยาวซึ่งจะทำให้สถานีตรวจวัดแรกกับเขื่อนห่างกันมากซึ่งจำเป็นจะต้องส่งข้อมูลผ่านสถานีตรวจวัดที่อยู่ด้านล่างลงมาเพื่อให้ส่งข้อมูลเหล่านั้นมาที่เขื่อนดังตัวอย่างระบบการสื่อสารของระบบ SCADA ของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำป่าสักที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงทางยาวจากต้นแม่น้ำจนกระทั่งถึงเขื่อนดังแสดงในรูปที่ A1 ในภาคผนวกที่ 1. นอกจากระบบการสื่อสารที่นำมาใช้ในระบบ SCADA แล้วยังจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับ – ส่งข้อมูลของสื่อที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารของระบบ SCADA เนื่องจากการนำเอาระบบ SCADA มาใช้ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนนั้นพื้นที่ในการติดตั้ง RTU อาจจะอยู่ห่างไกลออกไปจากพื้นที่ให้บริการของสื่อต่างๆที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลมากๆและความเร็วในการสื่อสารข้อมูลที่สูงๆ ดังนั้นอาจจะจำเป็นจะต้องใช้สื่อที่เป็นวิทยุรับ – ส่งซึ่งมีข้อจำกัดในด้านปริมาณและความเร็วในการรับ – ส่งข้อมูล และเนื่องจากว่าแม่น้ำแต่ละสายและแต่ละลุ่มแม่น้ำมีความแตกต่างทางภูมิประเทศดังนั้นจึงต้องทำการสำรวจข้อมูลในการนำเอาโปรแกรมไปใช้จะต้องทำการสำรวจข้อมูลต่างๆทางภูมิประเทศแล้วจึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้เหมาะสมกัน ดังนั้นในการนำเอาระบบ SCADA มาใช้ในการควบคุมระดับน้ำในเขื่อนนั้นจะต้องทำการดูแลและบำรุงรักษาเป็นอย่างดี และจะต้องทำการสำรวจพื้นที่ภูมิประเทศต่างๆ เพื่อที่จะปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นการสำรวจหาพื้นที่หน้าตัดของลำแม่น้ำ การตรวจสอบระบบ Ground ระบบสื่อสารข้อมูลรวมไปถึงการสำรองข้อมูลที่ได้ทำการวัดและการคำนวณต่างๆเพื่อนำเอาข้อมูลต่างๆดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณพยากรณ์ในปีต่อมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคำนวณพยากรณ์ระยะยาวเพื่อกำหนดระดับควบคุมระดับน้ำ (Rule Curve) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังไม่ได้กล่าวถึงการคำนวณในกรณีที่แม่น้ำ 2 สายไหลมาบรรจบกัน และนอกจากนั้นในการคำนวณพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนล่วงหน้านั้นยังใช้วิธีการในการคาดคะเนปริมาณฝนล่วงหน้าซึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณระดับน้ำและปริมาณน้ำมาก ดังนั้นถ้าหากว่าได้รับข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่สามารถที่ขะทำการพยากรณ์ปริมาณฝนล่วงหน้าที่ใกล้เคียงกว่าจะทำให้การคำนวณถูกต้องและใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] T. G. Beckwith, R. D. Marangoni, J. H. Lienhard, "Mechanical Measurements," 5Th Edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1993.

[2] R. K. Linsley, J. B. Franzini, "Water Resources Engineering," 3rd Edition, McGraw-Hill, 1979.

[3] Asian Institute of Technology Bangkok Thailand, "The Water Resource Planning," Technical Final Report, 1978.

[4] R. I. Williams, "Handbook of SCADA," 1st Edition, Elsevier Advanced Technology, 1992.

[5] Motorola Inc., "Motorola SCADA user Manual," 1995.

[6] Motorola Inc., "Motorola System Planner," 1995.

[7] Motorola Inc., "Propagation Prediction – Bullington's Method," 1995.

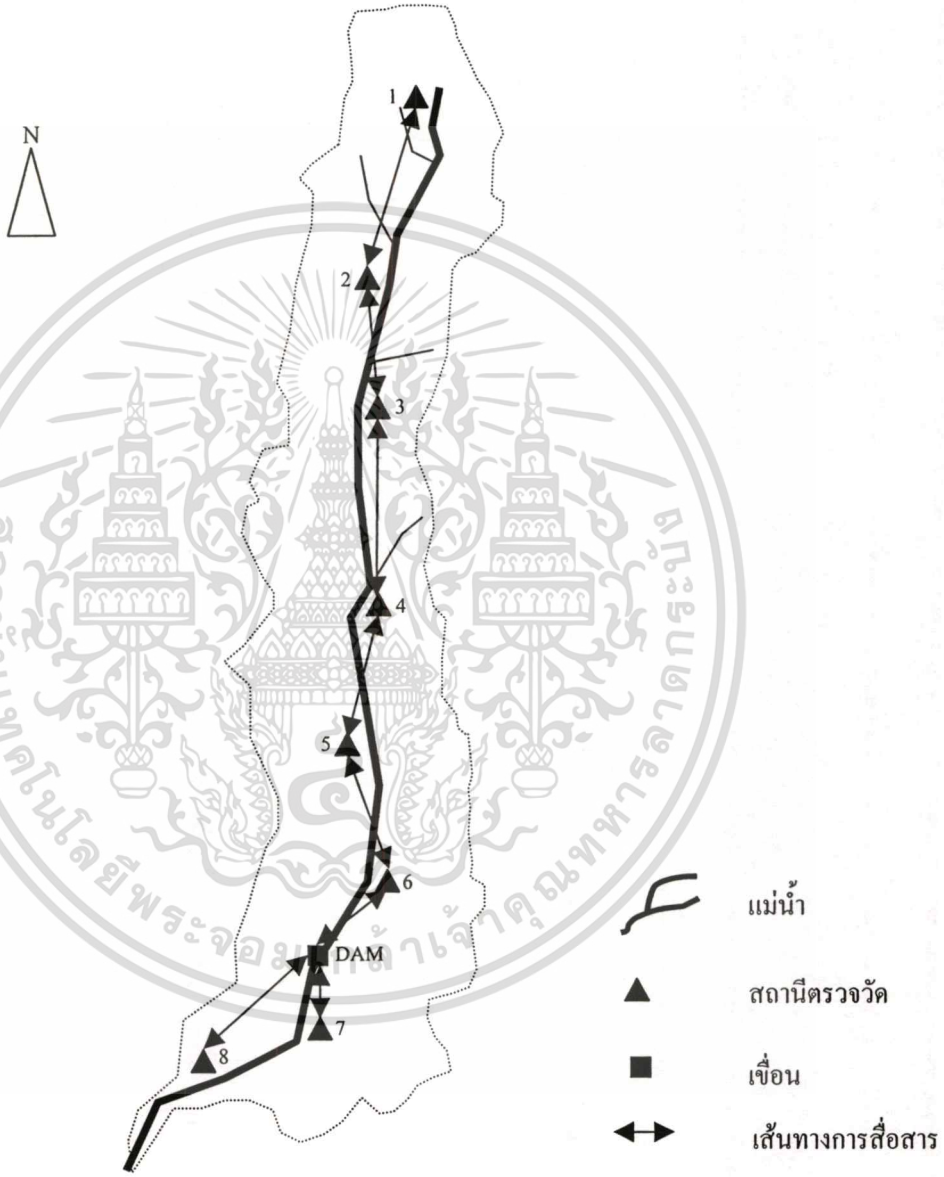
[8] ข้อมูลจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ กรมชลประทาน

[9] Asian Institute of Technology Bangkok Thailand, "Development of Flood Forecasting and Warning System for Nam Pong, Nam Chi, and Nam Mun River Basins Northeast Thailand," Main Final Report, 1982.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

1. ตัวอย่างแผนที่ของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำ



รูปที่ A1 แสดงลุ่มน้ำป่าสักจุดติดตั้งสถานีและเส้นทางการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการคำนวณระบบการสื่อสารและการทดสอบระบบสื่อสาร

การคำนวณการสื่อสารของระบบ SCADA โดยใช้วิทยุสื่อสารเป็นสื่อในการติดต่อสื่อสาร

ผลการคำนวณการสื่อสารระหว่างสถานี M1 ถึง สถานี M2

Freq. Band 139.00MHz

Tx. Site	M1	Tower HT.	50m	Site Ele.	160m	EFF.Ant.HT	210m
Rx. Site	M2	Tower HT.	20m	Site Ele.	130m	EFF.Ant.HT	150m

Distance Between Point 20.6Km

Comments		**System Gains**	
25Watts VHF		Transmitter Power (dBw)	13.98
9dBd YAGI		Transmitter Antenna Gains (dBd)	9
0.3uV		Receiver Sensitivity (dBw)	-147.45
9dBd Omni Direction		Receiver Antenna Gains (dBd)	9
		Total System Gains (dBd)	177.43
Comments		**System Losses**	
Plane Earth Loss + Shadow Loss		Path Losses (dB)	78.91
		Shadow Loss (dB)	9
Heavily Wood		Environment Line Loss (dB)	5
70m	1/2 LDF	Transmission Line Loss(dB)	1.98
40m	1/2 LDF	Receiver Line Loss (dB)	1.13
		Tx. RF Isolation EQPT Loss (dB)	0
		Rx. RF Isolation EQPT Loss (dB)	0
2		Coupling And Alignment Loss (dB)	2
		Total System Losses (dBd)	98.02
		Fade Margin = System Gains - System Losses	81.41
		Area Reliability	100%

dB = Decibel

dBw = Decibel Watt

dBd = Decibel with reference to a dipole antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณการสื่อสารระหว่างสถานี M2 ถึง สถานี M3

Freq. Band		139.00MHz					
Tx. Site	M2	Tower HT.	20m	Site Ele.	130m	EFF.Ant.HT	150m
Rx. Site	M3	Tower HT.	40m	Site Ele.	120m	EFF.Ant.HT	160m
Distance Between Point		18.98Km					

Comments	**System Gains**	
25Watts VHF	Transmitter Power (dBw)	13.98
9dBd YAGI	Transmitter Antenna Gains (dBd)	9
0.3uV	Receiver Sensitivity (dBw)	-147.45
9dBd Omni Direction	Receiver Antenna Gains (dBd)	9
	Total System Gains (dBd)	177.43
Comments	**System Losses**	
Plane Earth Loss + Shadow Loss	Path Losses (dB)	79.25
N/A	Shadow Loss (dB)	0
Heavily Wood	Environment Line Loss (dB)	5
40m 1/2 LDF	Transmission Line Loss(dB)	1.13
60m 1/2 LDF	Receiver Line Loss (dB)	1.70
	Tx. RF Isolation EQPT Loss (dB)	0
	Rx. RF Isolation EQPT Loss (dB)	0
2	Coupling And Alignment Loss (dB)	2
	Total System Losses (dBd)	89.05
	Fade Margin = System Gains - System Losses	90.38
	Area Reliability	100%

dB = Decibel

dBw = Decibel Watt

dBd = Decibel with reference to a dipole antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณการสื่อสารระหว่างสถานี M3 ถึง สถานี M4

Freq. Band		139.00MHz					
Tx. Site	M3	Tower HT.	40m	Site Ele.	120m	EFF.Ant.HT	160m
Rx. Site	M4	Tower HT.	50m	Site Ele.	0m	EFF.Ant.HT	50m
Distance Between Point		71.5Km					

Comments	**System Gains**	
25Watts VHF	Transmitter Power (dBw)	13.98
9dBd Omni Direction	Transmitter Antenna Gains (dBd)	9
0.3uV	Receiver Sensitivity (dBw)	-147.45
9dBd Omni Direction	Receiver Antenna Gains (dBd)	9
	Total System Gains (dBd)	179.43
Comments	**System Losses**	
Plane Earth Loss + Shadow Loss	Path Losses (dB)	111.83
N/A	Shadow Loss (dB)	0
Heavily Wood	Environment Line Loss (dB)	5
60m 1/2 LDF	Transmission Line Loss(dB)	1.70
70m 1/2 LDF	Receiver Line Loss (dB)	1.98
	Tx. RF Isolation EQPT Loss (dB)	0
	Rx. RF Isolation EQPT Loss (dB)	0
2	Coupling And Alignment Loss (dB)	2
	Total System Losses (dBd)	122.51
	Fade Margin = System Gains - System Losses	56.92
	Area Reliability	100%

dB = Decibel

dBw = Decibel Watt

dBd = Decibel with reference to a dipole antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณการสื่อสารระหว่างสถานี M4 ถึง สถานี M5

Freq. Band		139.00MHz					
Tx. Site	M4	Tower HT.	50m	Site Ele.	0m	EFF.Ant.HT	50m
Rx. Site	M5	Tower HT.	20m	Site Ele.	0m	EFF.Ant.HT	20m
Distance Between Point			47Km				

Comments	**System Gains**	
25Watts VHF	Transmitter Power (dBw)	13.98
6dBd Omni Direction	Transmitter Antenna Gains (dBd)	6
0.3uV	Receiver Sensitivity (dBw)	-147.45
9dBd Omni Direction	Receiver Antenna Gains (dBd)	9
	Total System Gains (dBd)	176.43
Comments	**System Losses**	
Plane Earth Loss + Shadow Loss	Path Losses (dB)	122.60
N/A	Shadow Loss (dB)	0
Heavily Wood	Environment Line Loss (dB)	5
70m 1/2 LDF	Transmission Line Loss(dB)	1.98
40m 1/2 LDF	Receiver Line Loss (dB)	1.13
	Tx. RF Isolation EQPT Loss (dB)	0
	Rx. RF Isolation EQPT Loss (dB)	0
2	Coupling And Alignment Loss (dB)	2
	Total System Losses (dBd)	132.71
	Fade Margin = System Gains - System Losses	43.72
	Area Reliability	100%

dB = Decibel

dBw = Decibel Watt

dBd = Decibel with reference to a dipole antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณการสื่อสารระหว่างสถานี M5 ถึง สถานี M6

Freq. Band 139.00MHz

Tx. Site	M5	Tower HT.	20m	Site Ele.	0m	EFF.Ant.HT	20m
Rx. Site	M6	Tower HT.	75m	Site Ele.	0m	EFF.Ant.HT	75m

Distance Between Point 31Km

Comments	**System Gains**	
25Watts VHF	Transmitter Power (dBw)	13.98
6dBd Omni Direction	Transmitter Antenna Gains (dBd)	6
0.3uV	Receiver Sensitivity (dBw)	-147.45
9dBd Omni Direction	Receiver Antenna Gains (dBd)	9
	Total System Gains (dBd)	174.43
Comments	**System Losses**	
Plane Earth Loss + Shadow Loss	Path Losses (dB)	111.85
N/A	Shadow Loss (dB)	0
Heavily Wood	Environment Line Loss (dB)	5
40m 1/2 LDF	Transmission Line Loss(dB)	1.13
95m 1/2 LDF	Receiver Line Loss (dB)	2.69
	Tx. RF Isolation EQPT Loss (dB)	0
	Rx. RF Isolation EQPT Loss (dB)	0
2	Coupling And Alignment Loss (dB)	2
	Total System Losses (dBd)	122.67
	Fade Margin = System Gians - System Losses	53.76
	Area Reliability	100%

dB = Decibel

dBw = Decibel Watt

dBd = Decibel with reference to a dipole antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณการสื่อสารระหว่างสถานี M6 ถึง สถานีที่ DAM

Freq. Band 139.00MHz

Tx. Site	M6	Tower HT.	75m	Site Ele.	0m	EFF.Ant.HT	75m
Rx. Site	DAM	Tower HT.	75m	Site Ele.	0m	EFF.Ant.HT	75m

Distance Between Point 56Km

Comments	**System Gains**	
25Watts VHF	Transmitter Power (dBw)	13.98
9dBd Omni Direction	Transmitter Antenna Gains (dBd)	9
0.3uV	Receiver Sensitivity (dBw)	-147.45
9dBd Omni Direction	Receiver Antenna Gains (dBd)	9
	Total System Gains (dBd)	177.43
Comments	**System Losses**	
Plane Earth Loss + Shadow Loss	Path Losses(dB)	110.65
N/A	Shadow Loss(dB)	0
Heavily Wood	Environment Line Loss(dB)	5
95m 1/2 LDF	Transmission Line Loss(dB)	2.69
95m 1/2 LDF	Receiver Line Loss(dB)	2.69
	Tx. RF Isolation EQPT Loss(dB)	0
	Rx. RF Isolation EQPT Loss(dB)	0
2	Coupling And Alignment Loss(dB)	2
	Total System Losses (dBd)	123.03
	Fade Margin = System Gains - System Losses	56.4
	Area Reliability	100%

dB = Decibel

dBw = Decibel Watt

dBd = Decibel with reference to a dipole antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบที่ **Control Center**

เครื่องมือที่ใช้

1. Thruline Wattmeter Model 43 Serial Number 239824
2. Sprectrum Analyzer Model HP8592B Serial Number 3034A00752 ได้รับการ Calibrate เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2542

ผลการทดสอบ

ลำดับที่	รายละเอียด	Required	Measurement	Pass	Not Pass
1.	*Grounding test*	น้อยกว่า 1 Ω	**********	***	
2.	*Forward Power*	25 Watts	22 Watts	/	
3.	*Reflected Power*	น้อยกว่า 1 Watt	0.2 Watt	/	
4.	*VSWR**	น้อยกว่า 1.5	1.21	/	
5.	*Signal Strength*	มากกว่า -50.22 dB**	- 57.3 dB	/	
6.	*Fade Margin****	มากกว่า 30 dB	90.15 dB	/	

หมายเหตุ ใช้ค่า *Sensitivity* ของระบบเป็น -147.45 dB

$$*VSWR = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \text{ โดยที่ } \Gamma = \sqrt{\frac{reflected\ \ power}{forward\ \ power}}$$

** ข้อมูลข้อที่ 5 ในตาราง (ค่า Signal Strength)

- สถานีส่งคือ **M7**
- สถานีรับคือ **Control Room**

สำหรับค่า required ได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎี

*** *Fade Margin = Signal strength (dB) – Sensitivity (dB)*

สถานีไม่มีการทดสอบ grounding test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบระบบสื่อสารของระบบ SCADA

การทดสอบที่ **Control Center**

เครื่องมือที่ใช้

1. Thruline Wattmeter Model 43 Serial Number 239824
2. Sprectrum Analyzer Model HP8592B Serial Number 3034A00752 ได้รับการ Calibrate เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2542

ผลการทดสอบ

ลำดับที่	รายละเอียด	Required	Measurement	Pass	Not Pass
1.	*Grounding test*	น้อยกว่า 1 Ω	**********	***	
2.	*Forward Power*	25 Watts	22 Watts	/	
3.	*Reflected Power*	น้อยกว่า 1 Watt	0.2 Watt	/	
4.	*VSWR**	น้อยกว่า 1.5	1.21	/	
5.	*Signal Strength*	มากกว่า –50.22 dB**	- 57.3 dB	/	
6.	*Fade Margin****	มากกว่า 30 dB	90.15 dB	/	

หมายเหตุ ใช้ค่า *Sensitivity* ของระบบเป็น –147.45 dB

$$*VSWR = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \text{ โดยที่ } \Gamma = \sqrt{\frac{reflected\ \ power}{forward\ \ power}}$$

** ข้อมูลข้อที่ 5 ในตาราง (ค่า Signal Strength)

- สถานีส่งคือ **M8**
- สถานีรับคือ **Control Room**

สำหรับค่า required ได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎี

*** *Fade Margin = Signal strength (dB) – Sensitivity (dB)*

สถานีไม่มีการทดสอบ grounding test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบระบบสื่อสารของระบบ SCADA

การทดสอบที่ **Control Center**

เครื่องมือที่ใช้

1. Thruline Wattmeter Model 43 Serial Number 239824
2. Sprectrum Analyzer Model HP8592B Serial Number 3034A00752 ได้รับการ Calibrate เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2542

ผลการทดสอบ

ลำดับที่	รายละเอียด	Required	Measurement	Pass	Not Pass
1.	*Grounding test*	น้อยกว่า 1 Ω	**********	***	
2.	*Forward Power*	25 Watts	22 Watts	/	
3.	*Reflected Power*	น้อยกว่า 1 Watt	0.2 Watt	/.	
4.	*VSWR**	น้อยกว่า 1.5	1.21	/	
5.	*Signal Strength*	มากกว่า –50.22 dB**	- 79.23 dB	/	
6.	*Fade Margin****	มากกว่า 30 dB	68.22 dB	/	

หมายเหตุ ใช้ค่า *Sensitivity* ของระบบเป็น –147.45 dB

$$*VSWR = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \text{ โดยที่ } \Gamma = \sqrt{\frac{reflected\ \ power}{forward\ \ power}}$$

** ข้อมูลข้อที่ 5 ในตาราง (ค่า Signal Strength)

- สถานีส่งคือ **M6**
- สถานีรับคือ **Control Room**

สำหรับค่า required ได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎี

*** *Fade Margin = Signal strength (dB) – Sensitivity (dB)*

สถานีไม่มีการทดสอบ grounding test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบที่ **M2**

เครื่องมือที่ใช้

1. Thruline Wattmeter Model 43 Serial Number 239824
2. Sprectrum Analyzer Model HP8592B Serial Number 3034A00752 ได้รับการ Calibrate เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2542

ผลการทดสอบ

ลำดับที่	รายละเอียด	Required	Measurement	Pass	Not Pass
1.	*Grounding test*	น้อยกว่า 1 Ω	**********	***	
2.	*Forward Power*	25 Watts	22 Watts	/	
3.	*Reflected Power*	น้อยกว่า 1 Watt	0.2 Watt	/	
4.	*VSWR**	น้อยกว่า 1.5	1.21	/	
5.	*Signal Strength*	มากกว่า -50.22 dB**	- 75.41 dB	/	
6.	*Fade Margin****	มากกว่า 30 dB	72.04 dB	/	

หมายเหตุ ใช้ค่า *Sensitivity* ของระบบเป็น –147.45 dB

$$*VSWR = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \quad \text{โดยที่} \quad \Gamma = \sqrt{\frac{reflected\ \ power}{forward\ \ power}}$$

** ข้อมูลข้อที่ 5 ในตาราง (ค่า Signal Strength)

- สถานีส่งคือ **M1**
- สถานีรับคือ **M2**

สำหรับค่า required ได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎี

*** *Fade Margin = Signal strength (dB) – Sensitivity (dB)*

สถานีไม่มีการทดสอบ grounding test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบที่ **M3**

เครื่องมือที่ใช้

1. Thruline Wattmeter Model 43 Serial Number 239824
2. Sprectrum Analyzer Model HP8592B Serial Number 3034A00752 ได้รับการ Calibrate เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2542

ผลการทดสอบ

ลำดับที่	รายละเอียด	Required	Measurement	Pass	Not Pass
1.	*Grounding test*	น้อยกว่า 1 Ω	**********	***	
2.	*Forward Power*	25 Watts	23.5 Watts	/	
3.	*Reflected Power*	น้อยกว่า 1 Watt	0.3 Watt	/	
4.	*VSWR**	น้อยกว่า 1.5	1.25	/	
5.	*Signal Strength*	มากกว่า –98.82 dB**	- 41.57 dB	/	
6.	*Fade Margin****	มากกว่า 30 dB	105.88 dB	/	

หมายเหตุ ใช้ค่า *Sensitivity* ของระบบเป็น –147.45 dB

$$*VSWR = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \text{ โดยที่ } \Gamma = \sqrt{\frac{reflected\ \ power}{forward\ \ power}}$$

** ข้อมูลข้อที่ 5 ในตาราง (ค่า Signal Strength)

- สถานีส่งคือ **M2**
- สถานีรับคือ **M3**

สำหรับค่า required ได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎี

*** *Fade Margin = Signal strength (dB) – Sensitivity (dB)*

สถานีนี้ไม่มีการทดสอบ ground test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบที่ **M4**

เครื่องมือที่ใช้

1. Thruline Wattmeter Model 43 Serial Number 239824
2. Sprectrum Analyzer Model HP8592B Serial Number 3034A00752 ได้รับการ Calibrate เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2542

ผลการทดสอบ

ลำดับที่	รายละเอียด	Required	Measurement	Pass	Not Pass
1.	*Grounding test*	น้อยกว่า 1 Ω	0.3 Ω	/	
2.	*Forward Power*	25 Watts	23.5 Watts	/	
3.	*Reflected Power*	น้อยกว่า 1 Watt	0.5 Watt	/	
4.	*VSWR**	น้อยกว่า 1.5	1.34	/	
5.	*Signal Strength*	มากกว่า –98.82 dB**	-83.56 dB	/	
6.	*Fade Margin****	มากกว่า 30 dB	63.89 dB	/	

หมายเหตุ ใช้ค่า *Sensitivity* ของระบบเป็น –147.45 dB

$$*VSWR = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \text{ โดยที่ } \Gamma = \sqrt{\frac{reflected\ \ power}{forward\ \ power}}$$

** ข้อมูลข้อที่ 5 ในตาราง (ค่า Signal Strength)

- สถานีส่งคือ **M3**
- สถานีรับคือ **M4**

สำหรับค่า required ได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎี

*** *Fade Margin = Signal strength (dB) – Sensitivity (dB)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบที่ **M5**

เครื่องมือที่ใช้

1. Thruline Wattmeter Model 43 Serial Number 239824
2. Sprectrum Analyzer Model HP8592B Serial Number 3034A00752 ได้รับการ Calibrate เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2542

ผลการทดสอบ

ลำดับที่	รายละเอียด	Required	Measurement	Pass	Not Pass
1.	*Grounding test*	น้อยกว่า 1 Ω	0.3 Ω	/	
2.	*Forward Power*	25 Watts	25 Watts	/	
3.	*Reflected Power*	น้อยกว่า 1 Watt	0.3 Watt	/	
4.	*VSWR**	น้อยกว่า 1.5	1.40	/	
5.	*Signal Strength*	มากกว่า –98.59 dB**	-84.25 dB	/	
6.	*Fade Margin****	มากกว่า 30 dB	63.2 dB	/	

หมายเหตุ ใช้ค่า *Sensitivity* ของระบบเป็น –147.45 dB

$$*VSWR = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \text{ โดยที่ } \Gamma = \sqrt{\frac{reflected\ \ power}{forward\ \ power}}$$

** ข้อมูลข้อที่ 5 ในตาราง (ค่า Signal Strength)

- สถานีส่งคือ **M4**
- สถานีรับคือ **M5**

สำหรับค่า required ได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎี

*** *Fade Margin = Signal strength (dB) – Sensitivity (dB)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบระบบสื่อสารของระบบ SCADA

การทดสอบที่ **M6**

เครื่องมือที่ใช้

1. Thruline Wattmeter Model 43 Serial Number 239824
2. Sprectrum Analyzer Model HP8592B Serial Number 3034A00752 ได้รับการ Calibrate เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2542

ผลการทดสอบ

ลำดับที่	รายละเอียด	Required	Measurement	Pass	Not Pass
1.	*Grounding test*	น้อยกว่า 1 Ω	**********	***	
2.	*Forward Power*	25 Watts	23.5 Watts	/	
3.	*Reflected Power*	น้อยกว่า 1 Watt	0.3 Watt	/	
4.	*VSWR**	น้อยกว่า 1.5	1.25	/	
5.	*Signal Strength*	มากกว่า –60.20 dB**	-70.78 dB	/	
6.	*Fade Margin****	มากกว่า 30 dB	76.67 dB	/	

หมายเหตุ ใช้ค่า *Sensitivity* ของระบบเป็น –147.45 dB

$$*VSWR = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \text{ โดยที่ } \Gamma = \sqrt{\frac{reflected\ \ power}{forward\ \ power}}$$

** ข้อมูลข้อที่ 5 ในตาราง (ค่า Signal Strength)

- สถานีส่งคือ **M5**
- สถานีรับคือ **M6**

สำหรับค่า required ได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎี

*** *Fade Margin = Signal strength (dB) – Sensitivity (dB)*

สถานีไม่มีการทดสอบ grounding test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายกฤษณ์ อุ่นพิกุล เกิดเมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2512 ที่จังหวัดนครราชสีมาสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ปีการศึกษา 2538 และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ภาควิชาอิเล็คโทรนิคส์) ปีการศึกษา 2532

ปี พ.ศ. 2532 เข้ารับราชการที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ตำแหน่งช่างระดับ 4 สังกัดระบบแจ้งข้อมูล กองเครื่องมือระบบควบคุม ฝ่ายก่อสร้างพลังงานความร้อน ปัจจุบันเป็นวิศวกรระบบบริษัท Bombardier Transportation Signal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] กฤษณ์ อุ่นพิกุล และ กอบชัย เดชหาญ การออกแบบโปรแกรมเพื่อการควบคุมระดับน้ำในเขื่อน โดยใช้ระบบ SCADA วารสารลาดกระบัง ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 หน้า 66 – 71 กันยายน 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้