ส่วนที่ 2

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2549-2551
โครงการวิจัยรหัส ก-ษ(ช) 2.1.49

ชื่อโครงการภาษาไทย **การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ**

ชื่อโครงการภาษาอังกฤษ Development of Canal Automation System

ชื่อผู้วิจัยภาษาไทย ***รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์*** [1] ***ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์*** [1] ***นายกิตติพงษ์ เจาจารึก*** [2] ***นายธนา ชีพสมทรง*** [2] **และนายวิชญ์ ศรีวงษา** [3]

ชื่อผู้วิจัยภาษาอังกฤษ ***Assoc.Prof.Dr.Varawoot Vudhivanich*** [1] ***, Asst.Prof. Nimit Cherdchanpipat*** [1] ***, Mr. Kittipong Jowjareuk*** [2] ***, Mr. Thana Cheepsomsong*** [2] ***and Mr.Vich Sriwongsa*** [3]

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมสาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Dept. of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมสาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Dept. of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University

[3] นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมสาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Doctoral Student, Dept. of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ (Development of Canal Automation System) เป็นส่วนหนึ่งของแผนงานวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มศักยภาพการชลประทานของประเทศไทย ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนวิจัย มก. ระหว่างปี 2549-2551 คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ ในการทดสอบระบบคลองอัตโนมัติในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณกรมชลประทาน โดยเฉพาะโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องที่ได้อนุญาตให้ใช้คลองส่งน้ำ 5L-2L ในการทดสอบระบบคลองอัตโนมัติในสนาม

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
ปกส่วนที่ 2	1
กิตติกรรมประกาศ	2
สารบัญ	3
บทคัดย่อ	5
ABSTRACT	6
บทที่ 1 บทนำ	7
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 วิธีวิจัย	15
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์	16
4.1 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีของระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติ	16
4.1.1 เทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองส่งน้ำชลประทาน	16
4.1.2 การเลือกระบบสื่อสาร	20
4.1.3 อุปกรณ์สำหรับวัดระดับน้ำ (Water Level Sensor)	21
4.1.4 สิ่งที่ต้องพิจารณาในการนำเทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติไปใช้ในโครงการชลประทาน	23
4.2 การคัดเลือกโครงการนำร่องการใช้เทคโนโลยีระบบคลองแบบอัตโนมัติ	25
4.3 การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติ และการทดสอบการใช้งานในห้องปฏิบัติการ	25
4.3.1 รายละเอียดแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation Model)	26
4.3.2 ขั้นตอนการ Operate ระบบคลองอัตโนมัติ	33
4.3.3 อัลกอริทึมแบบ Upstream Volume Control สำหรับประตูยนต์รุ่น 4.0 ในโมด Auto	34
4.3.4 ผลการทดสอบแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติในห้องปฏิบัติการ	35
4.4 การออกแบบติดตั้งและทดสอบระบบควบคุมน้ำไปคลองอัตโนมัติ ในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องจังหวัดสุพรรณบุรี(โครงการนำร่อง)	36
4.4.1 แนวคิดและแผนการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ	36
4.4.2 การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติสำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	39
4.5 หลักการควบคุมน้ำในคลอง 5L-2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องแบบอัตโนมัติ	60
4.5.1 หลักการควบคุมระดับน้ำหน้า ปตร. กลางคลอง	60
4.5.2 หลักการควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร. ปากคลอง	61
4.5.3 การเชื่อมต่อระบบคลองอัตโนมัติและระบบ SCADA ของโครงการ	63
4.6 ผลการทดสอบการใช้งานระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้อง	63
4.6.1 ข้อมูลผลการทดสอบการทำงานของระบบคลองอัตโนมัติและสถิติของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการไหลของน้ำผ่านอาคาร	64

4.6.2 ผลการทดสอบความสามารถในการควบคุมระดับน้ำเปรียบเทียบระหว่างระบบโทรมาตรและระบบอัตโนมัติ 73
4.7 การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ให้รู้จักการใช้เทคโนโลยีระบบคลองอัตโนมัติ 74
4.8 การติดตามประเมินผลการดำเนินงานการใช้เทคโนโลยีระบบคลองอัตโนมัติในโครงการนำร่อง 80
4.8.1 ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Reliability of Measurement) 80
4.8.2 ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือในการควบคุมระดับน้ำของ Robogate 82
4.8.3 ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output performance) 86
บทที่ 5 สรุปและเสนอแนะ 102
5.1 สรุปผลการวิจัย 102
5.2 ข้อเสนอแนะ 104
เอกสารอ้างอิง 105
ภาคผนวก 107
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบแบบจำลองคลองอัตโนมัติและการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำ 108
ภาคผนวก ข การเผยแพร่ผลงานวิจัย 118

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติ ที่เหมาะสมกับสภาพโครงการชลประทานในประเทศไทย โดยใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศ ผลการดำเนินงานในช่วงแรกของโครงการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัตินี้ ได้พัฒนาประตูยนต์รุ่นที่ 4 โดยการพัฒนาต่อจากประตูยนต์รุ่นก่อน ใช้ระบบวิทยุสื่อสารย่าน CB ในการสื่อสารระหว่างสถานีแม่ข่ายและสถานีลูกข่าย ผลการทดสอบระบบคลองอัตโนมัติในห้องปฏิบัติการ ที่ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน พบว่าอุปกรณ์ต่างๆ ทำงานได้ดี ระบบคลองอัตโนมัติสามารถควบคุมระดับน้ำในคลองที่ระดับน้ำใช้การได้ดี มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 2 .04% หลังจากนั้นจึงได้พัฒนาประตูยนต์รุ่นที่ 5 เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของประตูยนต์ให้สามารถตรวจวัดระดับน้ำทั้งด้านหน้าและด้านหลังประตูระบาย ตรวจวัดระยะเปิดบานประตูระบายน้ำได้ 2 ประตู และสามารถควบคุมระบบเกียร์มอเตอร์เพื่อปิด-เปิดบานระบาย สื่อสารโดยใช้ระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF ได้นำไปติดตั้งที่ประตูระบายกลางคลอง 5 L-2L กม. 3+650 , 9+813 และ 20+300 ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งใช้เป็นโครงการนำร่องในโครงการวิจัยนี้ เพื่อทดสอบการใช้งานในสภาพสนาม ผลการทดสอบการใช้งานทั้งในระบบโทรมาตรและระบบอัตโนมัติ ระหว่างวันที่ 4 ธันวาคม 2549 – 31 ตุลาคม 2551 พบว่าประตูยนต์ และ อุปกรณ์ต่างๆ ทำงานได้ดีสามารถตรวจวัดและส่งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์แม่ข่ายได้ทุกครึ่งชั่วโมง การตรวจวัดและส่งข้อมูลมีความน่าเชื่อถือใน 77 % มีข้อมูลสูญหาย 23 % ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี ระบบอัตโนมัติสามารถควบคุมระดับน้ำหน้า ปตร.กลางคลองได้ใกล้ระดับน้ำเป้าหมายมากขึ้น ค่าความผิดพลาดในการควบคุมระดับน้ำในรูปของค่า RMSE ลดลงจาก 0.502-0.506 เมตร เมื่อทำงานในระบบโทรมาตรเหลือ 0.253 เมตร เมื่อทำงานในระบบอัตโนมัติ ผลการวิเคราะห์ ดรรชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output performance indicators) ในรูปของดรรชนีความเพียงพอ ประสิทธิภาพการชลประทาน และความเป็นธรรมในการส่งน้ำ พบว่าในภาพรวมคลอง 5L-2L สามารถส่งและควบคุมน้ำได้เพียงพอกับความต้องการอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นในฤดูนาปีดรรชนีความเพียงพออยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่ประสิทธิภาพการชลประทานยังอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง และดรรชนีความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นในฤดูนาปี ซึ่งต้องปรับปรุง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระบบการควบคุมน้ำระหว่างระบบอัตโนมัติและระบบโทรมาตร พบว่าช่วงที่ส่งและควบคุมน้ำในระบบอัตโนมัติความเพียงพอและความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ประสิทธิภาพยังต้องปรับปรุง ถือว่าคุณภาพการส่งและควบคุมน้ำในภาพรวมไม่แตกต่างจากระบบโทรมาตรในช่วงฤดูแล้ง แต่ดีกว่าการส่งและควบคุมน้ำในระบบโทรมาตรในช่วงนาปี

คำสำคัญ : ระบบคลองอัตโนมัติ ประตูยนต์ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ABSTRACT

The main objective of this research project is to study and develop the canal automation technology which is appropriate to the conditions of irrigation projects in Thailand and using the local material and equipments. The result of first stage of research and development of the canal automation, the Robogate version 4 was developed by upgrading from the previous version. CB communication radio was used for communication between the remote terminal unit and the master station. The laboratory test at Department of Irrigation Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen showed that the equipment of canal automation system worked well. The error for controlling the water level in the canal was about 2.04%. Afterward, Robogate version 5 was developed as the remote terminal unit performing multi-functions in canal automation system including: monitoring the water levels both upstream and downstream of the regulator, monitoring the gate positioning up to 2 gates, controlling the gear motor to adjust the gates and communicating to the master station via VHF communication radio. The Robogate 5 canal automation system was installed in canal 5L-2L km. 3+650, 9+813 and 20+300 of Song Phi Nong irrigation project, Suphanburi province, which was selected as the pilot project for this study. The Song Phi Nong canal automation system was tested under field conditions in both telemetering and automatic modes during 4 December 2006-31 October 2008. The field test result showed that Robogate 5 and sensors worked satisfactorily. The water level and gate positioning of the 3 cross regulators were monitored and transmitted to the master station at Song Phi Nong irrigation project every half an hour with reliability of 77% on the average, only 23% of data losses, which is considered as good performance. The automatic mode could improve the water level control at the canal 5L-2L cross regulators. The RMSE was reduced from 0.502-0.506 m. in telemetering mode to 0.253 m. in automatic mode. The analysis of output performance in term of adequacy, efficiency and equity indicators of water delivery showed that in the overall 5L-2L canal could control water delivery to meet the water demand satisfactorily, except in the wet season the adequacy index was in the fair range. The efficiency was poor but the equity was classified as good, except the wet season. When compared the flow control between telemetering and automatic modes, it was found that the adequacy and equity indicators in automatic mode were classified as good but the efficiency was poor. The performance of automatic mode was not different from the telemetering mode for dry season but it was better for wet season.

Key words: canal automation, Robogate, Song Phi Nong Irrigation Project

บทที่ 1 บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ชลประทานเกือบ 25 ล้านไร่ ส่วนใหญ่ส่งน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) มีระบบคลองชลประทานและระบบคูน้ำช่วยส่งและกระจายน้ำจากแหล่งน้ำไปยังพื้นที่เพาะปลูก มี ปตร.ปากคลอง (Discharge Regulator) เพื่อควบคุมปริมาณน้ำให้ไหลเข้าคลองตามที่กำหนด และปตร.กลางคลอง (Water Level Regulator) เพื่อควบคุมระดับน้ำในคลองให้อยู่ที่ระดับน้ำใช้การ (Full Supply Level, FSL.) ตามหลักการส่งน้ำแบบควบคุมเหนือน้ำ (Upstream Control) มีพนักงานส่งน้ำทำหน้าที่ปิด-เปิด-ปรับ ปตร. ทั้ง 2 แบบ เพื่อควบคุมการส่งน้ำให้เป็นไปตามแผน หัวใจสำคัญของการส่งน้ำคือ การวางแผน การควบคุมและการติดตามประเมินผลการส่งน้ำ ปัจจุบันจะได้มีความพยายามพัฒนาวิธีการและเครื่องมือช่วยในการวางแผนส่งน้ำ(หรือการจัดสรรน้ำ) โดยใช้คอมพิวเตอร์ เช่น มีการพัฒนาโปรแกรม WASAM (Water Allocation Scheduling and Monitoring) (วราวุธ และวัชระ. 2538 ; วราวุธ และลำจวน. 2539 ; ภราดา และวราวุธ. 2542; Vudhivanich *et. al*. 2000) มีการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ระดับต่าง ๆ เกี่ยวกับการใช้ WASAM ในการจัดสรรน้ำของโครงการชลประทาน แต่เครื่องมืออุปกรณ์และเทคนิคในการควบคุมการส่งน้ำในสนามยังไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร การควบคุมน้ำในคลองยังคงเป็นระบบใช้คนเป็นหลัก (Manual) ซึ่งต้องใช้พนักงานส่งน้ำจำนวนมาก และการส่งน้ำยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ปัญหาที่ทุกโครงการชลประทานประสบอยู่คือขาดอัตรากำลังด้านงานส่งน้ำ ถึงแม้ว่าจะมีการนำเอาประตูน้ำอัตโนมัติแบบ Hydraulic มาใช้ แต่การใช้งานยังจำกัดเฉพาะบางคลองในบางโครงการเท่านั้น เช่น โครงการคลองตรอนและโครงการสองพี่น้อง

ในยุคคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ เริ่มมีการนำระบบการตรวจวัดและควบคุมระยะไกลหรือระบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition System) มาช่วยในการบริหารน้ำในบางโครงการ แต่ส่วนใหญ่ยังอาศัยเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ซึ่งต้องเสียค่าลงทุนและค่าใช้จ่ายสูง มีความพยายามในการพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดและควบคุมระยะไกล (วิชญ์และวราวุธ. 2546) ผลการทดสอบการใช้งานที่โครงงานส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลนในช่วง กรกฎาคม – กันยายน 2547 ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

นอกจากนี้ วราวุธและวิชญ์ (2547) ได้เริ่มพัฒนาระบบควบคุมการส่งน้ำในคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System) โดยเริ่มการพัฒนาต้นแบบประตูยนต์ (Robogate) เพื่อควบคุมระดับน้ำในคลองชลประทานในรูปแบบควบคุมเหนือน้ำเพื่อให้ทำงานร่วมกับระบบ SCADA ซึ่งทำงานในรูปแบบควบคุมท้ายน้ำ เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนบุคลากรด้านการส่งน้ำและเพิ่มประสิทธิภาพ ประสิทธิผลในการควบคุมการส่งน้ำในโครงการชลประทาน การพัฒนาและทดสอบประตูยนต์ในห้องปฏิบัติการเบื้องต้น พบว่าสามารถควบคุมระดับน้ำในคลองทดลองได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ จึงเหมาะที่จะนำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้ในโครงการชลประทานต่อไป

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ ด้านอีเล็กโทรนิค คอมพิวเตอร์ และการสื่อสารทางไกล มาใช้ในการพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมน้ำในคลองชลประทาน เพื่อช่วยในการจัดสรรน้ำและควบคุมน้ำชลประทานในโครงการชลประทาน ให้มีประสิทธิภาพ (Efficiency) มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) เป็นธรรมแก่ผู้ใช้น้ำ (Equity) และมีความคล่องตัว (Flexibility) มากขึ้น และช่วยแก้ปัญหาขาด

แคลนเจ้าหน้าที่สนามไปในตัว โดยมีขอบเขต ของการวิจัยเพื่อทดสอบการใช้งานในสนามในโครงการนำร่อง โดยเลือกทดสอบการควบคุมเฉพาะบางส่วนของโครงการ เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณ

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัตถุประสงค์ของการควบคุมน้ำในคลองชลประทานที่สำคัญคือเพื่อให้สามารถส่งน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ให้กับคนหรือพื้นที่ที่เหมาะสม ในเวลาที่เหมาะสม สามารถส่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Efficiency) และมีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability) สูง ใช้งานง่าย (Simplicity) ราคาถูก(Low Cost Operation) และสามารถปรับตัวเองให้เข้ากับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้ (Flexibility) (Plusquellec. 1988)

หลักการพื้นฐานในการควบคุมน้ำในคลองชลประทาน แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

- การควบคุมปริมาณการไหล (Flow Control)
- การควบคุมระดับน้ำ (Water Level Control)

ปริมาณการไหลของน้ำผ่าน ปตร. มีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับน้ำในคลอง ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องควบคุมทั้งระดับน้ำและปริมาณการไหลควบคู่กันไป จึงจะสามารถส่งน้ำได้ตามต้องการ หลักพื้นการควบคุมระดับน้ำในคลองจะเริ่มจากการควบคุมระดับน้ำในคลองสายใหญ่ให้ได้ก่อน แล้วจึงปรับ ปตร. ปากคลองซอยให้น้ำไหลเข้าคลองตามที่ต้องการ ถ้าใช้คนควบคุมจะต้องใช้คนจำนวนมาก และจะทำได้เฉพาะระบบคลองที่อุปทานและอุปสงค์ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ได้มีการพัฒนาวิธีการควบคุมระดับน้ำในคลองชลประทานเพื่อเพิ่มความคล่องตัว (Flexibility) ในการส่งน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ

- การควบคุมระดับน้ำด้านเหนือน้ำ ปตร. (Upstream Control)
- การควบคุมระดับน้ำด้านท้ายน้ำ ปตร. (Downstream Control)
- การควบคุมปริมาตรน้ำในช่วงคลองคงที่ (Constant Volume)
- การควบคุมแบบยอมให้ระดับน้ำท้ายน้ำเปลี่ยนแปลงได้ (Variant of Downstream Control)

วิธีการควบคุมระดับน้ำทั้ง 4 ขึ้นอยู่กับจุดที่ต้องการควบคุมระดับน้ำ (Control Point) เป็นสำคัญ วิธีการควบคุมเหนือน้ำจะกำหนดจุดควบคุมที่ด้านเหนือน้ำใกล้ ปตร. โดยออกแบบคันคลองขนานกับก้นคลองที่อัตราการไหลสูงสุด ซึ่งเป็นวิธีการออกแบบที่ปฏิบัติกันโดยทั่วไป วิธีการควบคุมท้ายน้ำจะกำหนดจุดควบคุมระดับน้ำท้ายน้ำใกล้ ปตร. จึงต้องออกแบบคันคลองให้อยู่ในแนวราบที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างคลองมากขึ้น จึงยังไม่มีการนำมาใช้ในประเทศไทย วิธีการควบคุมปริมาตรคงที่ จะกำหนดจุดควบคุมระดับน้ำอยู่ด้านท้าย ปตร. บริเวณกึ่งกลางช่วงคลองซึ่งจะช่วยประหยัดค่าก่อสร้างลงเมื่อเทียบกับแบบควบคุมท้ายน้ำ และวิธีสุดท้ายคือวิธีการควบคุมแบบยอมให้ระดับท้ายน้ำเปลี่ยนแปลง จะกำหนดจุดควบคุมท้ายน้ำอยู่ปลายสุดของช่วงคลอง หรือใกล้ ปตร. ท้ายน้ำถัดไป วิธีนี้ทำให้ไม่ต้องเสียค่าก่อสร้างคลองเพิ่มเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีควบคุมท้ายน้ำ

วิธีการควบคุมระดับน้ำ นอกจากจะแบ่งตามจุดที่ต้องการควบคุม (Control Points) แล้วยังอาจแบ่งตามลักษณะของการควบคุมออกได้เป็น 3 วิธีคือ

- การควบคุมเฉพาะจุด (Local Control)
- การควบคุมเฉพาะจุดระยะไกล (Remote Localized Control)
- การควบคุมจากศูนย์กลางระยะไกล (Remote Centralized Control)

วิธีการควบคุมเฉพาะจุด เป้าหมายของการควบคุมจะอยู่ใกล้ ปตร. วิธีการควบคุมเฉพาะจุดระยะไกล เป้าหมายของการควบคุมจะอยู่ห่างไกลจาก ปตร. แต่ทั้งสองวิธีจะควบคุมระดับน้ำเฉพาะจุดโดยอาจควบคุมโดยคนหรือใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติก็ได้

และวิธีสุดท้ายคือวิธีการควบคุมจากศูนย์กลางระยะไกลซึ่งต้องมีการส่งข้อมูลความต้องการน้ำ ระดับน้ำ ขนาดการเปิดบานของ ปตร. ต่าง ๆ และปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำเข้าสู่ศูนย์ควบคุม ซึ่งศูนย์ประมวลผลข้อมูล แล้วส่งคำสั่งการควบคุม ปตร. ต่าง ๆ ทั้งคลองพร้อมกัน การควบคุมในลักษณะนี้จะประสบความสำเร็จ ก็ต่อเมื่อเป็นระบบคลองอัตโนมัติ(CAS) หรือระบบ SCADA

วิธีควบคุมเฉพาะจุดที่เป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ วิธีควบคุมระดับน้ำเหนือน้ำ และวิธีการควบคุมระดับน้ำท้ายน้ำ ซึ่งวิธีแรกมีข้อเสียที่ตอบสนองต่อความต้องการได้ช้า และมีการสูญเสียน้ำจากการปฏิบัติงาน (Operation Losses) เนื่องจากต้องมีการวางแผนการส่งน้ำล่วงหน้า ดังนั้นถ้ามีฝนตกหรือเกษตรกรไม่ต้องการใช้น้ำจะมีน้ำเหลือทิ้ง ขณะที่วิธีหลังมีข้อดีคือตอบสนองต่อความต้องการได้รวดเร็ว และแม่นยำ ลดการสูญเสียน้ำจากการปฏิบัติงานและลดความต้องการเจ้าหน้าที่สนาม แต่ต้องใช้ ปตร. ที่ทำงานอัตโนมัติตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ มีการออกแบบคลองเป็นพิเศษคือคันในแต่ละช่วงคลองอยู่ในแนวระดับเพื่อให้สามารถเก็บกักน้ำส่วนเกินไว้ในคลองได้ แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือถ้าน้ำไม่พอ น้ำจะถูกระบายจากเหนือน้ำสู่ท้ายน้ำ และเพื่อแก้ปัญหาข้อเสียของวิธีควบคุมเหนือน้ำและวิธีการควบคุมท้ายน้ำ ได้มีการพัฒนา ปตร. แบบพิเศษ ซึ่งจะเปลี่ยนการควบคุมจากควบคุมท้ายน้ำเป็นควบคุมเหนือน้ำถ้าระดับน้ำ ด้านเหนือน้ำต่ำกว่าระดับที่กำหนด ปตร. แบบนี้เรียกว่า Composite Gate นอกจากนี้ ได้มีการพัฒนาวิธีการควบคุมทั้งเหนือน้ำและท้ายน้ำร่วมกัน โดยใช้วิธีการควบคุมเหนือน้ำในช่วงต้นคลอง และวิธีควบคุมท้ายน้ำในช่วงท้ายคลองโดยมีอ่างเก็บน้ำอยู่ตรงจุดเชื่อมต่อระหว่างวิธีการควบคุมน้ำทั้ง 2 วิธี เพื่อเก็บกักน้ำส่วนเกินแล้วค่อยระบายออกตามความต้องการทางด้านท้ายน้ำ เช่น โครงการ Doukkala และ Beni-Amir ในประเทศมอรอคโค(Plusquellec.1988)

โครงการชลประทานในประเทศไทยส่วนใหญ่ส่งน้ำด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยใช้ระบบคลองชลประทานนำน้ำจากแหล่งน้ำไปยังพื้นที่เพาะปลูก ทำการส่งน้ำแบบควบคุมเหนือน้ำ (Upstream Control) เป็นหลัก โดยใช้พนักงานส่งน้ำ (Zoneman) ทำหน้าที่ ปิด- เปิด – ปรับ ประตูระบายน้ำ (ปตร.) ตามแผนการส่งน้ำที่วางไว้ พนักงานส่งน้ำจะพยายามสังเกตผลการส่งน้ำ ถ้าน้ำที่ส่งไม่พอหรือมากเกินไป ก็จะรายงานให้ทางโครงการทราบ เพื่อจะได้ทำการปรับแก้แผนการส่งน้ำต่อไป ระบบการส่งน้ำและควบคุมน้ำในลักษณะดังกล่าว จะอาศัยพนักงานส่งน้ำเป็นหลัก ถ้าพนักงานส่งน้ำได้รับการฝึกอบรมอย่างดี เอาใจใส่ในหน้าที่ และมีพื้นที่ที่ต้องดูแลรับผิดชอบไม่มากเกินไป การส่งน้ำก็จะมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูง ถ้าพนักงานส่งน้ำขาดความรู้ ไม่เห็นความสำคัญของงาน หรือต้องดูแลพื้นที่ส่งน้ำมากเกินไป การส่งน้ำจะเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ และก่อให้เกิดปัญหาในการส่งน้ำ

โครงการชลประทานส่วนใหญ่ขาดอัตรากำลังด้านการส่งน้ำ พนักงานส่งน้ำต้องดูแลรับผิดชอบพื้นที่มากเกินไป บางคนต้องรับผิดชอบพื้นที่ถึง 10,000 ไร่ ทำให้การส่งน้ำของโครงการไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบควบคุมน้ำชลประทานโดยใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น อีเล็กโทรนิกและคอมพิวเตอร์ ระบบสื่อสารทางไกล และระบบสารสนเทศ เข้าช่วย ระบบคลองอัตโนมัติคือแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการส่งน้ำด้วยระบบคลอง ซึ่งปัจจุบันมีพื้นที่ที่ส่งน้ำแบบนี้กว่า 25 ล้านไร่ แนวความคิดของระบบ

คลองอัตโนมัติ คือการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำและควบคุม ปตร. อัตโนมัติ เพื่อให้การส่งน้ำทำได้สะดวกรวดเร็ว และสามารถควบคุมน้ำชลประทานอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล และยังเป็นวิธีการแก้ปัญหากากรขาดแคลนบุคลากรด้านการส่งน้ำของโครงการชลประทานต่าง ๆ ในประเทศไทยอีกด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมระยะไกลที่พัฒนาขึ้นควรใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ทำในประเทศไทย และมีราคาไม่แพง

แนวคิดในการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 คือ การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อการตรวจวัดและควบคุมระดับน้ำในคลองเฉพาะจุด (Local Control) โดยใช้ประตูยนต์ (Robogate)ซึ่งได้มีการพัฒนา และทดสอบการทำงานในห้องปฏิบัติการในเบื้องต้นแล้ว(วราวุธ และวิชาญ์. 2547) ถ้าได้มีการพัฒนาต่อจะสามารถนำไปใช้งานแทนพนักงานส่งน้ำได้ ประตูยนต์ (Robogate)ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนดังรูปที่ 2.2 คือ

(1) ส่วนควบคุม (Microcontroller)

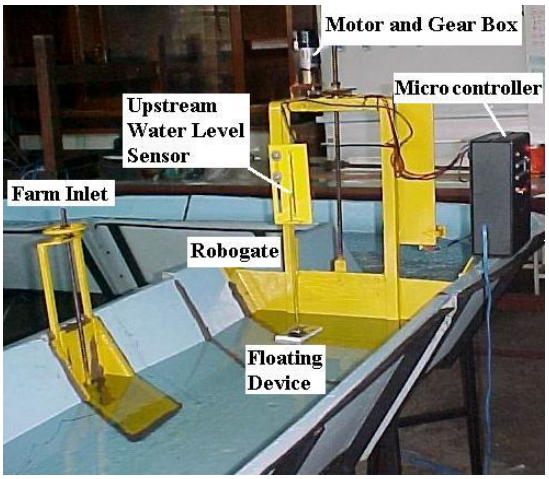
(2) ส่วนตรวจวัดหรือเซนเซอร์ (Sensor)

(3) บานประตู (Gate)

(4) ชุดเฟืองและมอเตอร์(Gear Box and Motor)

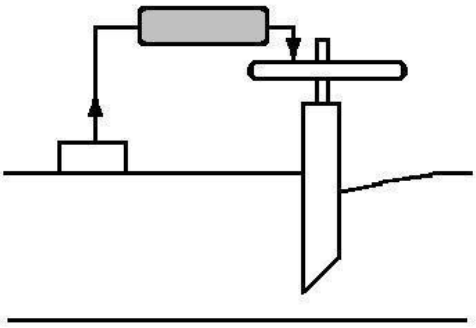
ประตูยนต์ที่พัฒนาขึ้นสามารถดัดแปลงให้ทำงานได้ทั้งในในรูปแบบการควบคุมเหนือน้ำ (Upstream Control) หรือในรูปแบบการควบคุมท้ายน้ำ (Downstream Control) โดยใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกัน แต่ต้องเขียนโปรแกรมให้ควบคุมการทำงานต่างกันเท่านั้น (ดูรูปที่ 2.1 ประกอบ)

หลักการทำงานของประตูยนต์แบบควบคุมเหนือน้ำ (รูปที่ 2.1 (3)) เริ่มจากเซนเซอร์ซึ่งติดตั้งด้านเหนือน้ำของ ปตร. รายงานระดับน้ำในคลองเข้าสู่ส่วนควบคุม (Microcontroller) ถ้าช่วงคลองด้านเหนือน้ำ ปตร. ใช้น้ำมาก ระดับน้ำหน้า ปตร. จะลดลง ถ้าระดับระดับน้ำต่ำกว่าระดับที่กำหนด ส่วนควบคุมจะสั่งให้ลดบาน ปตร. ลง ซึ่งจะมีผลทำให้ระดับน้ำหน้า ปตร. สูงขึ้น จนระดับน้ำขึ้นถึงระดับที่กำหนดประตูยนต์จึงหยุดทำงาน ในทางกลับกันถ้าระดับน้ำขึ้นสูงกว่าระดับที่กำหนด ส่วนควบคุมจะสั่งให้ ปตร. เปิดบานมากขึ้นเพื่อระบายน้ำสู่ท้ายน้ำ จนระดับน้ำด้านเหนือน้ำลดลงถึงระดับที่กำหนด

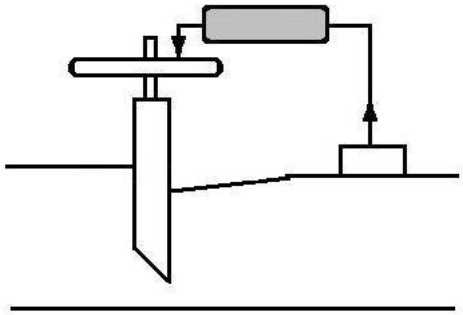


(1) ประตูยนต์ ขณะทดสอบในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

(2) Microcontroller ของประตูยนต์



(3) ประตูยนต์แบบควบคุมเหนือน้ำ



(4) ประตูยนต์แบบควบคุมท้ายน้ำ

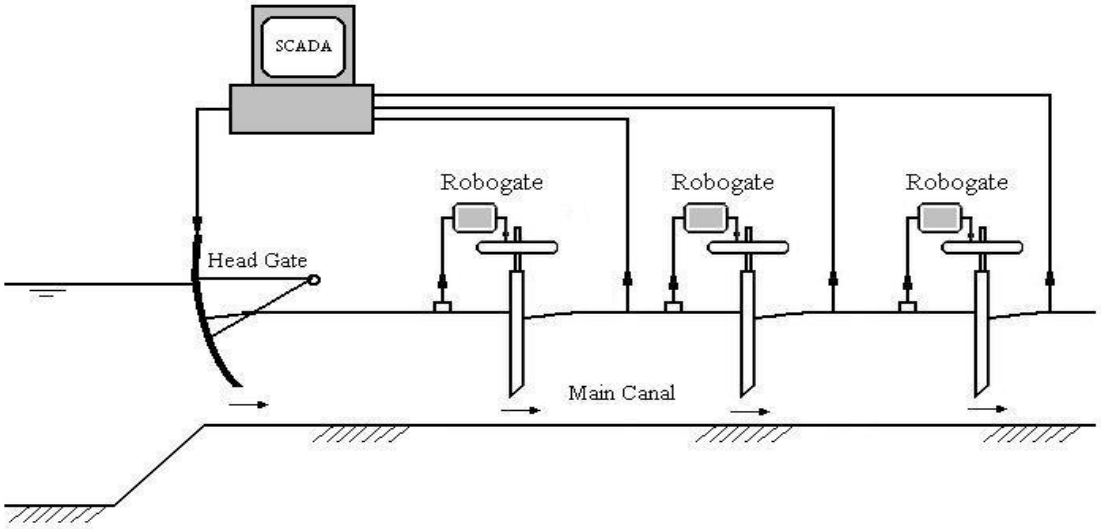
รูปที่ 2.1 ประตูยนต์ (Robogate)

ส่วนประตูยนต์แบบควบคุมท้ายน้ำ (รูปที่ 2. 1(4)) จะติดตั้งเซนเซอร์ไว้ด้านท้าย ปตร. และทำงานตรงกันข้ามกับประตูยนต์แบบควบคุมเหนือน้ำ ถ้าพื้นที่ท้ายน้ำใช้น้ำมาก ระดับน้ำด้านท้าย ปตร. จะลดต่ำกว่าระดับควบคุม ส่วนควบคุมจะสั่งให้ ปตร. เปิดบานมากขึ้น จนท้ายน้ำได้ระดับตามที่ต้องการ

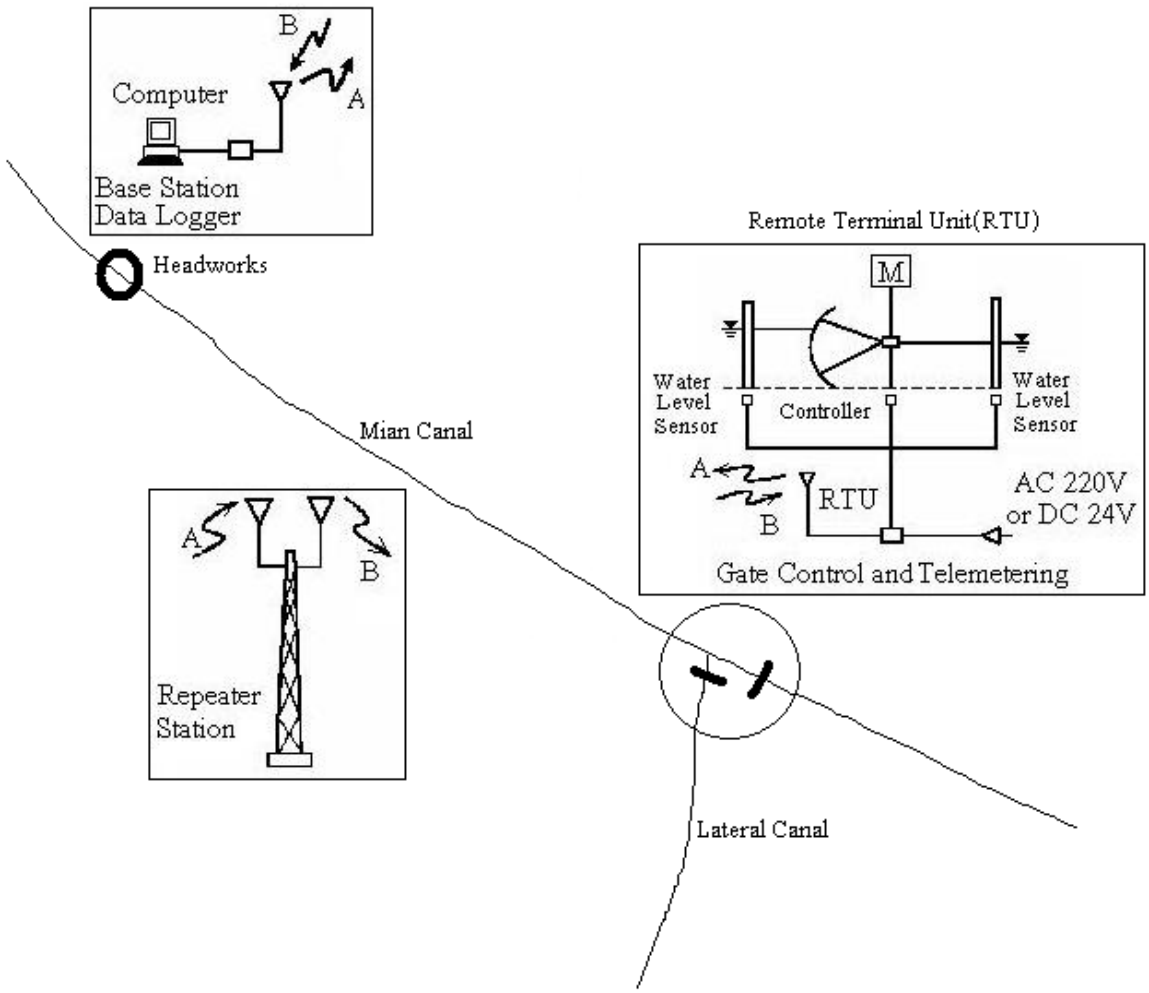
ประตูยนต์เหมาะที่จะนำไปใช้กับโครงการชลประทาน ซึ่งขาดแคลนพนักงานส่งน้ำ ขาดบุคลากรระดับวิศวกรซึ่งมีความรู้ในเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และมีงบประมาณลงทุนไม่มากนัก

ระดับที่ 2 คือ การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อการตรวจวัดและควบคุมระยะไกล (Remote Centralized Control) หรือที่เรียกกันทั่ว ๆ ไปว่า ระบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition System) ซึ่งระบบนี้จะต้องมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดระดับน้ำไว้ทั้งด้านเหนือและท้าย ปตร. ที่สำคัญต่าง ๆ ตลอดทั้งคลอง และมีเซนเซอร์ตรวจวัดขนาดการเปิดบาน (Gate openning) เพื่อนำมาคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน ปตร. แล้วรายงานผลผ่านระบบวิทยุสื่อสาร หรือระบบโทรศัพท์เข้าสู่ศูนย์คอมพิวเตอร์ ศูนย์คอมพิวเตอร์จะประมวลผลสภาพน้ำในคลองส่วนต่าง ๆ เพื่อกำหนดแผนการส่งน้ำ แล้วจึงถ่ายทอดคำสั่งควบคุม ปตร. จากศูนย์คอมพิวเตอร์ ผ่านสถานีแม่ข่าย (Main Station) สู่สถานีลูกข่าย (Remote Terminal Unit, RTU) เพื่อกระจายสัญญาณสู่อุปกรณ์ควบคุม ปตร. อีกทีหนึ่ง วิธีนี้จะเป็นการควบคุม ปตร. ทุกตัวในระบบคลองส่งน้ำ

พร้อม ๆ กัน ระบบนี้เหมาะกับโครงการที่ขาดแคลนพนักงานส่งน้ำ แต่มีวิศวกรที่มีความรู้ความชำนาญด้านคอมพิวเตอร์ และมีงบประมาณลงทุนสูง (ดูรูปที่ 2.2 และ 2.3)



รูปที่ 2.2 การประยุกต์ประตูยนต์กับระบบ SCADA ในการควบคุมน้ำในคลองทั้งในแบบการควบคุมท้ายน้ำและแบบการควบคุมเหนือน้ำ



รูปที่ 2.3 แนวคิดในการพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมระยะไกล (SCADA)

บทที่ 3 วิธีวิจัย

วิธีการวิจัย มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) ศึกษาความเหมาะสมด้านเทคโนโลยีของระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติที่เหมาะสมกับสภาพโครงการชลประทานในประเทศไทย ทั้งนี้โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการจัดสรรและควบคุมการส่งน้ำ ขีดความสามารถของเจ้าหน้าที่โครงการชลประทาน การยอมรับของเจ้าหน้าที่โครงการและเกษตรกร และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจเป็นหลัก

(2) คัดเลือกโครงการนำร่อง 1 โครงการ เพื่อติดตั้งระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติ โดยจะมีการแบ่งการดำเนินการเป็นขั้น (Stages) โดยเริ่มจากจุดที่มีความสำคัญต่อการจัดสรรน้ำและการควบคุมการส่งน้ำของโครงการชลประทานเช่นในคลองสายใหญ่ก่อน และจึงค่อยขยายผลที่หลัง

(3) พัฒนาอุปกรณ์การตรวจวัดและควบคุมน้ำในคลองชลประทานระยะไกล และทดสอบการใช้งานในห้องปฏิบัติการ โดยในระยะแรกจะพัฒนาระบบควบคุมเฉพาะจุด (Localized Control) และระยะที่ 2 จะพัฒนาเป็นระบบผสมระหว่างการควบคุมเฉพาะจุดและการควบคุมระยะไกล (Remote Control)

(4) การออกแบบติดตั้งและทดสอบระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติ ซึ่งพัฒนาขึ้นในข้อ (3) สำหรับโครงการนำร่องที่เลือกในข้อ (2) โดยจะเลือกจุดที่สำคัญสำหรับการควบคุมน้ำ เช่น ปตร.โครงการ และ ปตร. งานส่งน้ำและบำรุงรักษา

(5) ฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ให้รู้จักการใช้เทคโนโลยีระบบคลองอัตโนมัติ

(6) ติดตามประเมินผลการดำเนินงานการใช้เทคโนโลยีระบบคลองอัตโนมัติในโครงการนำร่อง

(7) รายงานผลการวิจัย

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีของระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติ

ผลจากการศึกษาความเหมาะสมของเทคโนโลยีของระบบคลองอัตโนมัติ ทั้งจากโครงการวิจัย " โครงการนำร่องการใช้เทคโนโลยีทันสมัยในโครงการชลประทาน" ตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 และผลจากการศึกษาและวิเคราะห์เพิ่มเติมในโครงการวิจัยนี้ สามารถสรุปความเหมาะสมของเทคโนโลยีของระบบคลองอัตโนมัติตลอดจนข้อดี-ข้อเสียของเทคโนโลยีแบบต่างๆ โดยแบ่งเป็นประเด็นการศึกษาเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- เทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองส่งน้ำชลประทาน
- การเลือกระบบสื่อสาร
- อุปกรณ์สำหรับวัดระดับน้ำ (Water Level Sensor)
- สิ่งที่ต้องพิจารณาในการนำเทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติไปใช้ในโครงการชลประทาน

4.1.1 เทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองส่งน้ำชลประทาน

เทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือ

(1) ระบบโทรมาตร (Telemetering) คือ ระบบตรวจวัดน้ำและเก็บบันทึกข้อมูลระยะไกล แบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบสื่อสาร เช่น วิทยุ โทรศัพท์ โทรศัพท์ไร้สาย หรือระบบ GPRS (General Packet Radio Service) เป็นต้น แต่ไม่สามารถตัดสินใจ และทำการควบคุมระยะไกลได้

(2) ระบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) คือระบบการตรวจวัดและควบคุมระยะไกล ระบบ SCADA มีระบบโทรมาตรเป็นพื้นฐาน ในการตรวจวัดและจัดเก็บข้อมูล เพื่อประกอบการตัดสินใจ ก่อนทำการสั่งการเพื่อควบคุมประตูระบายน้ำ (ปตร.) แบบระยะไกล (Remote Control) ระบบ SCADA ยังสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายระดับ เช่น ระบบ SCADA แบบใช้คนเป็นผู้ตัดสินใจและสั่งการ หรือระบบที่ก้าวหน้ากว่า คือมีระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System, DSS) อย่างไรก็ตาม ระบบ SCADA ส่วนใหญ่ ยังต้องมีคนเป็นหลักในการตัดสินใจ ก่อนการสั่งการควบคุมระยะไกล

(3) ระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System, CAS) คือระบบ SCADA ที่ก้าวหน้ามากขึ้น สามารถทำการตรวจวัดและควบคุมระยะไกลแบบอัตโนมัติ ระบบนี้สามารถตัดสินใจและสั่งการตามลอจิก (Logic) ที่กำหนดไว้ ระบบคลองอัตโนมัติอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับ คือ ระบบควบคุมอัตโนมัติเฉพาะจุด (Localized Control) โดยใช้ Microcontroller หรือ Embeded System ที่ถูกป้อนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ ปตร. แต่ละตัว ให้ทำงานอย่างเป็นอิสระ ปตร. ที่ทำงานในลักษณะนี้ เรียกว่า ประตูยนต์ (Robogate) (วราวุธ และวิชญ์. 2547) ระบบคลองอัตโนมัติแบบนี้ต่อไปจะเรียกว่าย่อๆ ว่า CAS(Robogate) ระบบคลองอัตโนมัติที่ก้าวหน้ากว่า คือแบบ Computerized Centralized Control (CCC) ซึ่งมีคอมพิวเตอร์ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ควบคุม (Operation Center) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากระบบโทรมาตรต่างๆ เก็บบันทึกข้อมูลลงใน

ฐานข้อมูล (Data Base) มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถพยากรณ์ (Forecast) และจำลอง (Simulate) สถานการณ์ล่วงหน้า ก่อนตัดสินใจและสั่งการควบคุม ปตร. ระยะไกลแบบอัตโนมัติ ในช่วงเวลาปกติ แต่ในช่วงเวลาวิกฤติ จำเป็นต้องใช้คนตัดสินใจและสั่งการ ระบบคลองอัตโนมัติแบบหลังนี้ ต่อไปจะเรียกย่อๆ ว่า ระบบ CAS(CCC)

เทคโนโลยีการควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติทั้ง 3 แบบ แต่ละแบบมีข้อดี-ข้อเสีย ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

การนำเทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติไปใช้ จำเป็นที่จะต้องรู้และเข้าใจลักษณะของระบบคลอง ความรู้ความสามารถของเจ้าหน้าที่ เพื่อจะได้เลือกใช้ระดับเทคโนโลยีได้อย่างเหมาะสม

ระบบโทรมาตร ใช้เทคโนโลยีต่ำกว่าระบบอื่น สามารถนำไปใช้ได้กับทุกระบบคลอง โดยเจ้าหน้าที่ไม่ต้องมีความเข้าใจหรือมีความรู้เกี่ยวกับฮาร์ทแวร์และซอฟท์แวร์มากนัก การใช้งานไม่ยุ่งยาก แต่ต้องมีระบบตรวจความถูกต้องของข้อมูล ปัจจุบันมีกรมชลประทานได้นำระบบโทรมาตรไปใช้ในการตรวจวัดน้ำในโครงการชลประทานขนาดใหญ่หลายโครงการ เช่น โครงการเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ โครงการปากพนัง โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี โครงการเขื่อนบางประกง เป็นต้น อย่างไรก็ตามระบบโทรมาตรดังกล่าว ใช้ในการตรวจวัดน้ำในอ่างเก็บน้ำและ/หรือในทางน้ำธรรมชาติ เพื่อการป้องกันน้ำท่วมเป็นหลัก ยังไม่ค่อยมีการนำระบบโทรมาตรมาใช้ในการตรวจวัดน้ำในคลองส่งน้ำชลประทานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการน้ำ

ระบบ SCADA ซึ่งมีระบบควบคุมระยะไกล การใช้งานในช่วงแรกๆต้องมีความระมัดระวัง มีการตรวจสอบในสนามว่าการควบคุมระยะไกลให้ผลตามที่สั่งการหรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามที่สั่งการไว้ต้องปรับแก้ระบบ จนแน่ใจว่าระบบทำตามที่สั่งการไป

ตารางที่ 4.1 ข้อดี-ข้อเสีย ของระบบการควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติ

ระบบควบคุมน้ำ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ระบบโทรมาตร	- ราคาถูกกว่าแบบอื่น	- ไม่สามารถควบคุมน้ำระยะไกลได้ ต้องใช้คนขี่มอเตอร์ไซด์ไปปิด-เปิด ปตร.
2. ระบบ SCADA	- สามารถควบคุม ปตร. ระยะไกล	- ราคาแพงกว่าระบบโทรมาตร - ต้องมีกระแสไฟฟ้าหรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ พร้อมแบตเตอรีที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าไปควบคุมมอเตอร์ได้ - ปกติ จะถูกออกแบบให้ทำงานควบคุมระยะไกลแบบไม่อัตโนมัติ
3. ระบบคลองแบบอัตโนมัติ		
3.1 แบบ CAS(Robogate)	- ทำงานแบบอัตโนมัติทั้งการตรวจวัดและการควบคุมระยะไกล	- ราคาแพงกว่าแบบที่ 1 และ 2
	- ทำงานได้ดีในช่วงปกติ	- อาจตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้ไม่รวดเร็วเท่าที่ควร เนื่องจากเป็นการควบคุมแบบเฉพาะจุด
3.2 แบบ CAS(CCC)	- ทำงานแบบอัตโนมัติ - ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วกว่าทุกแบบ	- ราคาแพงกว่าทุกแบบ - การพัฒนาโปรแกรมที่สามารถคาดการอนาคต และจำลองสถานการณ์ เพื่อหาทางเลือกเหมาะสม จำเป็นต้องมีผู้ที่มีความรู้-ความสามารถ และมีประสบการณ์สูง - ต้องมี Operator ที่มีความรู้ สามารถแก้ปัญหากรณีที่ระบบคอมพิวเตอร์มีปัญหาได้

ระบบคลองอัตโนมัติแบบ CAS (Robogate) คือ การแปลง ปตร. ธรรมดา ให้เป็นประตูยนต์ ทำการควบคุมระดับน้ำด้านเหนือน้ำหรือด้านท้ายน้ำตามที่กำหนดไว้ เนื่องจากประตูยนต์ทำการควบคุมระดับน้ำเฉพาะจุด ผลการควบคุมเฉพาะจุดจะส่งผลกระทบต่อระดับน้ำด้านเหนือและท้ายประตู และมีผลต่อการทำงานของประตูยนต์ด้านเหนือและท้ายน้ำ เช่น ประตูยนต์แบบควบคุมเหนือน้ำจะพยายามควบคุมระดับน้ำหน้าประตู โดยไม่คำนึงถึงปริมาณน้ำที่ส่งให้ท้ายน้ำ ถ้าน้ำที่ส่งเข้าคลองมีน้อยกว่าความต้องการ ประตูท้ายน้ำอาจได้รับน้ำไม่พอหรือไม่ได้รับน้ำก็ได้ จึงต้องมีระบบ SCADA ช่วยตรวจสอบปริมาณน้ำในระบบคลองและช่วยปรับแก้กรณีที่ปริมาณน้ำที่ส่ง (Supply) ไม่สอดคล้องกับความต้องการ (Demand) โดยการเพิ่มหรือลดอัตราการส่งน้ำ (Supply) หรือหาทางกระจายสภาวะการขาดน้ำ (Shortage) หรือสภาวะมีน้ำมากเกินความต้องการ (Excess) ในช่วงคลองต่างๆ ระบบนี้อาจตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้ไม่เร็ว แต่จะทำงานได้ดีในช่วงภาวะปกติ และมีค่าลงทุนไม่สูงมากนัก และไม่ต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ในการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งหาค่อนข้างยากในโครงการชลประทาน

ส่วนระบบคลองอัตโนมัติแบบ CAS(CCC) เป็นระบบที่ค่อนข้างสมบูรณ์แบบ ถ้าได้รับการออกแบบและติดตั้งให้เหมาะสมกับสภาพโครงการ การตรวจวัดและควบคุมการส่งน้ำจะเป็นไปอย่างอัตโนมัติ โดยมี Operator ประจำศูนย์ควบคุมเพื่อคอยตรวจสอบว่าเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆทำงานได้ตามปกติ ผลการส่งน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจหรือไม่ ระบบนี้จะตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างรวดเร็ว แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือค่าลงทุนสูง ต้องมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถจำลองสถานการณ์ ประมวลผลและสั่งการได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งจำเป็นต้องมีระบบความปลอดภัยในการควบคุมอย่างดี

การเลือกใช้ระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติแต่ละแบบ จึงจำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ประสิทธิภาพ-ประสิทธิผลในการส่งน้ำ ค่าลงทุน ความรู้ความชำนาญของเจ้าหน้าที่ ความรู้ความเข้าใจของเกษตรกร ลักษณะอาคารควบคุมน้ำของโครงการ ระบบส่งกระแสไฟฟ้า ระบบสื่อสาร รวมถึงระบบการเพาะปลูกของเกษตรกร

ผลจากการวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติ ดังกล่าวข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาและทดสอบเทคโนโลยีระบบคลองอัตโนมัติ ทั้งในระบบโทรมาตร การควบคุมระยะไกล และระบบคลองอัตโนมัติแบบ CAS(Robogate) ในโครงการนำร่อง

4.1.2 การเลือกระบบสื่อสาร

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติจำเป็นต้องมีระบบสื่อสารที่ดี โดยอาจเป็นระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF หรือ UHF หรือ ระบบโทรศัพท์ซึ่งอาจเป็นแบบมีสายหรือไร้สาย ระบบ GPRS หรือระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมก็ได้ ระบบสื่อสารแต่ละระบบมีข้อดี-ข้อเสียต่างกันดังตารางที่ 4.2 โครงการวิจัยนี้เลือกใช้ระบบสื่อสารแบบวิทยุในโครงการนำร่อง โดยพิจารณาจากข้อดีที่ว่าไม่ต้องเสียค่าบริการ โครงการชลประทานต่างมีช่องสัญญาณของระบบวิทยุสื่อสารและเสาอากาศขนาดความสูง 30 เมตร อยู่แล้ว

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของระบบสื่อสารสำหรับระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติ

ระบบสื่อสาร	ข้อดี	ข้อเสีย
1. วิทยุ	- ไม่ต้องเสียค่าบริการเหมือนระบบโทรศัพท์ ซึ่งปกติจะต้องเสียค่าบริการตามจำนวนครั้งและระยะเวลาที่ใช้งาน ถ้าใช้งานบ่อย เช่น ทุกชั่วโมงจะทำให้ต้องเสียค่าบริการสูง	- ต้องเสียค่าติดตั้งระบบวิทยุสื่อสารและเสาอากาศ ซึ่งค่าติดตั้งค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบโทรศัพท์ไร้สาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าระยะทางการสื่อสารไกลต้องติดตั้งเสาอากาศสูง และใช้วิทยุกำลังวัตต์สูง - ต้องมีช่องสัญญาณวิทยุอยู่แล้ว มิฉะนั้นต้องขออนุมัติจากการสื่อสารฯ - มีปัญหาเรื่องฟ้าผ่า ต้องมีระบบป้องกันฟ้าฝ่าที่ดี
2. โทรศัพท์	- ค่าลงทุนขั้นแรกต่ำกว่าระบบวิทยุสื่อสาร - สามารถใช้โทรศัพท์สอบถามข้อมูลที่ Remote Station ได้โดยตรง - สามารถจัดทำระบบแจ้งเตือนผ่านระบบ SMS ได้	- ต้องเสียค่าบริการต่อครั้งที่ใช้งานและต่อระยะเวลาที่ใช้งานเป็นนาที ถ้าใช้งานบ่อย และแต่ระครั้งใช้เวลานานจะต้องเสียค่าบริการมาก
3. GPRS	- เสียค่าบริการตามจำนวนข้อมูล (Byte) ที่ส่ง ซึ่งค่าใช้จ่ายจะต่ำกว่าการใช้ระบบโทรศัพท์มือถือซึ่งคิดตามจำนวนครั้ง และเวลาที่ใช้ต่อครั้ง	- ค่าการ์ด GPRS จะแพงกว่าราคาโทรศัพท์มือถือ - บางพื้นที่อาจไม่มีบริการ GPRS
4. ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม	- สามรถใช้ได้ในทุกพื้นที่ - สื่อสารข้อมูลได้รวดเร็วกว่า	- ถ้าต้องติดตั้งจานดาวเทียม ทุกจุดที่มีการรับส่งข้อมูลจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง มิฉะนั้นต้องใช้ร่วมกับระบบวิทยุสื่อสาร - เสียค่าบริการเป็นรายเดือน อย่างต่ำเดือนละ 1,500 บาท

4.1.3 **อุปกรณ์สำหรับวัดระดับน้ำ** (Water Level Sensor)

อุปกรณ์วัดระดับน้ำในคลอง หรือ Sensor ซึ่งสามารถพัฒนาขึ้นเองโดยใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่มีราคาไม่แพง สามารถหาซื้อได้ในประเทศ และสามารถวัดระดับน้ำได้ถูกต้องแม่นยำพอสมควร แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

(1) อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ตัวต้านทานแบบ Slide ขนาด 10 KΩ (ดูรูปที่ 4.1)

(2) อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ Potentiometer แบบกลมขนาด 10 KΩ (ดูรูปที่ 4.2)

(3) อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบอินฟาเรด (Infrared) (ดูรูปที่ 4.3)

(4) อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบวัดความดันน้ำ (Pressure Transducer) (ดูรูปที่ 4.4)

รูปที่ 4.1 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้

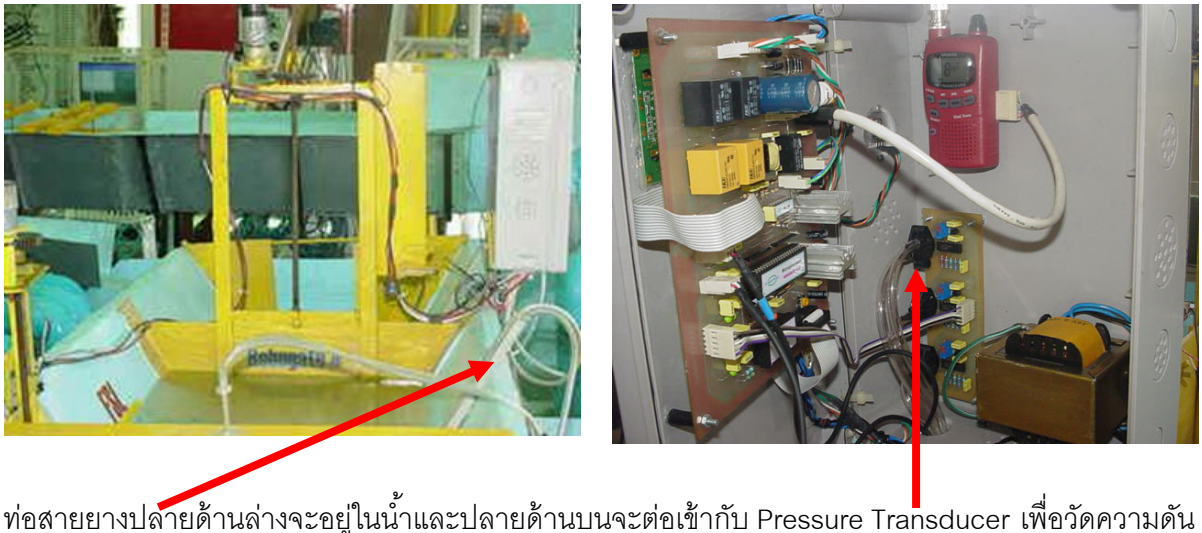
ลูกลอยจะยึดติดกับปลายโซ่ ซึ่งจะขยับขึ้นลงตามระดับน้ำในบ่อน้ำนิ่ง

Potensiometer

รูปที่ 4.2 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ Potentiometer แบบกลม

Sensor แบบ Infrared จะทำหน้าที่วัดระยะทางของลูกลอยซึ่งขยับขึ้นลงตามระดับน้ำในบ่อน้ำนิ่ง

รูปที่ 4.3 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบอินฟาเรด (Infrared)



ท่อสายยางปลายด้านล่างจะอยู่ในน้ำและปลายด้านบนจะต่อเข้ากับ Pressure Transducer เพื่อวัดความดันในท่อแล้วแปลงเป็นระดับน้ำ

รูปที่ 4.4 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบวัดความดันน้ำ (Pressure Transducer)

อุปกรณ์วัดระดับน้ำแต่ละแบบมีข้อดี-ข้อเสียต่างกันดังตารางที่ 4.3 และโครงการวิจัยนี้เลือกใช้อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ Potentiometer แบบกลมขนาด ในโครงการนำร่อง ซึ่งมีข้อดีดังตารางที่ 4.3 และมีราคาไม่แพงมากนัก

4.1.4 สิ่งที่ต้องพิจารณาในการนำเทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติไปใช้ในโครงการชลประทาน

(1) หัวหน้าโครงการต้องเห็นความสำคัญของเทคโนโลยีสมัยใหม่ ว่าสามารถช่วยให้บริหารการส่งน้ำได้ดีขึ้นได้

(2) บุคลากรมีความรู้ ความเข้าใจ หรือพร้อมที่จะเรียนรู้ ไม่รู้สึกว่ายุ่งยากและเป็นภาระ

(3) ขาดแคลนบุคลากร ในการเก็บข้อมูล บันทึกข้อมูล

(4) ขาดแคลนบุคลากรสนามในการควบคุม ปิด-เปิด-ปรับ ปตร.

(5) น้ำต้นทุนน้อย และความต้องการน้ำจากคลองมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา

(6) เทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติมีค่าลงทุน ถ้าใช้เทคโนโลยีต่างประเทศจะมีราคาแพง ต้องการคนที่มีความรู้มาดูแล อุปกรณ์ต่างๆมีอายุการใช้งาน อาจเสียหายเมื่อไรก็ได้ ต้องมีอุปกรณ์สำรอง

ตารางที่ 4.3 ข้อดี-ข้อเสียของอุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบต่างๆ

อุปกรณ์วัดระดับน้ำ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Slide) ขนาด 10 KΩ ความยาว 4-8 ซม. ราคา 30-200 บาท	● ไม่ต้อง Reset เหมือน Encoder ● ราคาถูก ● ไม่อันตราย	● ไม่ Linear (Approximately Linear) ● ช่วงวัด 0-5 V ● มี Error ทั้งทางกล และทางไฟฟ้า ● Contact สกปรกง่าย ทำให้เกิด Error ในการส่งสัญญาณไฟฟ้า
อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ Potentiometer แบบกลม ขนาด 5-10 KΩ ราคา 700-2,000 บาท	● มีความ Linear มากกว่าแบบSlide ● วัดได้ละเอียดกว่า (5-10V) มีความผิดพลาด +0.25 % ● ไม่ต้อง Reset เหมือน Encoder	● ราคาแพงกว่า แบบ Slide ● กลไกทำได้ยากกว่า แต่ Error ทางกลน้อยกว่า
อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบอินฟาเรด (Infrared) ระยะทำการ 40 ซม. ราคา 1,000 บาท	● ไม่ต้องการกลไกทางกล ทำงานโดยการส่งแสงที่ความเข้มคงที่ แล้ววัดความเข้มแสงที่สะท้อนกลับ แล้วแปลงเป็น Volt	● ไม่ Linear ต้องการการ Calibration ที่ละเอียด ● ช่วงวัดสั้น
อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบวัดความดันน้ำ (Pressure Transducer) วัดระดับน้ำได้ไม่เกิน 40-50 ซม. ราคา 1,200 บาท	● สร้างง่ายไม่ต้องอาศัยกลไกลอื่นๆ ทำงานโดยการวัดความดันน้ำ แล้วแปลงเป็น Volt	● ต้องมีอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier) ● ต้องชดเชยอุณหภูมิ มิฉะนั้นจะมี Error มาก ● ต้อง Calibrate อย่างระมัดระวัง ● ท่อวัดความดันอุดตันได้ง่าย ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัด

4.2 การคัดเลือกโครงการนำร่องการใช้เทคโนโลยีระบบคลองแบบอัตโนมัติ

หลักเกณฑ์การคัดเลือกโครงการนำร่อง

(1) ทางโครงการต้องมีความพร้อมที่จะรับเทคโนโลยีระบบคลองแบบอัตโนมัติ พร้อมที่จะสนับสนุนการวิจัย และพร้อมที่จะใช้และดูแลเครื่องมือ-อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบคลองอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นหลังสิ้นสุดโครงการวิจัย

(2) เป็นโครงการที่ได้รับความเห็นชอบ จากคณะทำงานโครงการความร่วมมือวิจัยระหว่างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และกรมชลประทาน

(3) โครงการต้องอยู่ไม่ห่างไกลจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน มากนัก เพื่อให้สามารถเข้าไปดูแลอุปกรณ์และระบบควบคุมน้ำได้ทันทีที่มีปัญหา

ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้เบื้องต้น พบว่าโครงการที่เหมาะสมจะใช้เป็นโครงการนำร่องคือ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยมีเหตุผลที่สำคัญคือ

(1) นายช่างหัวหน้าโครงการมีความตื่นตัวในการนำเทคโนโลยีทันสมัยมาช่วยในการบริหารจัดการน้ำของโครงการ เช่นมีการว่าทดลองว่าจ้างบริษัทเอกชนเข้ามาทดลองติดตั้งระบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acguisition) ที่ประตูระบายกลางคลอง 2L กม. 22+700 และที่ประตูระบายปากคลอง 5L-2L กม. 0+020 และยังได้ทดลองติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำในคลองระบายของโครงการ(แม่น้ำสองพี่น้อง) เพื่อช่วยเตือนภัยน้ำท่วม และที่สำคัญคือ นายช่างหัวหน้าโครงการมีความยินดีให้ใช้โครงการฯสองพี่น้องเป็นโครงการนำร่อง พร้อมให้การสนับสนุนงานวิจัย และพร้อมที่จะใช้และดูแลเครื่องมือ-อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบคลองอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น การทดลองในโครงการชลประทานจริงคงทำไม่ได้ถ้าทางโครงการไม่สนับสนุน

(2) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง อยู่ใกล้มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ทำให้คณะผู้วิจัยสามารถติดตามประเมินผลการทำงานของอุปกรณ์ และระบบได้อย่างใกล้ชิด

นอกจากนี้ กรมชลประทาน โดยคณะทำงานโครงการความร่วมมือวิจัยระหว่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และกรมชลประทาน ด้านการใช้เทคโนโลยีทันสมัยกับโครงการชลประทาน เห็นชอบ ให้ใช้โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องเป็นโครงการนำร่อง และจะให้การสนับสนุนด้านงบประมาณเพิ่มเติมในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมเพิ่มเติม

4.3 การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติ และการทดสอบการใช้งานในห้องปฏิบัติการ

จากผลการวิจัยในโครงการวิจัย “โครงการนำร่องการใช้เทคโนโลยีทันสมัยในโครงการชลประทาน” และผลจาการศึกษาและวิเคราะห์เพิ่มเติมในโครงการวิจัยนี้ สามารถสรุปผลการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์

ตรวจวัดและควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติ และการทดสอบการใช้งานในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 **รายละเอียดแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ** (Canal Automation Model)

แบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ ถูกพัฒนาขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อใช้ทดสอบการทำงานของประตูยนต์ (Robogate) อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ อุปกรณ์วัดระยะการเปิดบานและตัวโปรแกรมควบคุมการทำงานระบบคลอง ในห้องปฏิบัติการ ก่อนที่จะนำไปทดสอบการใช้งานในสนามต่อไป แบบจำลองมีลักษณะทั่วไปดังรูปที่ 4.5 และมีรายละเอียดดังภาพถ่ายขณะสาธิตการทำงานในรูปที่ 4.6 แบบจำลองมีส่วน ประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

(1) อ่างเก็บน้ำขนาด 1 ลบ.ม. เพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ

(2) คลองส่งน้ำจำลอง รูปตัดป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ขนาดก้นคลองก้วาง 20 ซม. ลาดด้านข้าง 1:1 ลาดก้นคลอง 1:200 ยาวประมาณ 10 ม.

(3) เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง ขนาดท่อ 4 นิ้ว อัตราสูบสูงสุด 15 ลิตร/วินาที

(4) สถานีควบคุมหลัก (Master Station) ซึ่งทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลการตรวจวัดน้ำ การปิด-เปิดบานประตู ติดต่อกับระบบโทรมาตรและควบคุมการทำงานของประตูยนต์ ดังรูปที่ 4.7 สถานีควบคุมหลัก ประกอบด้วย

- คอมพิวเตอร์ 1 ชุด
- Canal Automation Interface 1 ชุด ซึ่งทำหน้าที่ติดต่อกับระบบโทรมาตรและประตูยนต์ ผ่านวิทยุสื่อสารย่าน CB ดังรูปที่ 4.8

(5) ประตูยนต์ (Robogate) รุ่น 4.0 ซึ่งพัฒนาต่อจากรุ่น 3.0 จำนวน 4 ตัว ดังรูปที่ 4.9 เพื่อทำหน้าที่ควบคุมน้ำระดับน้ำในคลองส่งน้ำจำลอง ส่วนประกอบหลักของประตูยนต์ ประกอบไปด้วย

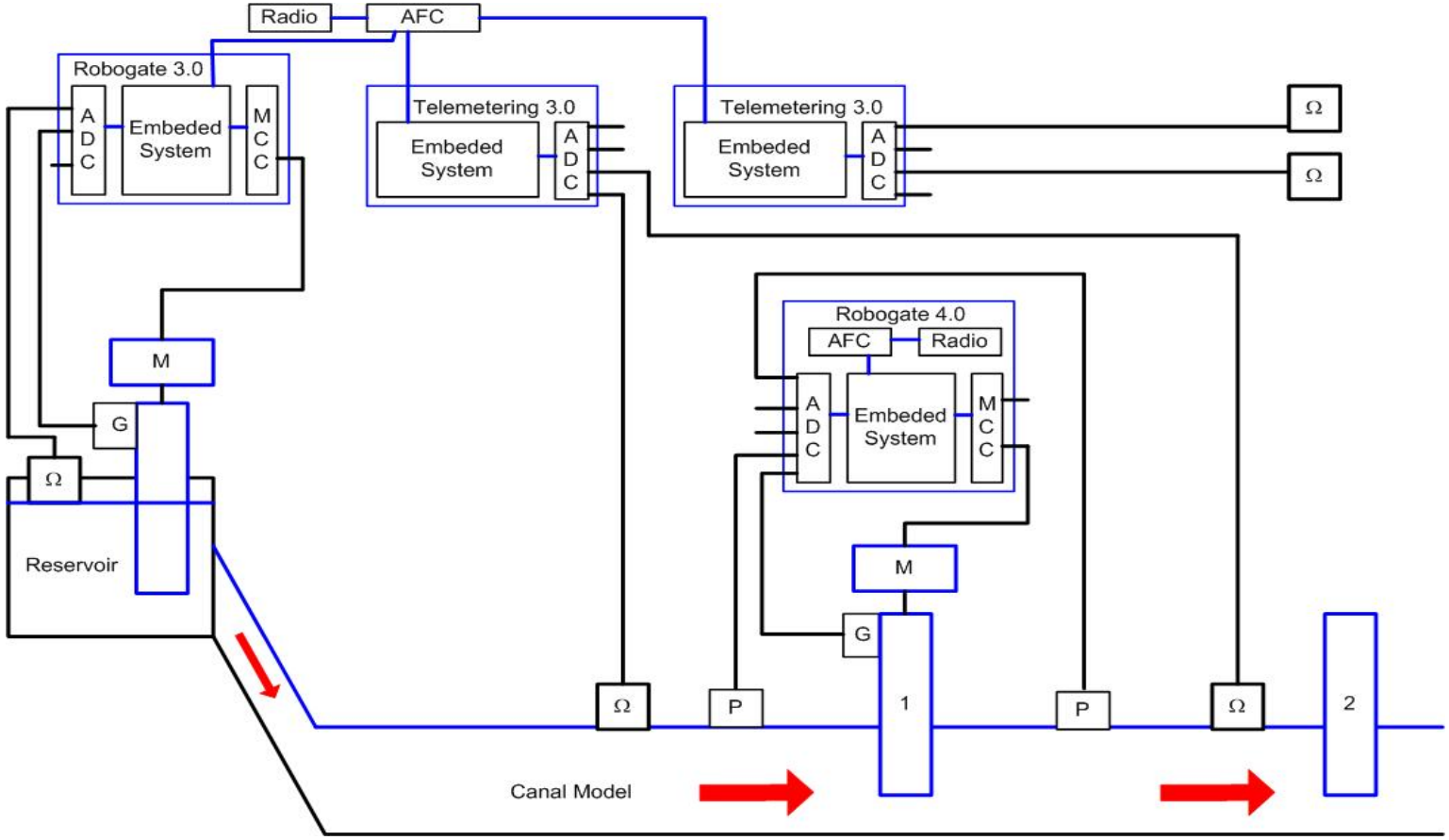
- ประตูระบายน้ำขนาดกว้าง 15 ซม.
- กล่องระบบควบคุม ซึ่งประกอบด้วย Embeded System ที่ใช้ชิพขนาด14 bit-core มี ADC(Analog to Digital Convertor) 5 พอร์ต MCC(Motor Control Circuit) 2 พอร์ต พร้อม Sensor วัดระดับน้ำแบบวัดความดันน้ำ(Pressure Transducer) และวิทยุสื่อสารย่าน CB(Citizen Band) ขนาด 0.5 วัตต์ จำนวน 1 เครื่อง สำหรับสื่อสารข้อมูลกับสถานีควบคุมหลัก (Master Station)

(6) ประตูยนต์ (Robogate) รุ่น 3.0 จำนวน 1 ตัว เพื่อควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ เข้าสู่คลองส่งน้ำจำลอง ประตูยนต์รุ่น 3 ใช้ระบบควบคุมแบบ Embeded System ขนาด 14 bit-core มี ADC 3 พอร์ต และ MCC 1 พอร์ต ประตูยนต์รุ่น 3.0 จะมี Analog to Frequency Converter (AFC) เพื่อเชื่อมต่อกับวิทยุสื่อสารย่าน CB ซึ่งวิทยุสื่อสารเครื่องนี้จะใช้งานร่วมกันกับระบบโทรมาตรรุ่น 3.0 (ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป) ระบบควบคุมประตูยนต์รุ่น 3.0 จะติดตั้งรวมกับระบบโทรมาตรรุ่น 3.0 ที่สถานีลูกข่าย (Remote Terminal Unit หรือ RTU) ดังแสดงในรูปที่ 4.10

(7) ระบบโทรมาตร (Telemetering) รุ่น 3.0 จำนวน 2 ชุด ดังรูปที่ 4.10(1) ระบบโทรมาตรรุ่นนี้ใช้ระบบควบคุมแบบ Embeded System ขนาด 14 bit-core มี ADC 4 พอร์ต ซึ่งรองรับ Sensor วัดระดับน้ำแบบลูกลอย 4 ตัว ดังรูปที่ 4.11 ระบบโทรมาตรรุ่นนี้จะมี AFC เพื่อต่อกับวิทยุสื่อสาร ตามที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ (6)

(8) Sensor วัดระดับน้ำแบบลูกลอย ซึ่งใช้ Potentiometer ขนาด 5 Ω เชื่อมต่อกับแกนเพลา ซึ่งปลายอีกด้านหนึ่งของแกนเพลาจะมีเฟืองสำหรับคล้องโซ่ ซึ่งต่อไปยังลูกลอยอีกทีหนึ่ง ดังรูปที่ 4.11 ในแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ ประกอบด้วย Sensor จำนวน 5 ชุด

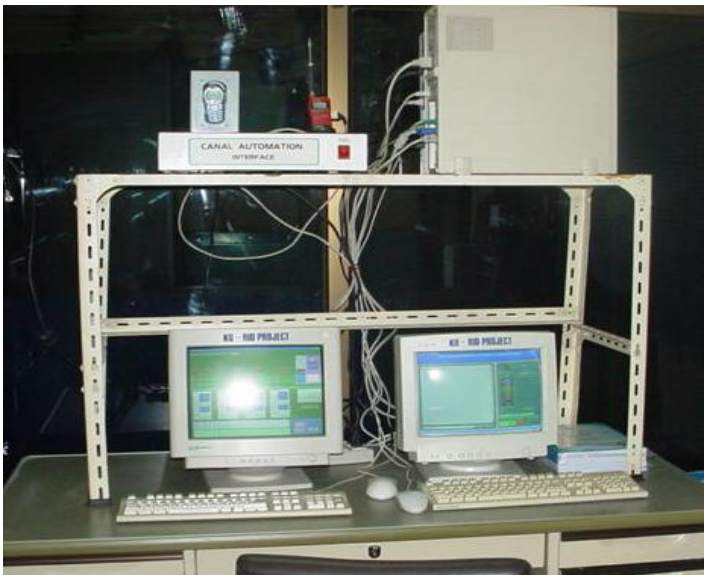
(9) วิทยุสื่อสาร ย่าน CB(Citizen Band) ขนาด 0.5 วัตต์ จำนวน 6 ตัว เพื่อใช้สื่อสารระหว่างสถานีควบคุมหลัก (Master Station) กับ ประตูยนต์และระบบโทรมาตร



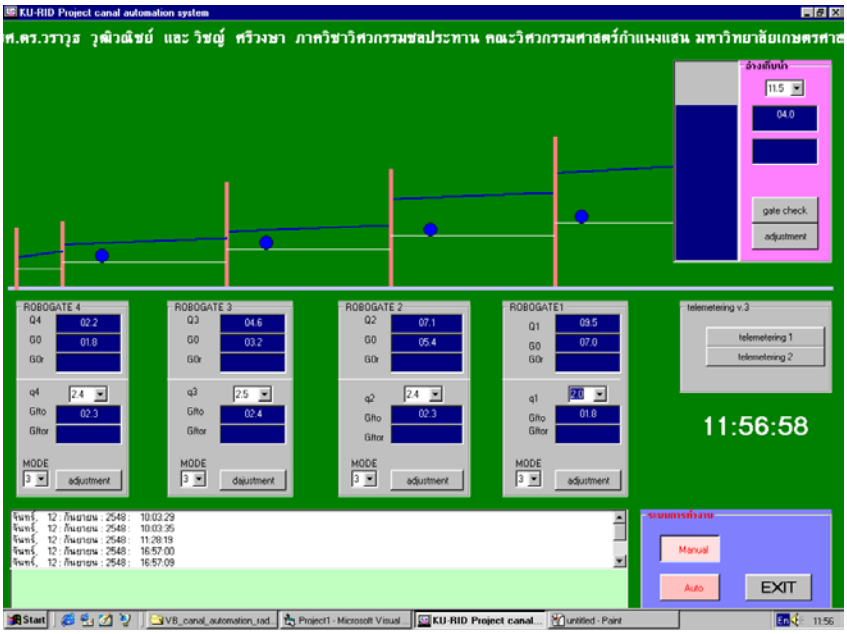
ADC = Analog to Digital Converter, MCC = Motor Control Circuit, AFC = Analog to Frequency Converter, M = Motor, G = Gate Positioning Sensor, Ω = Floating Type Water Level Sensor, P = Pressure Type Water Level Sensor

รูปที่ 4.5 ผังแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation Model)

รูปที่ 4.6 ภาพแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation Model) ขณะสาธิตการทำงาน

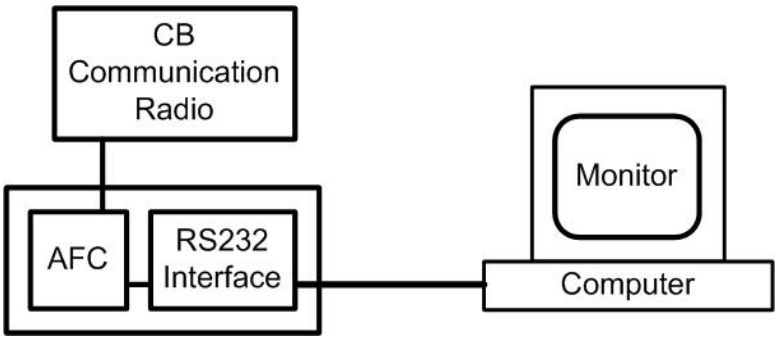


(1) Canal Automation Interface ซึ่งทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างแบบจำลองคลองและคอมพิวเตอร์ผ่านวิทยุสื่อสารย่าน CB

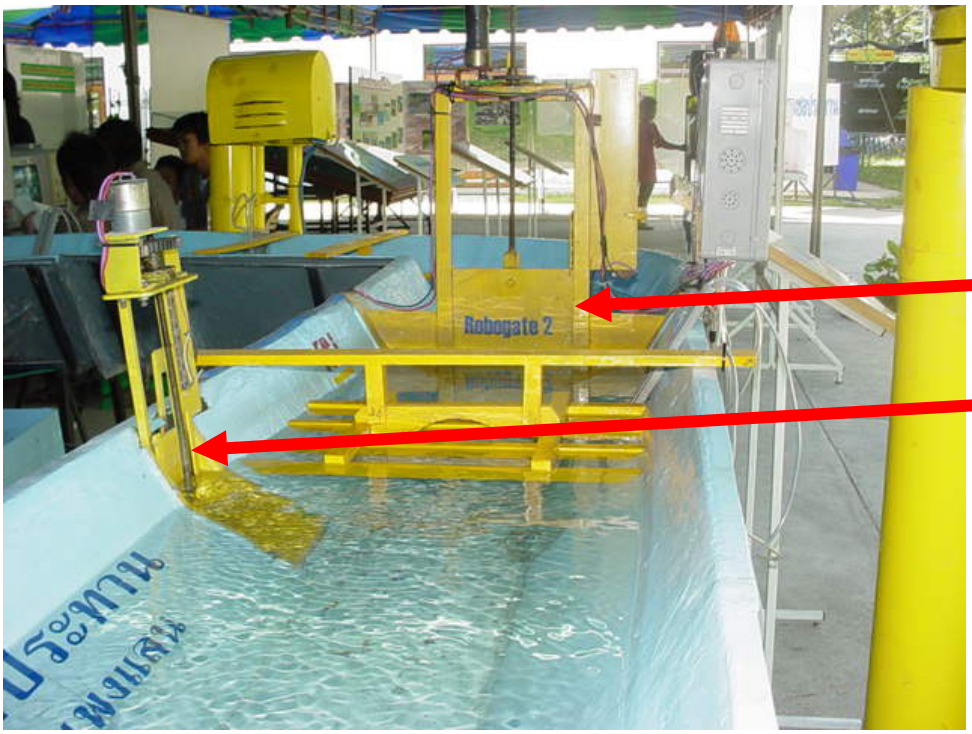


(2) Monitor แสดงผลการตรวจวัดน้ำในแบบจำลอง

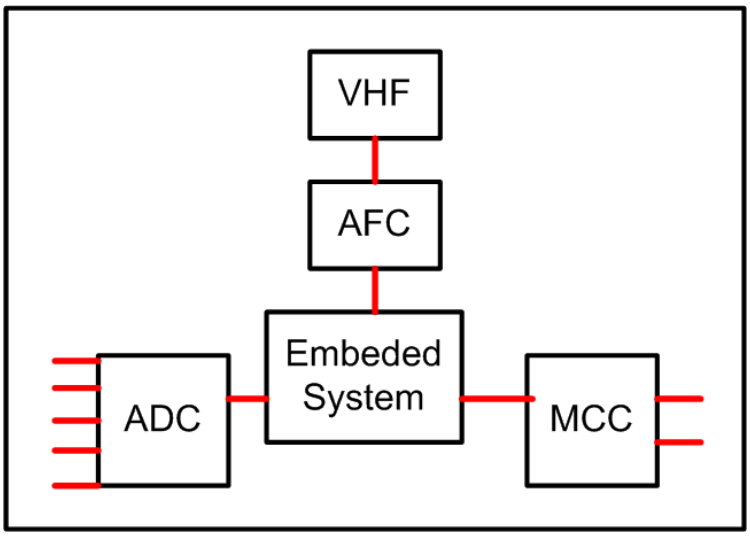
รูปที่ 4.7 สถานีควบคุมหลัก (Master Station)



รูปที่ 4.8 ผังรายละเอียด Canal Automation Interface



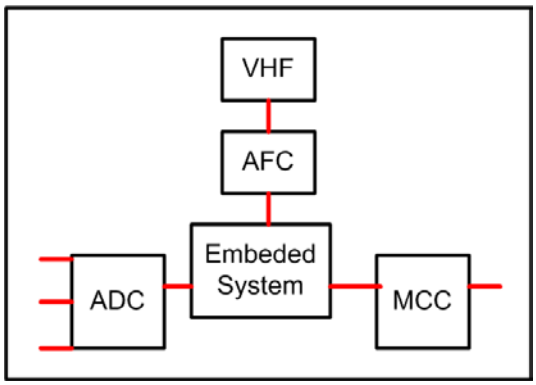
(1) ประตุยนต์รุ่น 4.0 ขณะทดลอง



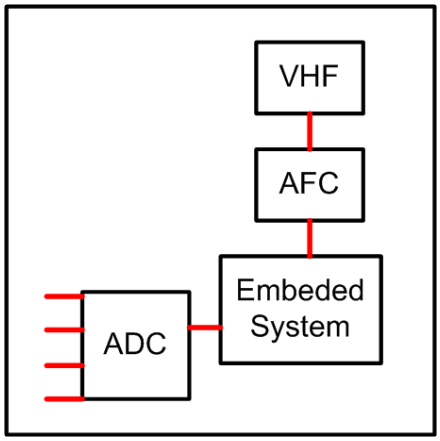
(2) รายละเอียดผังประตูยนต์รุ่น 4.0

รูปที่ 4.9 ประตูยนต์รุ่น 4.0

(1) สถานีลูกข่าย (Remote Terminal Unit)ซึ่งประกอบด้วยระบบควบคุมประตูยนต์รุ่น 3.0 และระบบโทรมาตรรุ่น 3.0 ซึ่งสื่อสารกับสถานีหลักและประตูยนต์ตัวอื่นๆ ด้วยวิทยุสื่อสารย่าน CB

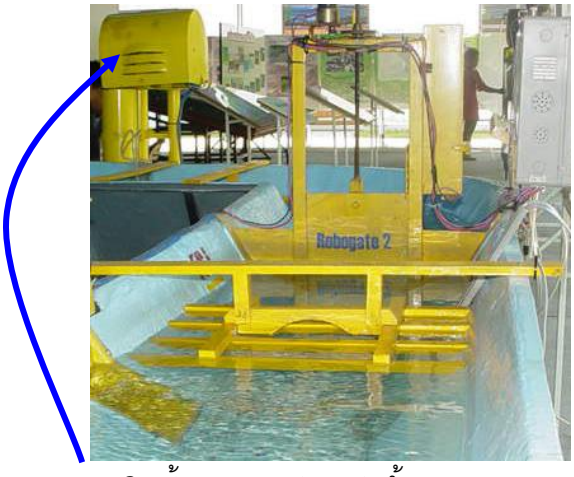


(2) รายละเอียดผังระบบควบคุมประตูยนต์รุ่น 3.0



(3) รายละเอียดผังระบบโทรมาตร 3.0

รูปที่ 4.10 สถานีลูกข่าย (Remote Terminal Unit)



(1) การติดตั้ง Sensor วัดระดับน้ำแบบลูกลอยในแบบจำลองคลอง

(2) ระบบเฟืองและโซ่ซึ่งเชื่อมต่อลูกลอยกับ Potentiometer

รูปที่ 4.11 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอย

4.3.2 ขั้นตอนการ Operate ระบบคลองอัตโนมัติ

การ Operate ระบบคลองอัตโนมัติ มีขั้นตอนที่สำคัญดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 การเปิดระบบ

(1) เปิดสวิทช์สถานีลูกข่าย (Remote Terminal Unit) ประตูยนต์และระบบโทรมาตร

(2) ตั้งประตูยนต์ที่โมดควบคุมด้วยมือ (Manual)

(3) เปิดสวิทช์สถานีหลัก (Master Station)

(4) เปิดคอมพิวเตอร์

ขั้นที่ 2 Run โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สถานีหลัก (ดูรูปที่ 4.7(2) ประกอบ)

(1) เข้าสู่โมด Manual

โปรแกรมควบคุมระบบคลองอัตโนมัติสามารถเลือกโมดการทำงานได้ 4 โมดคือ

- **โมด 0 (Telemetering)** – สามารถเรียกข้อมูล Go(Gate Openning) ของ FTO และ Robogate 4
- **โมด 1 (Auto)** – สั่งประตูยนต์รุ่น 4.0 ให้ทำงานในโมด Auto เพื่อรักษาระดับน้ำหน้าบานประตู ตามหลักการควบคุมแบบระดับน้ำ (Water Level) หรือ แบบ Volume Control
- **โมด 2** – ว่าง (ยังไม่ได้โปรแกรม)

- **โมด 3 (Remote Control)** – สั่งปรับบานประตูยนต์ และ FTO โดยการกด Adjustment

(2) ป้อน Q_{FTO} (อัตราการระบายน้ำผ่านท่อส่งน่ำเข้านา) โปรแกรมจะคำนวณหาค่า Go (Gate Openning) ให้อัตโนมัติ ป้อน Q จนครบทุก FTO

(3) ป้อน $Q_{Reservoir\ Gate}$ โปรแกรมจะคำนวณ Go สำหรับประตูทุกบานในระบบคลอง

(4) กด Adjustment เพื่อส่งคำสั่งควบคุมให้ประตูยนต์ทุกตัว

ขั้นที่ 3 เปิดเครื่องสูบน้ำ

ขั้นที่ 4 ในขั้นแรกระบบจะทำงานในโมด Manual แต่สามารถปรับเป็นระบบอัตโนมัติได้ทันทีที่ระดับน้ำเข้าใกล้ระดับเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยการปรับสวิทช์บนประตูยนต์ หรือปรับโมดในโปรแกรมควบคุมประตูยนต์มาที่โมด 1 (Auto Mode)

ขั้นที่ 5 การตรวจสอบข้อมูลระดับน้ำและการเปิดบาน หลังจากเริ่ม Operate ทำได้ดังนี้

(1) ดูข้อมูลประตูยนต์ในคลอง และ FTO โดยการเปลี่ยนเป็นโมด 0 แล้วกด Adjustment

(2) ดูข้อมูลประตูยนต์รุ่นที่ควบคุมการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) โดยการกด Gate Check

(3) กด Auto ระบบการทำงานจะตรวจวัดระดับน้ำทุก 30 วินาที

4.3.3 อัลกอริทึมแบบ Upstream Volume Control สำหรับประตูยนต์รุ่น 4.0 ในโมด Auto

เมื่อตั้งโปรแกรมที่โมด 1 (Auto) หรือ เปิดสวิทช์ที่ประตูยนต์รุ่น 4.0 ไปที่ Auto ระบบคลองอัตโนมัติจะทำงาน ในโมด Upstream Control (ดูรูปที่ 4.12) โดยมีหลักการทำงานดังนี้

(1) วัดระดับน้ำด้นหน้า (y) และหลังประตูยนต์ในคลองทุกๆ 5 วินาที หลังปรับบาน

(2) คำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำของช่วงคลองจากสูตร A=(20+y)y

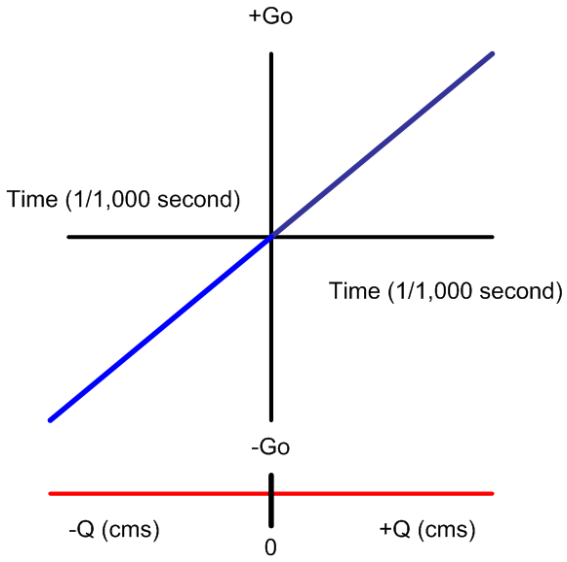
(3) คำนวณหาปริมาตรน้ำในช่วงคลองจากสูตร V=A.L เมื่อ L = ความยาวช่วงคลอง

(4) คำนวณหาผลต่างปริมาตรน้ำในช่วงคลองจากเป้าหมาย ΔV= Target V – V

(5) คำนวณหาอัตราการระบายน้ำของประตูยนต์ Q = ΔV/5

(6) ถ้า Q มีค่าเป็นบวก (+) สั่งยกบาน ถ้า Q มีค่าเป็นลบ (-) สั่งลดบาน โดยคำนวณหาระยะเวลาการเปิดมอร์เตอร์ตามขนาด Q ที่คำนวณได้

ระบบคลองอัตโนมัติจะทำงานเป็น Cycle โดยเริ่มจาก Sensor วัดระดับน้ำ แล้ว Delay 5 วินาที จึง Operate หลังจาก Operate แล้ว Delay 5 วินาที จึงวัดระดับน้ำ หมุนเวียนเป็น Cycle เช่นนี้ตลอดไป



รูปที่ 4.12 Upstream Volume Control Algorithm

4.3.4 ผลการทดสอบแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติในห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมน้ำโดยใช้ประตูยนต์ และระบบโทรมาตรในแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในช่วงเดือนธันวาคม 2548 และ เดือนเมษายน 2549 จำนวน 9 ครั้ง โดยกำหนดระดับน้ำใช้การเป้าหมาย (Target Full Supply Level) หน้าประตูยนต์ (Robogate) ในแบบจำลองคลอง ดังตารางที่ 4.4 ผลการตรวจวัดระดับน้ำโดยระบบโทรมาตรได้ผลดังแสดงในรูปที่ ก-1 ถึง ก-9 ของภาคผนวก ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบคลองอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมปริมาณน้ำในคลองจำลองได้ใกล้เคียงกับระดับน้ำใช้การเป้าหมาย ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแต่ละการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ ก-1 ถึง ก-9 ของภาคผนวก และผลสรุปค่าความคาดเคลื่อนของ 9 การทดลอง มีค่าสูงสุด 8.06 % และมีค่าต่ำสุด 0.08 % และค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำที่หน้าประตูยนต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.04 % ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

จากรูปที่ ก-1 ถึง ก-9 ของภาคผนวก ก จะเห็นได้ว่าประตูยนต์ทั้ง 4 ตัว ในแบบจำลอง มีความสามารถควบคุมระดับน้ำในระดับที่น่าพอใจ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้น้ำในระบบคลองจำลอง เนื่องจากการทดลองปิด-เปิด FTO ประตูยนต์สามารถปรับระดับน้ำเข้าสู่สภาวะการไหลแบบคงตัว (Steady State) ได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลา ระหว่าง สองสามนาที ถึงประมาณ 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ ก-4 ถึง ก-9 ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.4 ระดับน้ำใช้การเป้าหมายในแบบจำลองคลองอัตโนมัติ

ตำแหน่ง	ระดับน้ำใช้การเป้าหมายหน้าประตูยนต์ (ซม.)
หน้าประตูยนต์ ตัวที่ 1	32
หน้าประตูยนต์ ตัวที่ 2	25
หน้าประตูยนต์ ตัวที่ 3	19
หน้าประตูยนต์ ตัวที่ 4	13

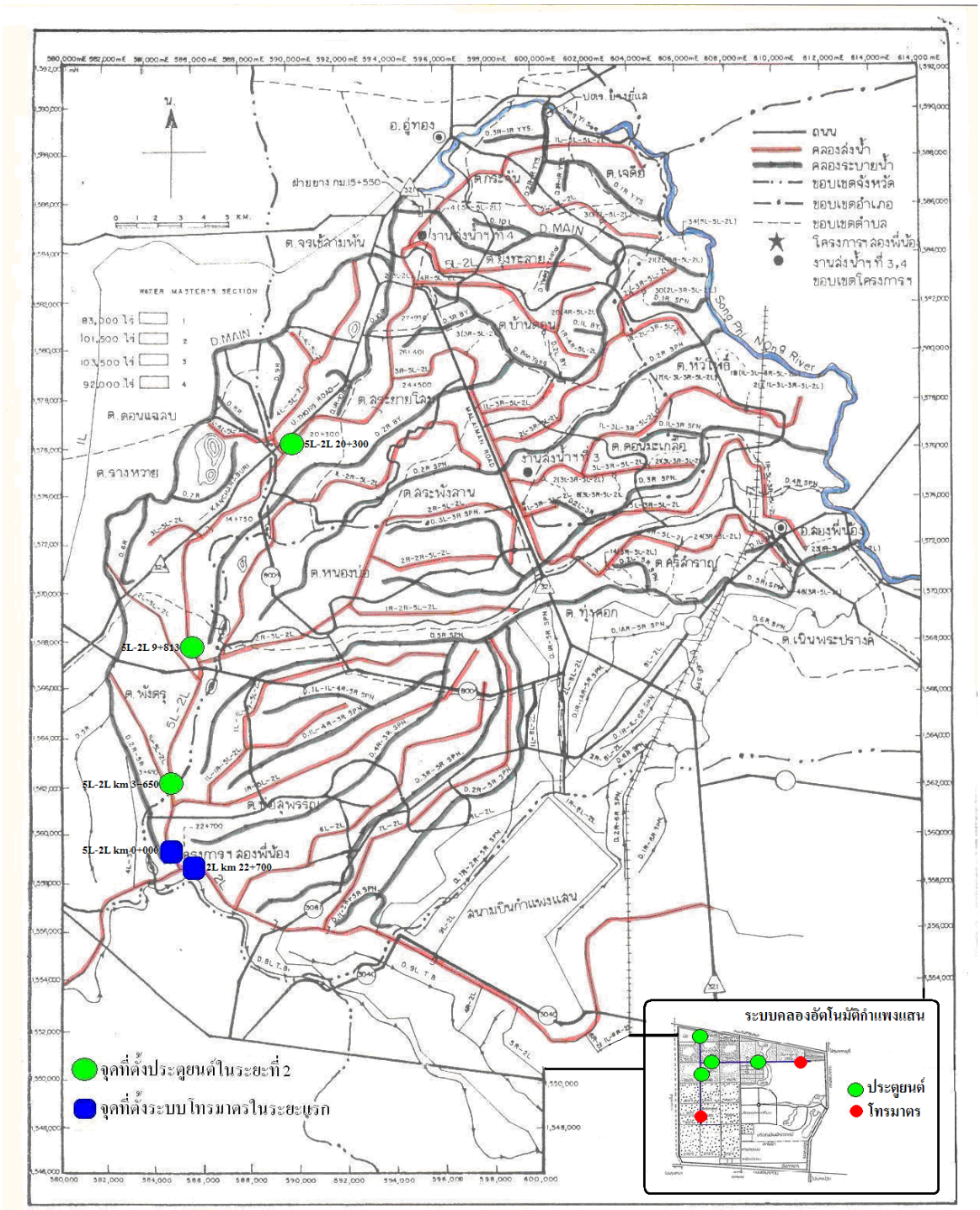
ตารางที่ 4.5 สรุปค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำที่จุดต่างๆ ในแบบจำลองคลอง จำนวน 9 การทดลอง

หน้าประตูยนต์	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการควบคุมน้ำในการทดลองต่างๆ									
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	ค่าเฉลี่ย
1	6.97	8.06	2.97	3.56	1.41	0.97	0.56	0.41	0.56	2.83
2	7.12	4.92	4.28	3.23	0.52	1.64	0.08	0.20	0.16	2.46
3	1.05	1.05	1.05	3.06	1.53	0.47	0.42	1.32	1.00	1.22
4	0.38	1.85	3.23	3.72	0.85	4.15	0.62	0.15	0.08	1.67
									ค่าเฉลี่ยรวม	2.04

4.4 การออกแบบติดตั้งและทดสอบระบบควบคุมน้ำไปคลองอัตโนมัติ ในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องจังหวัดสุพรรณบุรี(โครงการนำร่อง)

4.4.1 แนวคิดและแผนการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ

ในการพัฒนาและทดสอบการใช้งานระบบคลองอัตโนมัติ เพื่อทำการตรวจวัดระดับน้ำ ขนาดการเปิดบาน และการควบคุมประตูระบายน้ำ ทั้งในโมดโทรมาตร การควบคุมระยะไกล และการควบคุมอัตโนมัติเฉพาะจุด ในลักษณะสภาพจริงของโครงการชลประทาน ในปีแรก พ.ศ.2549 ได้เลือกติดตั้งประตูยนต์ของระบบคลองอัตโนมัติในคลองส่งน้ำ 5L-2L จำนวน 3 แห่ง ที่ กม. 3+650 , 9+813 และ 20+300 ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำสายหลักของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 สถานที่ติดตั้งระบบคลองอัตโนมัติในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องในระยะที่ 1

ประตูยนต์สามารถทำงานในระบบโทรมาตรและระบบอัตโนมัติ สามารถวัดระดับน้ำด้านเหนือและท้าย ปตร. และขนาดการเปิดบาน ปตร. ทุกครึ่งชั่วโมง โดยใช้ลูกลอยเป็นตัววัดระดับน้ำ แล้วส่งสัญญาณผ่านระบบโซ่และเฟืองสู่ Petensiometer ขนาด 5 Ω เพื่อแปลงเป็นศักย์ไฟฟ้า และเก็บข้อมูลไว้ใน Datalogger และส่งข้อมูลผ่านระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF ความถี่ 139.00 ซึ่งเป็นย่านความถี่ใช้งานของ

กรมชลประทาน เพื่อส่งข้อมูลให้สถานีหลัก (Master Station) ที่สำนักงานโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ซึ่งรายละเอียดการออกแบบจะได้กล่าวถึงในหัวข้อ 4.4.2 ต่อไป

ในช่วงที่ดำเนินการวิจัยทางโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ได้ใช้เงินงบประมาณจ้างเหมาบริษัทเอกชนมาดำเนินการติดตั้งระบบ SCADA ที่ ปตร. ปากคลอง 5 L-2L กม. 0+012 โดยระบบ SCADA ดังกล่าว ใช้ระบบสื่อสารผ่าน GPRS

การทดสอบการใช้งานของระบบคลองอัตโนมัติ ในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จะแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 คือ การติดตั้งระบบคลองอัตโนมัติและทดสอบการทำงานในระบบโทรมาตร

ระยะที่ 2 คือ การทดสอบการทำงานในระบบอัตโนมัติ

นอกจากนี้ ทางกรมชลประทานมีแผนจะสนับสนุนงบประมาณติดตั้งประตูยนต์เพิ่มเติมอีก 6 ตัว โดย 3 ตัวแรกจะติดตั้งในคลอง 2 L เพื่อช่วยตรวจวัดและควบคุมการส่งน้ำจากเขื่อนแม่กลองเข้าสู่คลองสายใหญ่ 2 L ให้โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองที่น้อง และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน และติดตั้งประตูยนต์เพิ่มอีก 3 ตัว ในคลองซอย 5L-2L กม. ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ตำแหน่งที่จะติดตั้งประตูยนต์เพิ่มเติมแสดงอยู่ในตารางที่ 4.6 เนื่องจากคลองส่งน้ำ 2L เป็นคลองขนาดใหญ่ มีความจุช่วงต้นคลองกว่า 80 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ประตูระบายมีบานระบาย มากกว่า 2 บาน ทำให้ประตูยนต์รุ่นที่ 5 มี port ไม่พอในการรับและส่งสัณญาน จึงได้ปรับปรุงประตูยนต์เพื่อรองรับประตูระบายน้ำขนาดใหญ่ดังกล่าว

ตารางที่ 4.6 สถานที่ที่จะติดตั้งประตูยนต์เพิ่มเติม

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา	สถานที่ติดตั้งประตูยนต์เพิ่มเติม
พนมทวน	ปตร.ปากคลอง 2L กม. 0+000
พนมทวน	ปตร.กลางคลอง 2L กม. 10+300
บางเลน	ปตร.ปลายคลอง 2L กม. 49+750
สองพี่น้อง	ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 14+750
สองพี่น้อง	ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 26+401
สองพี่น้อง	ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 33+664

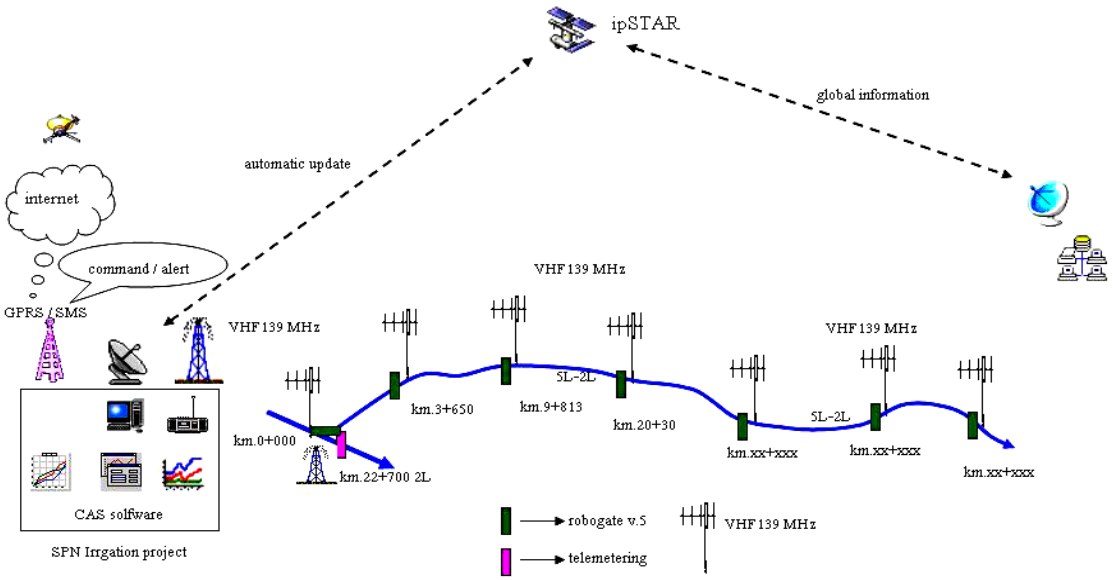
การติดตั้งประตูยนต์เพิ่มเติมอีก 6 แห่ง จะใช้งบประมาณของกรมชลประทานเป็นหลัก และคาดว่าจะติดตั้งประตูยนต์เพิ่มเติมและเริ่มทดสอบการใช้งานได้ในช่วงปลายปี พ.ศ.2552 แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

ระยะเวลาและจำนวนงบประมาณที่กรมชลประทานจะสามารถจัดสรรเพื่อการติดตั้งประตูยนต์เพิ่มเติม ในคลองดังกล่าว

4.4.2 การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติสำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

(1) แนวคิดในการออกแบบ

ระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ถูกออกแบบโดยใช้ระบบ Low Cost SCADA (Sohag and Mahessar. 2004) และระบบประตูยนต์ (วราวุธและวิชญ์. 2547) ให้ทำงานร่วมกัน และถูกออกแบบในลักษณะ plug and play (Clemrnens, Feuer and Strand. 1998) คือ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ (ฮาร์ทแวร์) ใหม่เข้ากับอุปกรณ์เดิมจะสามารถใช้งานได้ทันที หลักการทำงานของระบบคลองอัตโนมัติ คือประตูยนต์จะทำหน้าที่เป็นสถานีลูกข่าย (Remote Terminal Unit, RTU) ในการตรวจวัดระดับน้ำหน้า-ท้าย ปตร. กลางคลอง และควบคุมการเปิด –ปิด ปตร. กลางคลองเพื่อรักษาระดับน้ำในคลองให้อยู่ที่ระดับ FSL แบบอัตโนมัติ พร้อมรายงานข้อมูลเข้าสู่สถานีแม่ข่าย (Main Station) ซึ่งติดตั้งที่สำนักงานที่หัวงานของโครงการ โดยระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF ส่วนระบบ Low Cost SCADA จะช่วยควบคุม ปตร. ปากคลองให้ส่งน้ำตามความต้องการของคลองสายนั้น หรือช่วยจัดสรรน้ำเข้าคลองตามปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ ในการทดสอบการใช้งานระบบคลองอัตโนมัติที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ได้เลือกคลองส่งน้ำสาย 5L-2L ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำสายหลักของโครงการ โดยในปี 2549 ได้ติดตั้งประตูยนต์รุ่น 5 จำนวน 3 ตัว ที่ กม. 3+650 , 9+813 และ 20+300 เพื่อให้ทำงานร่วมกับระบบ Low Cost SCADA ของโครงการ ที่ ควบคุม ปตร. ปากคลอง ที่ กม.0+012 หลังจากนั้นใน ปี 2550 จะขยายการติดตั้งประตูยนต์เพิ่มทั้งในส่วนของคลองสายใหญ่ 2 L และ ในคลองแยกซอย 2R-5L-2L คอมพิวเตอร์แม่ข่ายทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางควบคุมเรียกสถานีลูกข่ายและรับข้อมูล พร้อมทำการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลใน data logger ฐานข้อมูลนี้เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายภายในและ ส่งข้อมูล เข้าเครือข่าย Internet มีระบบเตือนเป็นข้อความ SMS ไปที่โทรศัพท์มือถือของเจ้าหน้าที่เกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แนวคิดในการออกแบบระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ระยะที่ 2

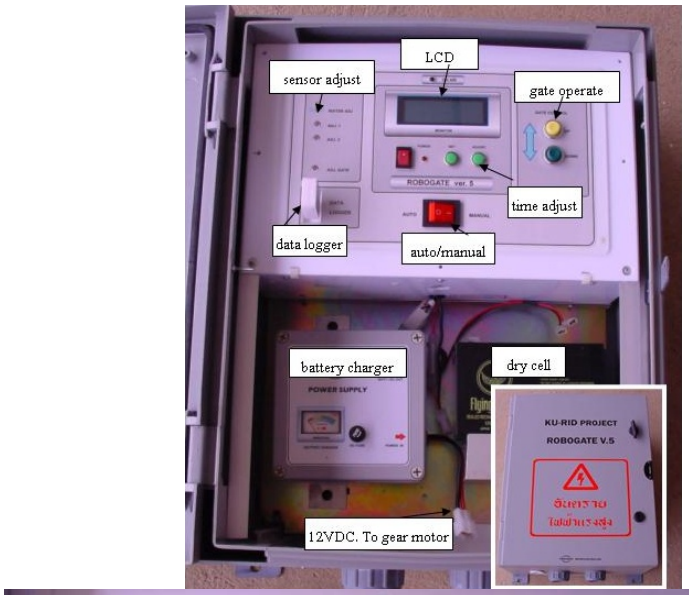
(2) การพัฒนาประตูยนต์รุ่น 5

ประตูยนต์รุ่น 5 เป็นรุ่นล่าสุดที่พัฒนาขึ้นในช่วงปี 2549 เพื่อใช้งานที่ระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำบำรุงรักษาสองพี่น้องและวิทยาเขตกำแพงแสน โดยมีรายละเอียด ดังนี้ (ดูรูปที่ 4.1 5 ประกอบ)

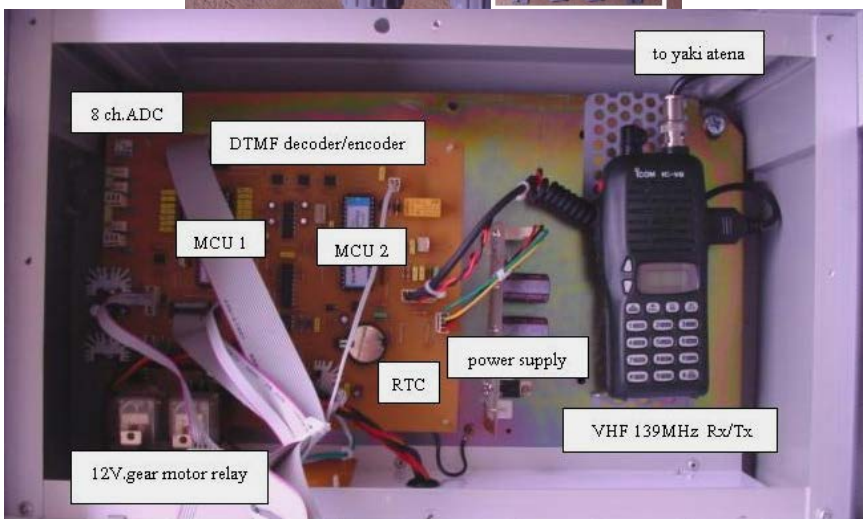
- สื่อสารด้วยระบบวิทยุสื่อสารได้ทั้งย่าน CB และ VHF โดยใช้ DTMF (Dual Tone Multi-frequency Encoder Data) แทน Packet Radio เนื่องจากการรับ-ส่งวิทยุแบบ Packet Radio ที่กำลังส่งต่ำๆ จะเกิดการรบกวนของคลื่นสัญญาณสูง
- ใช้ Chip 2 ตัวช่วยกันทำงาน คือ chip AVR 32 KB (MCU1) และ Chip PIC 8 Kwords (MCU2) ดังรูปที่ 4.16 โดยออกแบบให้ AVR หรือ MCU1 ทำหน้าที่ในการตรวจวัด มี ADC 8 ช่องสัญญาณ สามารถรับสัญญาณจาก Sensor 4 ตัว และอีก 4 ช่อง สำหรับติดตั้ง Timpot เพื่อปรับค่าละเอียดจากการตรวจวัดของ Sensor และควบคุม MCC ได้ 1-2 ช่อง ส่วน PIC หรือ MCUใช้สำหรับการสื่อสารผ่านระบบวิทยุ ผ่าน Frequency- Digital Conventer และรับสัญญาณจากเครื่องมือวัดน้ำฝน ผ่าน Digital Input Port ซึ่งมีความเร็วในการตรวจวัด เป็นหนึ่งส่วนล้านวินาที (micro-second)
- ปรับการทำงานได้ทั้งโมด Auto และ Manual
- ใช้ แบตเตอรี 12 V สามารถเลือกการชาร์ทแบตเตอรีโดยใช้ Solar Cell หรือ ไฟฟ้า AC ได้

- เขียน Software ควบคุมโดยใช้ภาษา Basic ของ PIC Basic Pro Compiler สำหรับ PIC และใช้ BASCOM-AVR Compiler สำหรับ AVR
- มี RTC (Real Time Clock รุ่น DS1307) แทนการนับลูป
- มี Datalogger ขนาด 256 kb แบบทำเอง โดยใช้ Chip 24LC128 (ดูรูปที่ 4.19)
- มี Port สำหรับการเชื่อมต่อ Internet ด้วย GPRS ได้
- มี LCD ขนาด 4x20 สำหรับการแสดงผลตรวจวัดระดับน้ำมีหน่วยเป็น รทก. ระยะเปิดประตูมีหน่วยเป็นเมตร เวลาจริงของเครื่อง และโหมดการทำงาน MCU1

รายละเอียดวงจร และ PCB ของประตูยนต์รุ่น 5 แสดงอยู่ในรูปที่ 4.17 และ 4.18

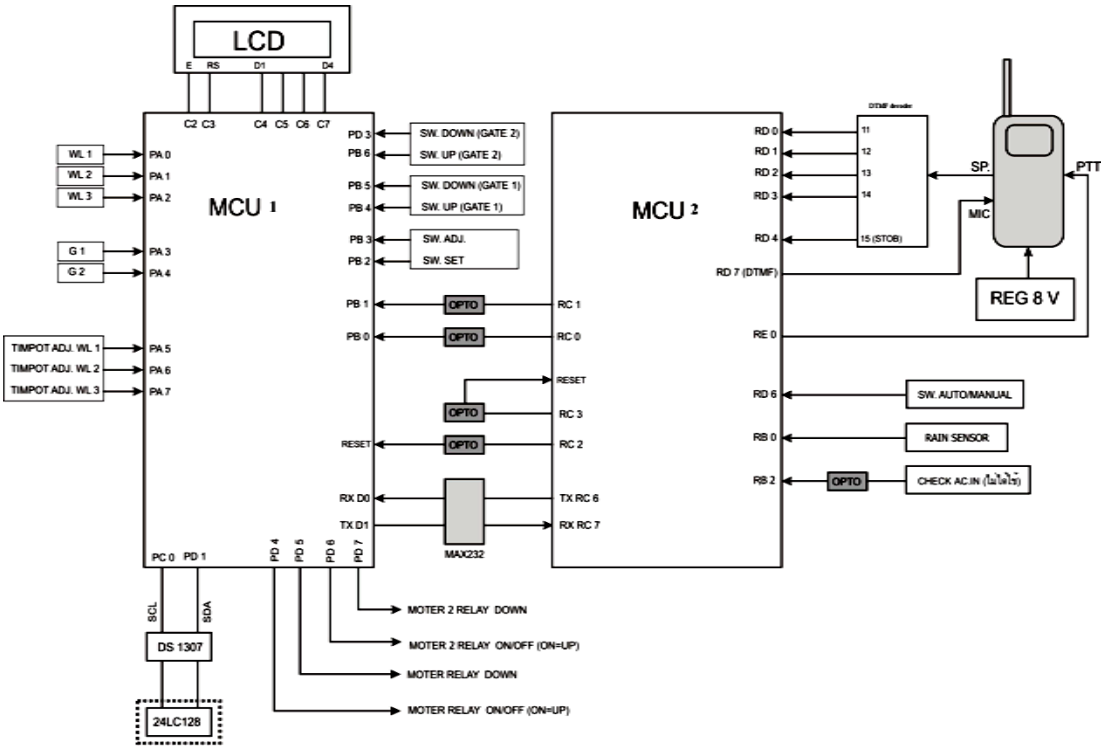


(1) ประตูยนต์รุ่น 5

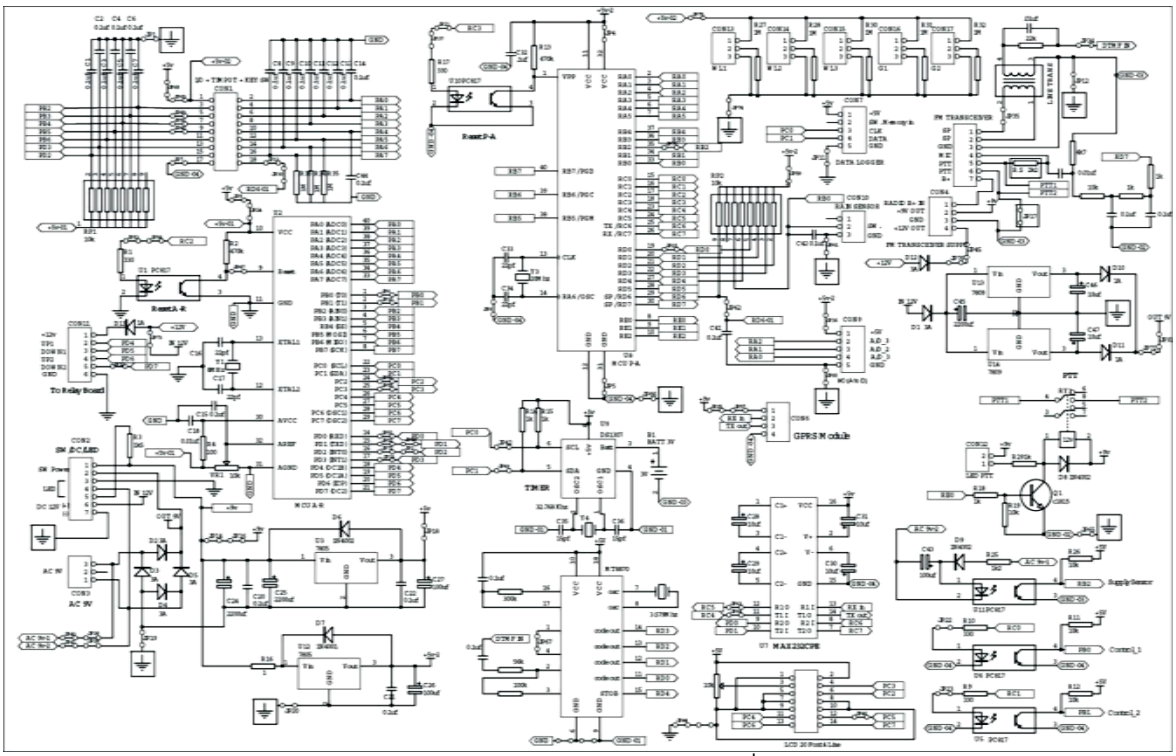


(2) อุปกรณ์ภายในประตูยนต์รุ่น 5

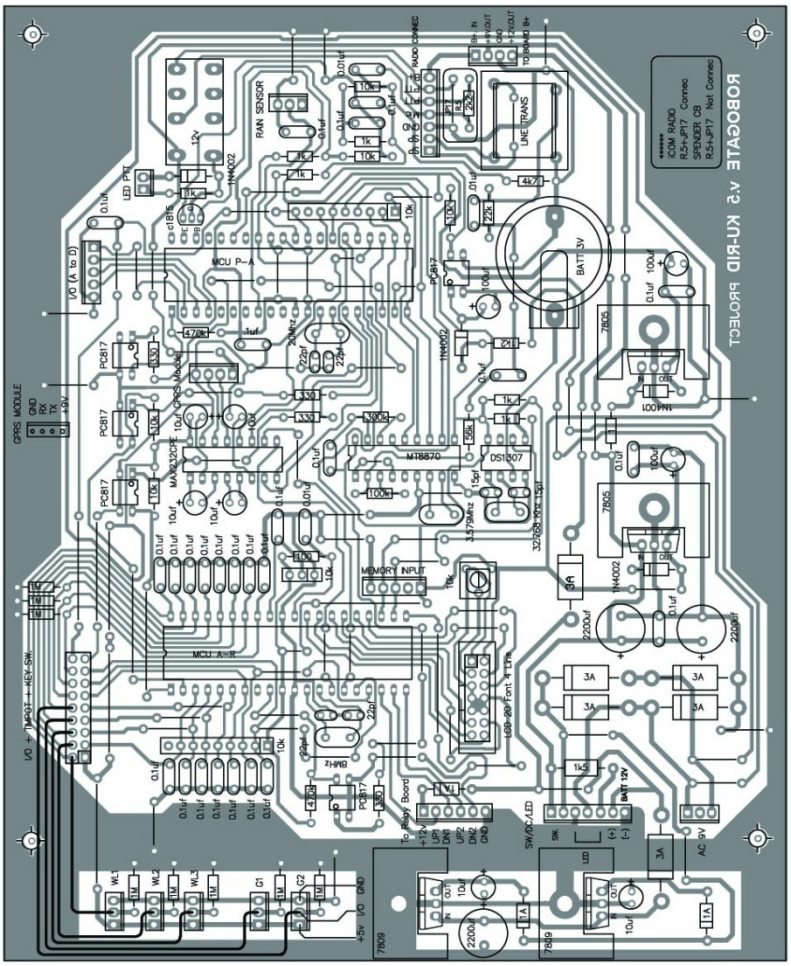
รูปที่ 4.15 ประตูยนต์รุ่น 5 และ รายละเอียดอุปกรณ์



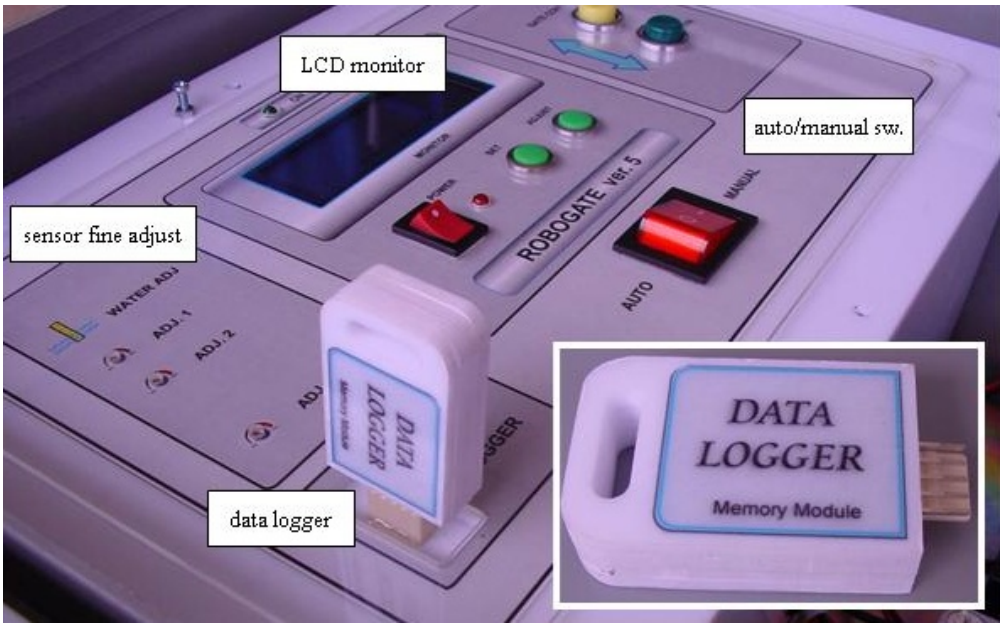
รูปที่ 4.16 ผังอุปกรณ์ประตูยนต์รุ่นที่ 5 (Robogate Version 5)



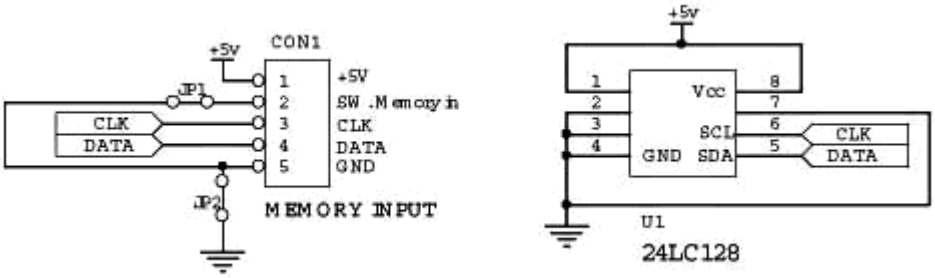
รูปที่ 4.17 วงจรประตูยนต์รุ่นที่ 5



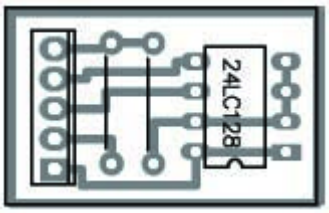
รูปที่ 4.18 PCB ประตูยนต์รุ่นที่ 5



(1) data logger



(2) รายละเอียดแผงวงจร



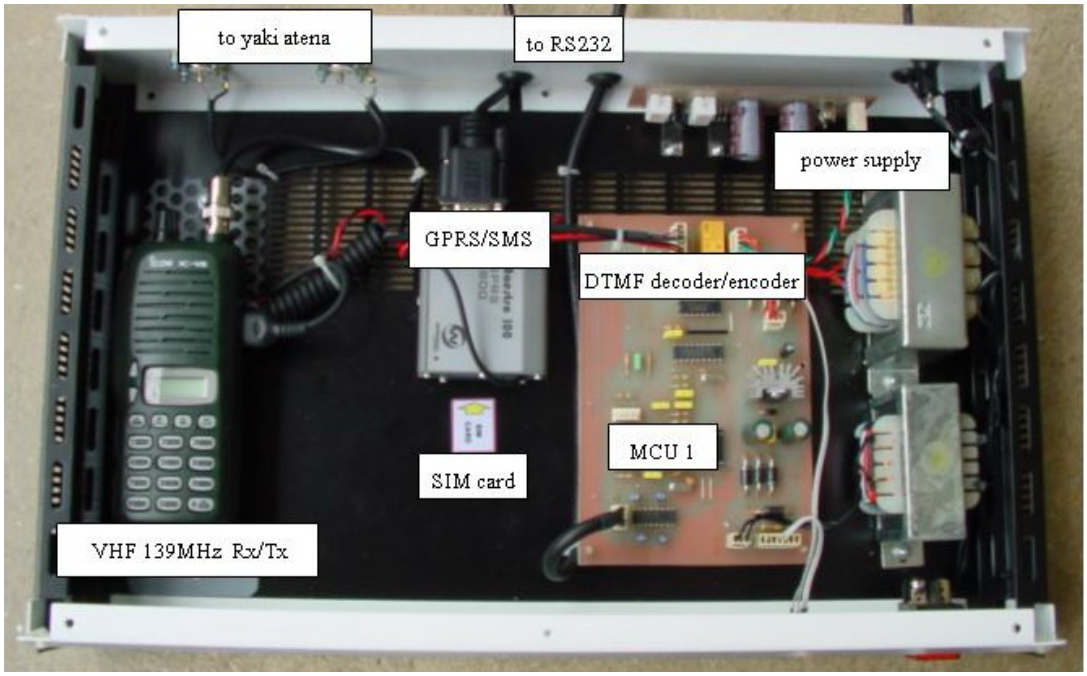
(3) PCB ของ data logger

รูปที่ 4.19 รายละเอียด data logger

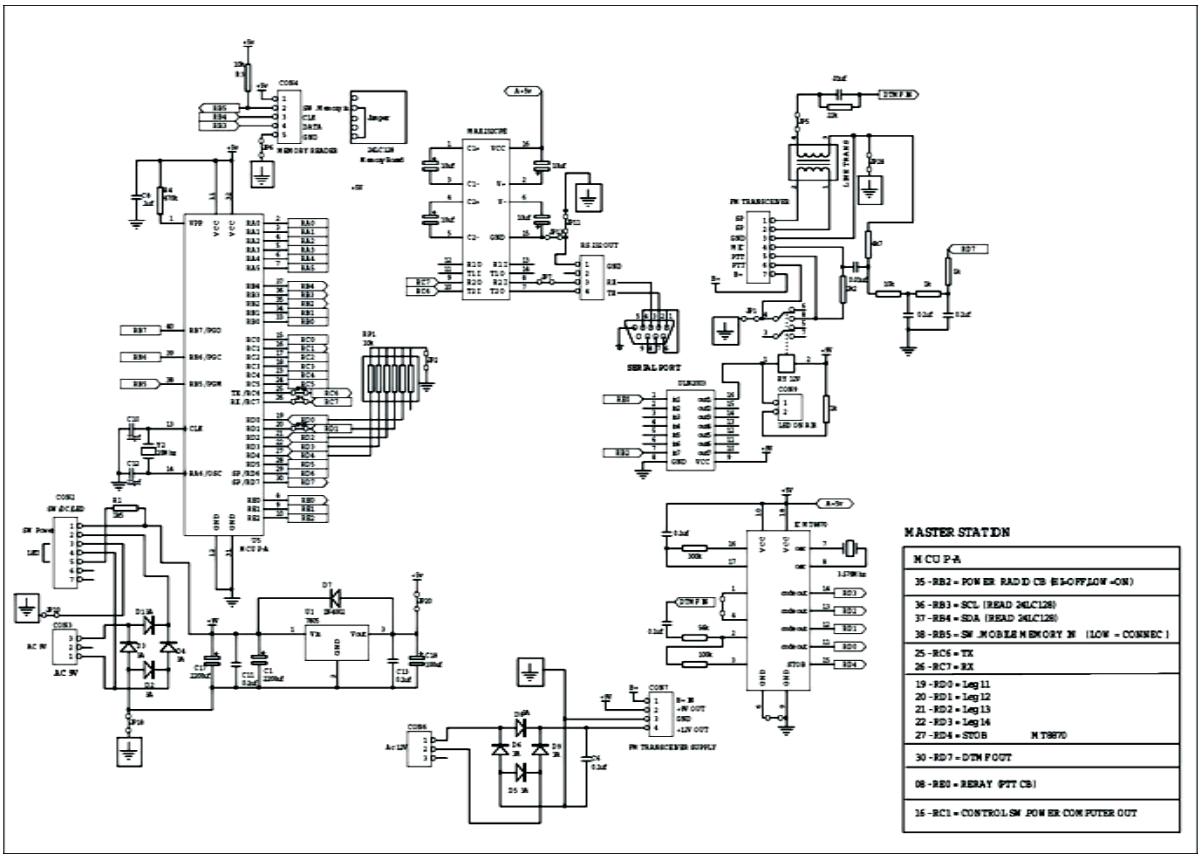
(3) การพัฒนา Canal Automation Interface

Canal Automation Interface ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับสถานีลูกข่าย ถูกออกแบบโดยใช้ chip PIC ขนาด 8 Kwords 1 ตัว สื่อสารกับสถานีลูกข่าย (ประตูยนต์) ผ่านระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF โดยใช้ความถี่ 139.00 ของกรมชลประทาน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 50 ช่องสัญญาณย่อย โดยใช้ระบบ CTSS (Continuous Tone Coded Squelch System) กำหนดให้การรับส่งข้อมูลใช้ ช่องที่ 1 ที่ 67Hz แบบ Analog เพื่อลดคลื่นรบกวน เนื่องจากระบบคลองอัตโนมัติใช้วิทยุสื่อสารที่มีกำลังวัตต์ต่ำ (5 W) นอกจากนี้ Canal Automation Interface ที่พัฒนาขึ้นยังได้ติดตั้ง GPRS เพื่อการเชื่อมต่อกับ Internet Canal Automation Interface มีลักษณะดังรูปที่ 4.20 มีผังอุปกรณ์ และ Printed Circuit Board (PCB) ดังแสดงในรูปที่ 4.21

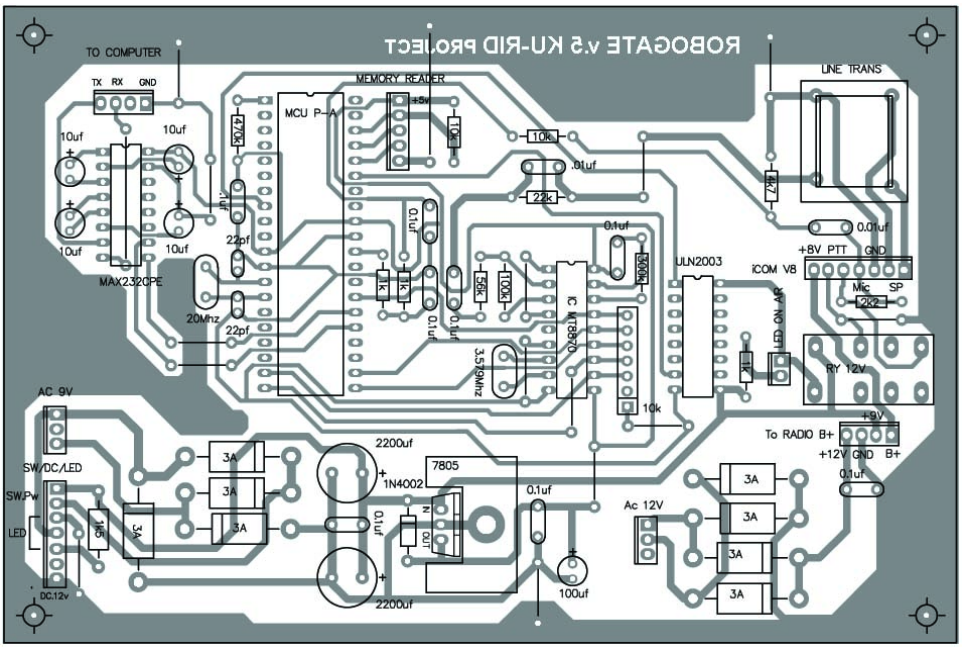
วิทยุสื่อสารที่ใช้ที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องเป็นวิทยุสื่อสาร ICOM V8 ขนาด 5 W เสาอากาศที่แม่ข่ายถูกออกแบบเป็นแบบ Folded Dipole 4 Steks โดยติดตั้งที่เสาอากาศของโครงการ ส่วนสถานีลูกข่าย (RTU) ใช้วิทยุสื่อสาร ICOM V 8 ขนาด 5 W เช่นเดียวกันกับสถานีแม่ข่าย แต่เสาอากาศที่สถานีลูกข่ายเป็นเสาอากาศแบบยากิ (Yaki) แบบ 5E สูง 9 เมตร



รูปที่ 4.20 อุปกรณ์ Canal Automation Interface



(1) ผังอุปกรณ์ Canal Automation Interface



(2) Printed Circuit Board ของ Canal Automation Interface

รูปที่ 4.21 ผังอุปกรณ์ และ PCB ของ Canal Automation Interface

Canal Automation Interface ในรูปที่ 4.20 มีหลักการทำงานที่สำคัญคือระบบการแปลงตัวเลขหรือคำสั่งให้เป็นความถี่ ซึ่งเรียกว่า ระบบ Dual Tone Multi Frequency(DTMF) ที่มีวงจรสร้างความถี่ ซึ่งความถี่ที่ถูกสร้างแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มความถี่ต่ำ และ กลุ่มความถี่สูง ความถี่ DTMF ที่ถูกกรองเรียบร้อยแล้ว จะผ่านเข้าวงจรถอดรหัสความถี่ออกเป็นตัวเลข โดยใช้เทคนิคการอ่านแบบดิจิตอล และมีการตรวจสอบความถี่ที่เข้ามาว่าเป็นความถี่มาตรฐานของ DTMF หรือไม่ เมื่อการตรวจสอบพบว่าเป็นความถี่ที่ถูกต้องแล้ว สัญญาณที่ขา Stobe ของวงจรรับจะมีค่าเท่ากับ 1 ค่าการถอดรหัส แสดงอยู่ใน ตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่ารหัสที่ถอดได้จากความถี่ DTMF

Low frequency	**High frequency**	**เลขฐาน** 16	**เลขฐาน** 2				**Format**
			D_3	D_2	D_1	D_0	
697	1209	1	0	0	0	1	1
697	1336	2	0	0	1	0	2
697	1477	3	0	0	1	1	3
770	1209	4	0	1	0	0	4
770	1336	5	0	1	0	1	5
770	1447	6	0	1	1	0	6
852	1209	7	0	1	1	1	7
852	1336	8	1	0	0	0	8
852	1447	9	1	0	0	1	9
941	1336	0	1	0	1	0	0
941	1209	A	1	0	1	1	stop
941	1477	B	1	1	0	0	call
697	1633	C	1	1	0	1	station
770	1633	D	1	1	1	0	end
852	1633	E	1	1	1	1	:
941	1633	F	0	0	0	0	.

จากตารางการถอดรหัสจะได้เป็นเลขฐาน 16 ที่มีค่าระหว่าง 1 – F และเลขฐานสอง จากนั้นนำมา Format ใหม่ตามต้องการ คือยังคงค่าตัวเลข 0 – 9 ไว้ เลือกตัวเลขอื่นเป็นกลุ่มคำสั่งควบคุม หรืออักษรพิเศษ

กลุ่มคำสั่งจะส่งผ่านวิทยุรับ-ส่ง VHF เรียกสถานีลูกข่ายโดยเข้ารหัส DTMF(DTMF encoder) และรอข้อมูลจากสถานีลูกข่ายเพื่อถอดรหัส DTMF (DTMF decoder) ตามตารางที่ 4.14 ระบบการคัดแยกช่องความถี่ใช้ CTCSS ในช่องที่ 1 ที่ 67 Hz

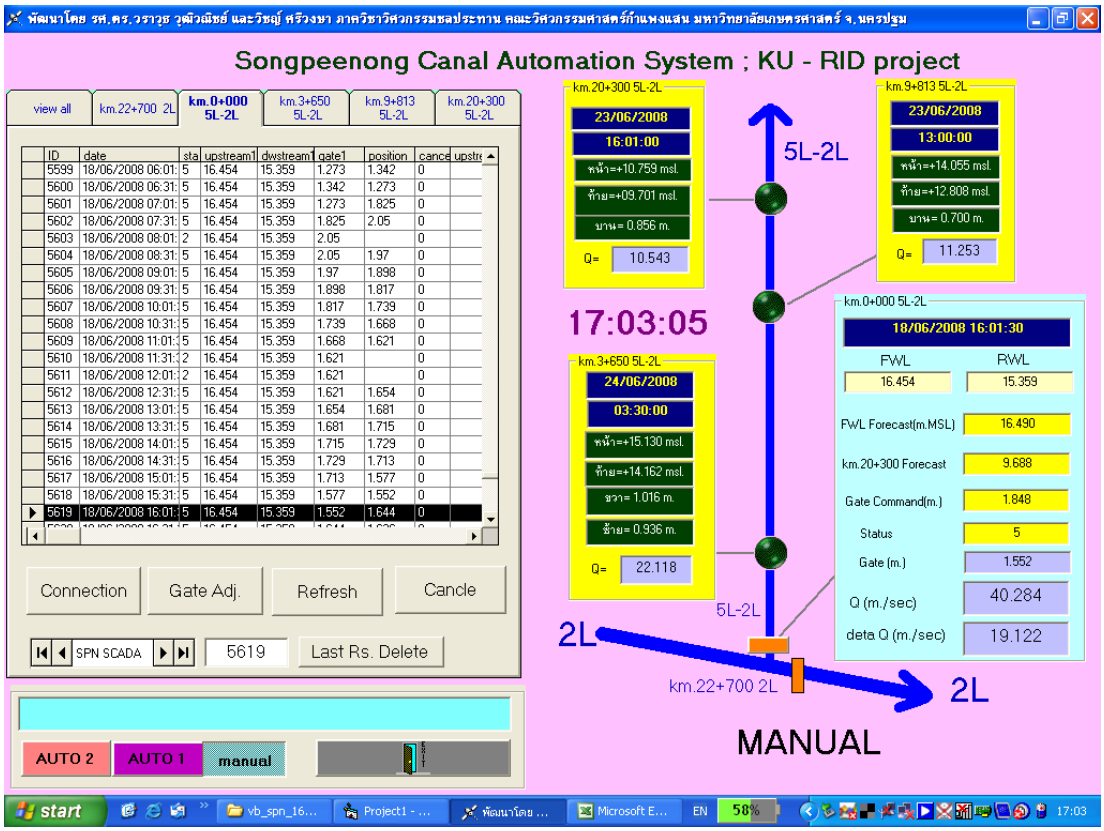
(4) การพัฒนาซอฟท์แวร์ควบคุมระบบคลองอัตโนมัติ

ทำการพัฒนาซอฟท์แวร์ควบคุมระบบ Canal Automation โดยตั้งชื่อว่า SPN CAS ซึ่งมีโปรแกรมย่อยแสดงผลข้อมูลเป็นกราฟระดับน้ำ ปริมาณน้ำ ระยะเปิดประตูระบายน้ำ ย้อนหลัง 1 วัน 7 วัน 1 เดือน และของข้อมูลทั้งหมด มีโปรแกรมย่อยส่งข้อความ SMS และมี Option โปรแกรมย่อยส่งข้อมูลผ่านระบบ GPRS หรือโปรแกรมย่อยส่งข้อมูลผ่านดาวเทียม ipSTAR

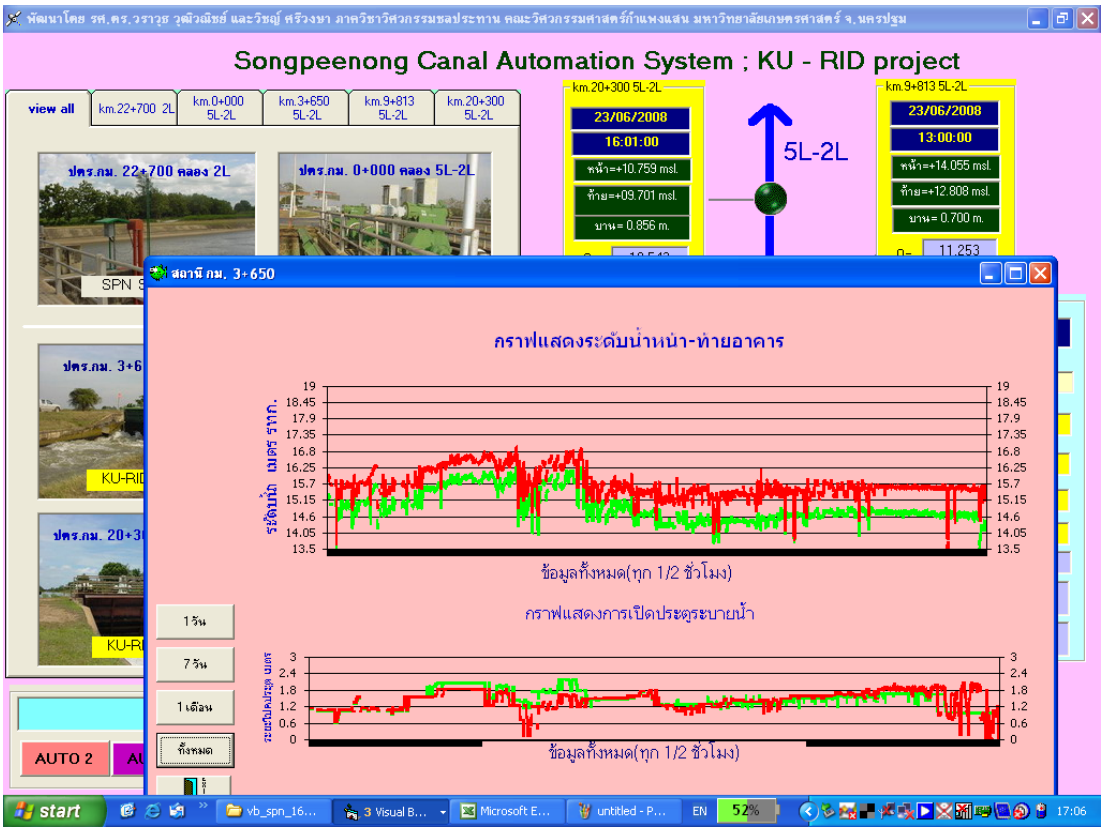
ซอฟท์แวร์ระบบคลองอัตโนมัติแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

(4.1) ซอฟท์แวร์ควบคุมประตูยนต์ ซึ่งกำหนดให้อ่านข้อมูลระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำ ท้ายน้ำและขนาดการเปิดบานแบบตลอดเวลา แล้วบันทึกข้อมูลลง datalogger ทุก 30 นาที โดยใช้ datalogger ขนาด 256 KB ซึ่งจะสามารถบันทึกข้อมูลได้ต่อเนื่องกันถึง 133 วัน

(4.2) ซอฟท์แวร์ที่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย ซึ่งจะเรียกข้อมูลจากประตูยนต์ หรือ RTU แบบอัตโนมัติทุก 30 นาที แล้วเก็บบันทึกข้อมูลในรูปแบบฐานข้อมูล Access ลงใน Harddisk อย่างไรก็ตาม Operator สามารถเรียกดูข้อมูลแบบ Real Time ของแต่ละสถานีได้ตลอดเวลา ซอฟท์แวร์ที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายสามารถแสดงผลได้ 3 ลักษณะ คือ (1) ข้อมูลระดับน้ำ ขนาดการเปิดบานและ อัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร. ของแต่ละสถานี (2) ฐานข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ใน datalogger และ (3) กราฟระดับน้ำ ขนาดการเปิดบานและ อัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร. ของแต่ละสถานี ดูรายละเอียดการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ ในรูปที่ 4.22 และ 4.23



รูปที่ 4.22 การแสดงผลบนหน้าจอของคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

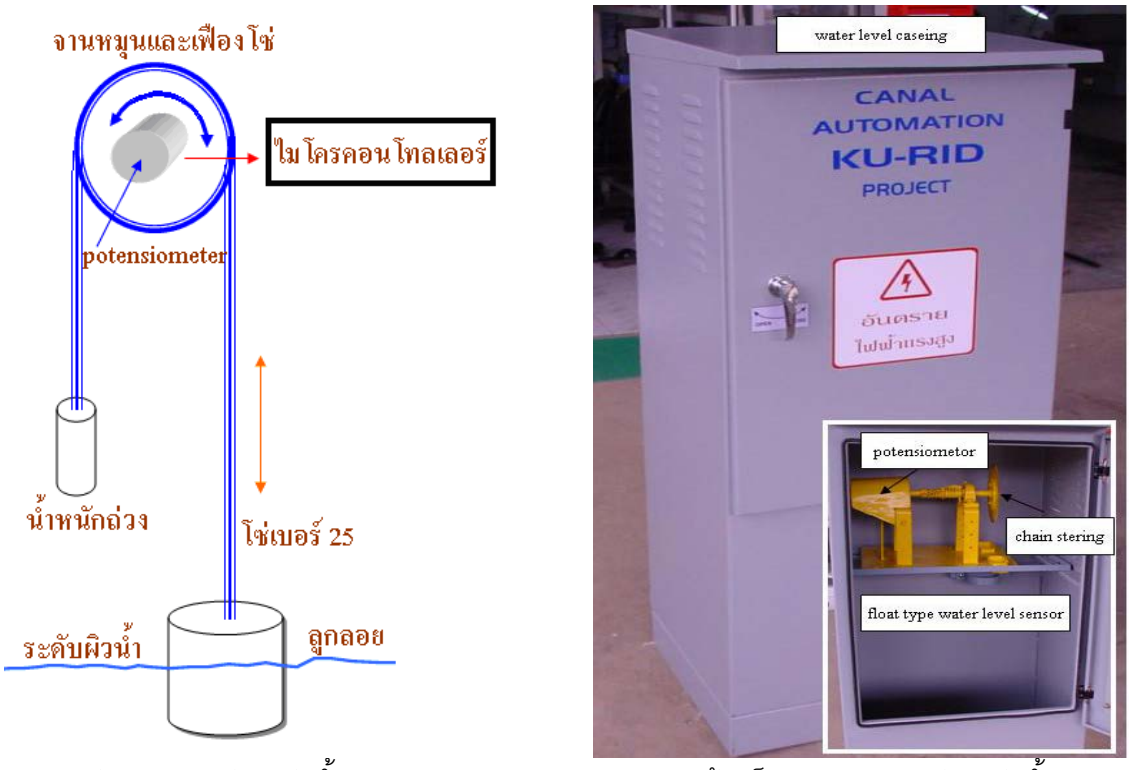


รูปที่ 4.23 ตัวอย่างกราฟแสดงผลของ SPN CAS

(5) อุปกรณ์อื่น ๆ

(5.1) อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำในคลอง (Water Level Sensor)

อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำหรือ Water Level Sensor ใช้ Potensiometer ต่อพ่วงกับแกนหมุนที่ติดตั้งจานเฟืองโซ่เบอร์ 25 ที่ปลายโซ่ติดตั้งลูกลอยสำหรับวัดระดับน้ำ อีกด้านหนึ่งคือหนักถ่วง ดัง รูปที่ 4.24(1) แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จะแปรผันแบบเชิงเส้นกับระดับน้ำที่ตรวจวัด ซึ่งจะส่งให้ไมโครคอนโทลเลอร์ตัวแรกใน Robogate 5.0 แปลงเป็นดิจิตอลเพื่อบันทึกใน Datalogger และส่งให้สถานีแม่ข่ายต่อไป อุปกรณ์วัดระดับน้ำ จะติดตั้งในตู้เหล็ก ดังรูปที่ 4.2 4(2) ซึ่งตู้เหล็กดังกล่าวจะติดตั้งอยู่เหนือบ่อน้ำนิ่ง (Stilling Basin)

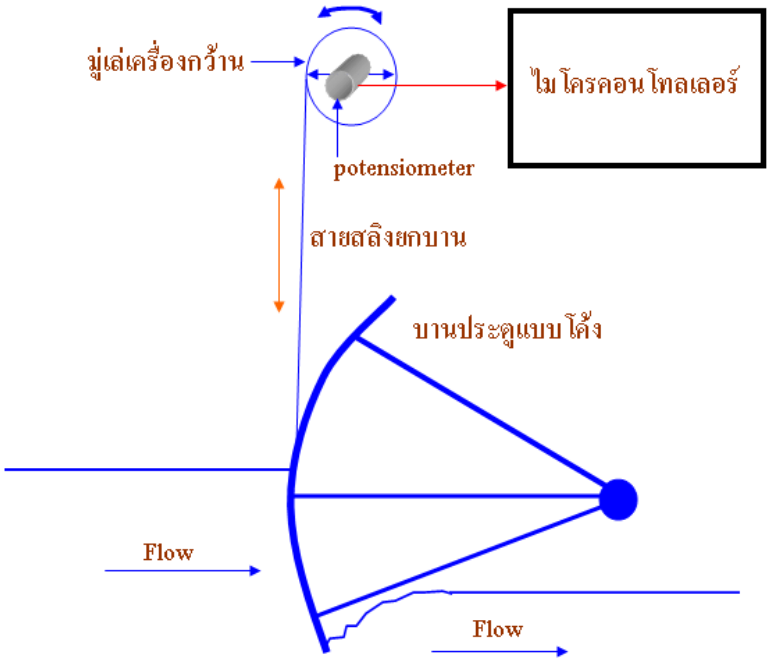


(1) หลักการตรวจวัดระดับน้ำแบบลูกลอย (2) ตู้เหล็กและ Sensor วัดระดับน้ำ

รูปที่ 4.24 อุปกรณ์วัดระดับน้ำในคลอง

(5.2) **อุปกรณ์ตรวจวัดระยะการเปิดบาน** (Gate Positioning Sensor)

อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดระยะการเปิดประตูระบายน้ำ (Gate Position) ใช้ Potensiometer ต่อพ่วงกับแกนหมุนเครื่องกว้านยกบานประตู ดัง รูปที่ 4.25 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะแปรผันแบบเชิงเส้นกับระยะเปิดบานประตู ซึ่งจะ ส่งให้ไมโครคอนโทลเลอร์ตัวแรกใน Robogate 5.0 แปลงเป็นดิจิตอลเพื่อบันทึกใน Datalogger และส่งให้สถานีแม่ข่ายต่อไป ในทำนองเดียวกับอุปกรณ์วัดระดับน้ำ

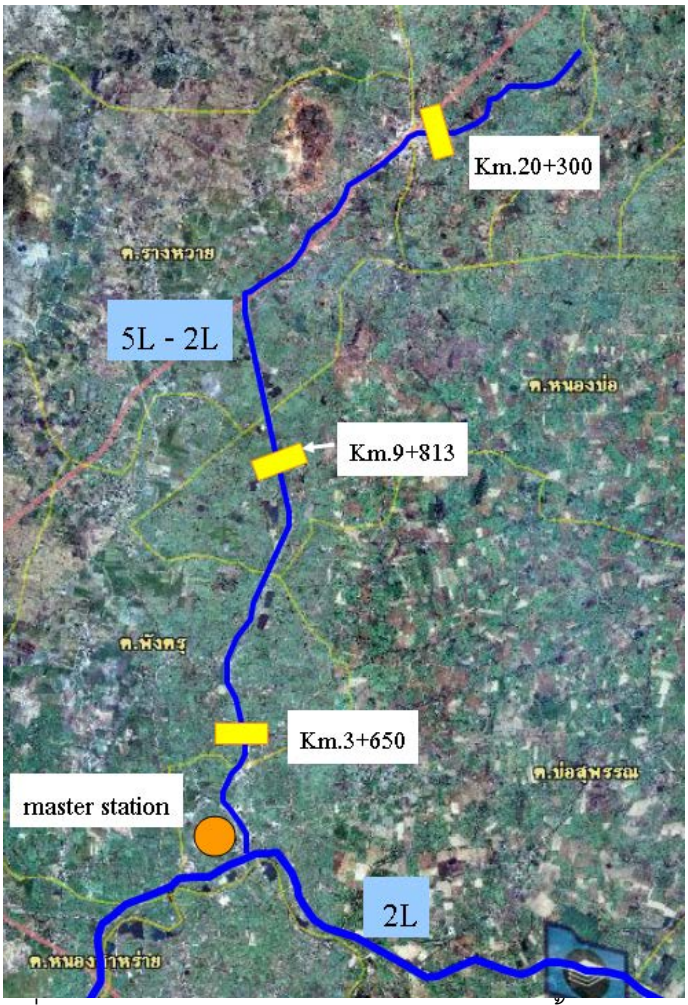


รูปที่ 4.25 หลักการตรวจวัดระยะการเปิดประตูระบาย

(6) **การติดตั้งอุปกรณ์ระบบคลองอัตโนมัติ**

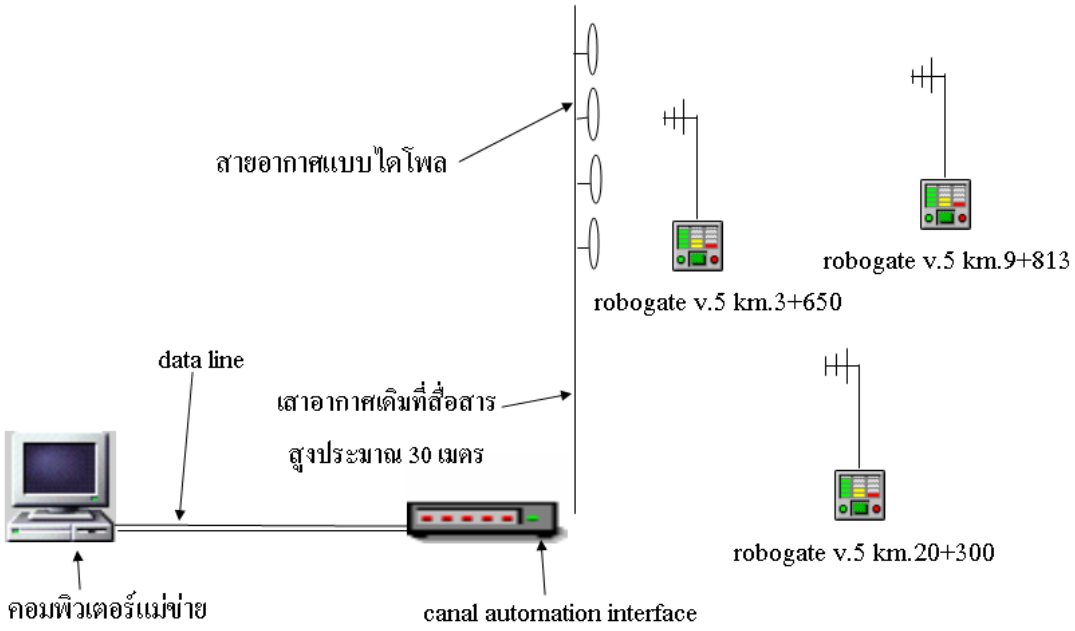
ตามที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.4.2 (1) ในระยะแรกจะติดตั้งประตูยนต์ พร้อมอุปกรณ์ ที่ ปตร.กลางคลอง 3 แห่ง ในคลอง 5L-2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ดังรูปที่ 4.26

ในการติดตั้งอุปกรณ์ระบบคลองอัตโนมัติที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จะแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้



รูปที่ 4.26 แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ในคลอง 5L-2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ส่วนที่ 1 คือการติดตั้งอุปกรณ์ที่สถานีแม่ข่าย (Master Station) ในบริเวณที่ทำการโครงการ โดยติดตั้งแผงสายอากาศแบบไดโพลที่เสาอากาศระยะความสูง 25 เมตร (อยู่ต่ำกว่าแผงสายอากาศโครงการเดิมประมาณ 1 เมตร) ต่อ สายนำสัญญาณมาที่ห้องสื่อสารต่อเข้ากับ Canal Automation Interface ก่อนต่อสายสัญญาณไปที่สำนักงานโครงการซึ่งห่างออกไปประมาณ 300 เมตร และ เชื่อมต่อด้วยพอร์ตแบบ Serial เข้ากับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย(ดังรูปที่ 4.27) โดยใช้คอมพิวเตอร์ ความเร็ว CPU 2.8 GHz HDD. 40 GB. RAM 512 MB พร้อมติดตั้งซอฟท์แวร์ SPN-CAS ที่พัฒนาไว้ สภาพของห้องควบคุมที่สถานีแม่ข่ายของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง แสดงอยู่ในรูปที่ 4.28 สถานีแม่ข่ายสามารถเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ Internet เพื่อการ Upload ขึ้น Server โดยใช้ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ipstar ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.27 การติดตั้งอุปกรณ์ที่สถานีแม่ข่าย (Master Station)

PC Starter ทำหน้าที่ตรวจสอบ AC line power และกระแสไฟภายในคอมพิวเตอร์ และคอยกดปุ่มเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แทนคน

รูปที่ 4.28 สภาพของห้องควบคุมที่สถานีแม่ข่ายของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

อุปกรณ์เชื่อมต่อจานดาวเทียมกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

รูปที่ 4.29 การติดตั้งจานรับ-ส่งข้อมูลผ่านดาวเทียม ipstar

ส่วนที่ 2 การติดตั้งประตูยนต์ อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมบานประตูระบายที่สถานีลูกข่าย (RTU) ที่ ประตูระบายน้ำกลางคลอง 5L-2L จำนวน 3 แห่ง คือที่ กม. 3+650, 9+813 และ 20+300 โดยแต่ละแห่งมีการติดตั้งประตูยนต์และอุปกรณ์ ในลักษณะเดียวกัน ดังรูปที่ 4.30

รูปที่4.30 ลักษณะการติดตั้งประตูยนต์และอุปกรณ์ประกอบที่สถานีลูกข่ายโดยทั่วไป

รูปที่ 4.31 แสดงการติดตั้งประตูยนต์รุ่น 5 และอุปกรณ์ ประกอบเพื่อทำหน้าที่เป็นสถานีลูกข่าย ที่ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม.3+650 ในระยะแรก เนื่องจากบริเวณ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 3+650 ไม่มีกระแสไฟฟ้า จึงใช้แผงโซล่าเซลแปลงพลังงานแสงแดดเป็นไฟฟ้าเก็บสำรองไว้ในแบตเตอรี่ 12 V. และในระยะที่สองได้ดำเนินการติดตั้งระบบเกียร์มอเตอร์ ซึ่งใช้พลังงานจากแผงโซล่าเซล ดังแสดงในรูปที่ 4.32

รูปที่ 4.31 ภาพสถานีลูกข่าย ที่ ปตร. กลางคลอง 5L-2L กม. 3+650 ก่อนติดตั้ง Gear Motor

รูปที่ 4.32 ภาพการติดตั้งเกียร์มอเตอร์และ แผงแผงโซล่าเซล ที่สถานีลูกข่าย ที่ ปตร. กลางคลอง 5L-2L กม. 3+650

รูปที่ 4.33 แสดงการติดตั้งประตูยนต์รุ่น 5 และอุปกรณ์ ประกอบเพื่อทำหน้าที่เป็นสถานีลูกข่าย ที่ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม.9+813 รูปที่ 4.34 แสดงการติดตั้งบ่อน้ำนิ่งและอุปกรณ์ วัดระดับน้ำที่ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม.9+813

รูปที่ 4.35 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดการเปิดบาน (Gate Positioning Sensor) โดยใช้ Potensiometer ต่อพ่วงกับแกนหมุนเครื่องกว้านยกบานประตูเพื่อตรวจวัดระยะการเปิดประตูระบายน้ำ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก Potensiometer จะแปรผันแบบเชิงเส้นกับระยะการเปิดบานประตู

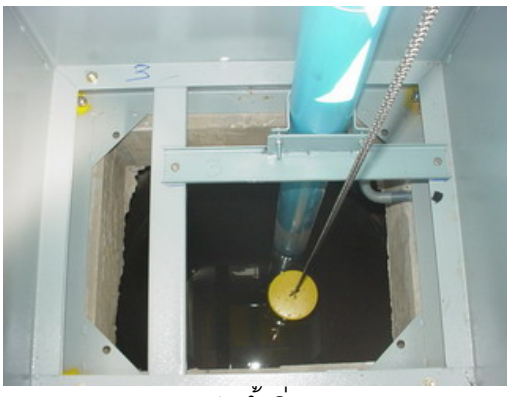
รูปที่ 4.36 แสดงการติดตั้งประตูยนต์รุ่น 5 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ อุปกรณ์ตรวจวัดระยะการเปิดบาน และ เกียร์มอเตอร์ โดยใช้โซล่าเซลเป็นแหล่งพลังงาน เพื่อทำหน้าที่เป็นสถานีลูกข่าย ที่ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 20+300

รูปที่ 4.33 ภาพสถานีลูกข่าย ที่ ปตร. กลางคลอง 5L-2L กม. 9+813

ตำแหน่งตู้ใส่อุปกรณ์วัดระดับน้ำ ซึ่งตั้งอยู่ด้านเหนือน้ำของ ปตร. กลางคลอง

ตำแหน่งตู้ใส่อุปกรณ์วัดระดับน้ำ ซึ่งตั้งอยู่ด้านเหนือน้ำของ ปตร. กลางคลอง

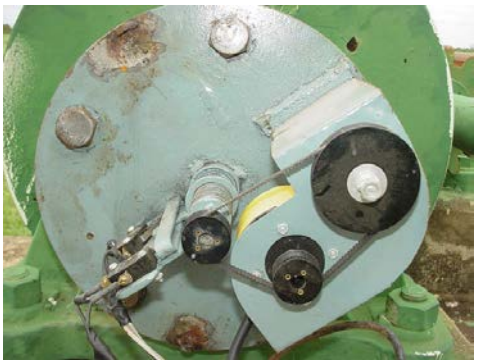
การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำในในบ่อน้ำนิ่ง



บ่อน้ำนิ่ง

บ่อน้ำนิ่งต่อเชื่อมกับคลองด้วยท่อ PVC ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว

รูปที่ 4.34 บ่อน้ำนิ่งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของ ปตร. กลางคลอง 5L-2L กม. 9+813



รูปที่ 4.35 การติดตั้งอุปกรณ์วัดการเปิดบาน (Gate Positioning Sensor) ที่ ปตร. กลางคลอง 5L-2L กม. 9+813

รูปที่ 4.36 ภาพสถานีลูกข่าย ที่ ปตร. กลางคลอง 5L-2L กม. 9+813

(7) **วิธีการทดสอบใช้งานจริง**

เพื่อให้เจ้าหน้าที่มีความคุ้นเคยและสามารถใช้งานระบบคลองอัตโนมัติควบคุมน้ำ ให้เกิดประโยชน์กับกลุ่มผู้ใช้น้ำในโครงการมากที่สุด จึงได้กำหนดขอบเขตการใช้งานในช่วงเริ่มแรก เป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ให้ใช้ระบบคลองอัตโนมัติ ทำงานในระบบโทรมาตร (Telemetering) เพื่อให้พนักงานสามารถควบคุมการส่งน้ำตามปกติ SPN CAS จะเก็บข้อมูลระดับน้ำและระยะการเปิด ปตร. และบันทึกแบบอัตโนมัติลงใน data logger ของฐานข้อมูล ทุกชั่วโมง ทางโครงการใช้ระดับน้ำที่ตรวจวัดได้เป็นข้อมูลจัดสรรน้ำ และเขียน Webpage นำเสนอข้อมูลระดับน้ำทั้งเครือข่ายภายในโครงการและ ผ่านระบบInternet การทดสอบการทำงานในระบบโทรมาตร จะทำอย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2549 เป็นต้นมา

ขั้นที่ 2 ให้ใช้ระบบคลองอัตโนมัติ ทำงานเป็น SCADA โดยนำข้อมูลการส่งน้ำที่บันทึกใน data logger วิเคราะห์และเขียนโปรแกรมควบคุมฮาร์ทแวร์เพิ่มเติมให้สอดคล้องกับแผนการส่งน้ำ การควบคุม Robogate เปิด – ปิดประตูระบายน้ำระยะไกล โดยเจ้าหน้าที่ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดย SPN CAS เก็บข้อมูลระดับน้ำและระยะการเปิด ปตร. อัตโนมัติลงใน data logger ของฐานข้อมูลทุกชั่วโมง การทดสอบในขั้นนี้ขึ้นอยู่กับความพร้อมของทางโครงการเป็นหลัก

ขั้นที่ 3 ใช้งานระบบคลองอัตโนมัติเต็มรูปแบบ โดยนำข้อมูลการส่งน้ำแบบปกติที่บันทึกใน data logger วิเคราะห์และเขียนโปรแกรมควบคุมฮาร์ทแวร์เพิ่มเติมให้ระบบทำงานเองอัตโนมัติ สอดคล้องกับแผนการส่งน้ำ ประตูยนต์ทุกตัว ทำหน้าที่รักษาระดับน้ำ FSL และทำงานอิสระจากกัน สามารถควบคุมสั่งเปิด – ปิด ปตร. ระยะไกลและคำสั่งพิเศษอื่นผ่านทางสถานีแม่ข่าย การเก็บข้อมูลและการทำงานอัตโนมัติ การทดสอบในขั้นนี้ ใช้เวลาประมาณ 3 เดือน ระหว่าง 4 เมษายน- 24 มิถุนายน 2551

หลังจากทดสอบการทำงานระบบคลองอัตโนมัติในทั้ง 3 ระบบเรียบร้อยแล้ว โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องสามารถเลือกระบบการทำงานตามแบบที่ 1 (ระบบโทรมาตร) แบบที่ 2 (ระบบ SCADA) หรือ แบบที่ 3 (ระบบคลองอัตโนมัติ) ได้ตามต้องการ

4.5 หลักการควบคุมน้ำในคลอง 5L-2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องแบบอัตโนมัติ

หลักการควบคุมน้ำแบบอัตโนมัติ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ การควบคุม ระดับน้ำหน้า ปตร.กลางคลอง และการควบคุมอัตราการการไหลของน้ำผ่าน ปตร. ปากคลอง 5L-2L กม. 0+000 โดยคอมพิวเตอร์ที่สถานีแม่ข่าย

4.5.1 หลักการควบคุมระดับน้ำหน้า ปตร. กลางคลอง

หลักการควบคุมระดับน้ำหน้า ปตร. กลางคลอง 5L-2L กม. 3+650, 9+813 และ 20+300 แบบอัตโนมัติให้อยู่ที่ระดับน้ำใช้การ (Full Supply Level, FSL) โดยใช้ประตูยนต์รุ่นที่ 5 มีหลักการทำงานดังสมการที่ 1 และ 2

$$Go_t = Go_{t-1} + \Delta Go \quad (1)$$

$$\Delta Go = K1(WL_{t-1} - FSL) - K2 \quad (2)$$

เมื่อ

Go_t คือระยะการเปิดประตูระบายน้ำที่ต้องการ เป็น เมตร

Go_{t-1} คือระยะการเปิดประตูระบายน้ำที่ตรวจวัดได้ เป็น เมตร

ΔGo คือระยะการปรับบาน เป็น เมตร โดย $0.007 < \Delta Go < 0.05$

K1 คือค่าสัมประสิทธิ์การเปิดประตูระบายน้ำ ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 1

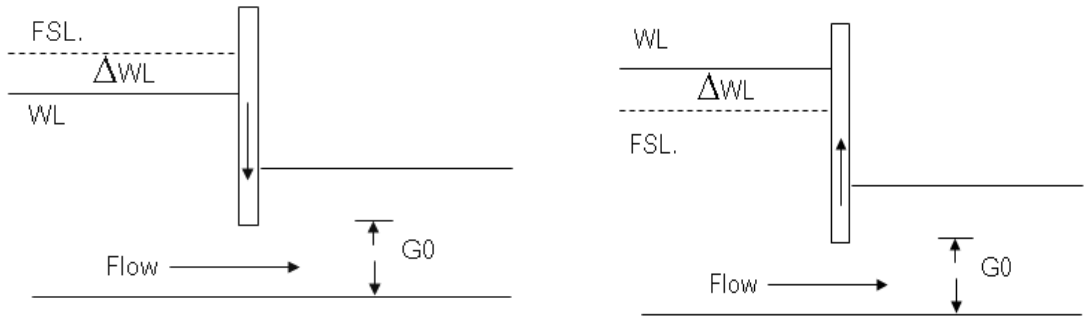
K2 คือ ค่าระยะการปรับบาน (ΔGo) ในรอบการปรับบานที่แล้ว (รอบเล็ก)

และจะกำหนดให้ K2 เท่ากับ 0 เมื่อเริ่มรอบการปรับบานใหม่

FSL คือระดับน้ำใช้การหรือระดับควบคุม หน้า ปตร. กลางคลอง เป็น เมตร

WL_{t-1} คือระดับน้ำหน้า ปตร.กลางคลองที่ตรวจวัดได้ เป็น เมตร

กรณีที่ระดับน้ำที่ตรวจวัดได้ (WL_{t-1}) มีค่าต่ำกว่า FSL จะต้องปรับบานลงลดลง ($G_t < G_{t-1}$)เพื่อยกระดับน้ำ ดังรูปที่ 4.37(1) แต่ในทางกลับกันถ้าระดับน้ำที่ตรวจวัดมีค่ามากกว่า FSL ต้องเร่งระบายน้ำส่วนที่เกินออก โดยการปรับบานเพิ่ม ($G_t > G_{t-1}$) ดังรูปที่ 4.37(2) Robogate จะทำการตรวจวัดระดับน้ำเพื่อปรับบานระบายน้ำรอบเล็กทุก 1/10 วินาที เป็นจำนวน 250 รอบ โดยมีข้อกำหนดว่า ΔGo จะมีค่าระหว่าง 0.007 ถึง 0.05 เมตร ถ้า ΔGo น้อยกว่า 0.007 เมตร ไม่ต้องปรับบาน ถ้า ΔGo มากกว่า 0.05 เมตร ให้ ΔGo เท่ากับ 0.05 เมตร Robogate จะทำการคำนวณปรับประตูใหม่ในทุก 250 รอบ โดยกำหนดให้ K2 เท่ากับ 0



(1) ลดระยะการเปิดบาน
กรณีค่าระดับน้ำมีค่าต่ำกว่า FSL

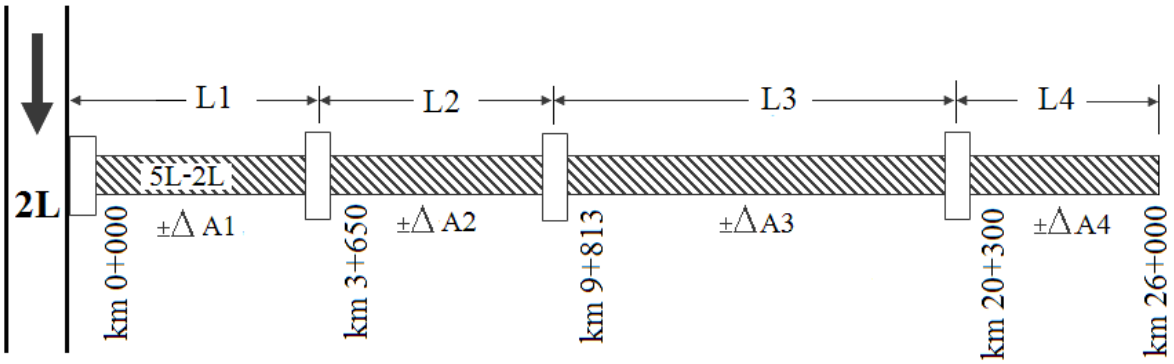
(2) เพิ่มระยะการเปิดบาน
กรณีค่าระดับน้ำมีค่าต่ำกว่า FSL

รูปที่ 4.37 หลักการปรับบานประตูระบายน้ำเพื่อควบคุมระดับน้ำหน้า ปตร. กลางคลอง

4.5.2 หลักการควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร. ปากคลอง

คลอง 5 L-2L มีการติดตั้งประตูยนต์ที่ ปตร.ระบายกลางคลอง 3 แห่ง ที่ กม. 3+650 กม. 9+813 และ กม.20+300 โดยโครงการวิจัยนี้ ประกอบกับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องได้ติดตั้งระบบ SCADA ที่ประตูระบายปากคลอง 5 L-2L กม. 0+000 โดยการจ้างเหมาเอกชนดำเนินการก่อนหน้านี้ ซึ่งระบบ SCADA ดังกล่าวสามารถตรวจวัดและควบคุมระยะไกลได้ แต่ปกติจะใช้งานในระบบโทรมาตรเป็นหลักและแยกส่วนออกจากระบบคลองอัตโนมัติ ปตร. ปากคลอง 5 L-2L กม. 0+000 มีหน้าควบคุมอัตรา

การไหลของน้ำให้ตอบสนองต่อความต้องการของคลอง 5L-2L ซึ่งมีความยาว 26 กม. และแบ่งออกเป็น 4 ช่วงคลองหลัก ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ระบบคลองซอบ 5L-2L และอาคารควบคุมน้ำหลัก

การควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร. ปากคลอง 5 L-2L กม. 0+000 จะใช้หลักการควบคุมปริมาตรน้ำในคลอง (Volume Control) โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

(1) ให้คอมพิวเตอร์ที่สถานีแม่ข่าย ตรวจสอบระดับน้ำ และพยากรณ์ระดับน้ำใน 4 ช่วงคลอง 30 นาทีล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลที่ได้มีการบันทึกไว้ในช่วง 6 ชั่วโมงที่ผ่านมา โดยใช้สมการ Regression

(2) คำนวณหาปริมาตรน้ำที่เกินหรือขาด กำหนดระยะเวลาที่จะใช้ปรับปริมาตรน้ำในช่วงคลองต่างๆ ตามหลัก Volume Control ซึ่งกำหนดให้เป็น 30 นาที และสุดท้ายคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร.ปากคลอง ดังสมการที่ 3, 4 และ 5

$$V_n = \Delta A_n \cdot L_n \qquad (3)$$

$$Q_n = V_n / t \qquad (4)$$

เมื่อ

V_n คือปริมาณน้ำส่วนที่เกินหรือขาดจากระดับ FSL ในช่วงคลองที่ n

ΔA_n คือพื้นที่หน้าตัดน้ำส่วนที่เกินหรือขาดจากระดับ FSL ในช่วงคลองที่ n

L_n คือความยาวของช่วงคลองที่ n

t คือระยะเวลาที่ต้องการปรับปริมาตรน้ำในช่วงคลองที่ n ซึ่งกำหนดให้เป็น 30 นาที

$$Q_{\text{ปตร.ปากคลอง}} = \Sigma Q_n \qquad (5)$$

4.5.3 การเชื่อมต่อระบบคลองอัตโนมัติและระบบ SCADA ของโครงการ

มีการเชื่อมต่อระบบคลองอัตโนมัติและระบบ SCADA เดิมของโครงการ โดยการเขียนโปรแกรมเพื่อรับข้อมูลจากระบบ SCADA ของ ปตร. ปากคลอง 5L-2L กม. 0+000 แล้วนำมาวิเคราะห์หาอัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร.ปากคลอง โดยหลัก Volume Control ดังสมการที่ 5 ผลการคำนวณ Q ของ ปตร.ปากคลอง จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลให้ ระบบ SCADA นำไปใช้ในการปรับบานระบายของ ปตร. ปากคลอง 5L-2L

4.6 ผลการทดสอบการใช้งานระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้อง

ระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้อง เริ่มออกแบบและติดตั้งตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2549 การติดตั้งอุปกรณ์ในสนามอื่นๆ แล้วเสร็จในเดือนตุลาคม 2549 แต่การก่อสร้างบ่อน้ำนิ่งต้องล่าช้า เนื่องจากไม่สามารถลดน้ำเพื่อก่อสร้างบ่อน้ำนิ่งในช่วงฤดูการส่งน้ำได้ ประกอบโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องย้ายที่ตั้งอาคารสำนักงาน ทำให้การทดสอบต้องล่าช้า จึงเริ่มทำการทดสอบระบบคลองอัตโนมัติ ตั้งแต่วันที่ 4 ธันวาคม 25 49 และได้ทำการทดสอบการทำงานในแบบต่างๆ จนถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2551 การทดสอบสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

ช่วงที่	ระยะเวลาระหว่าง	ประเภทการทดสอบ
1	4 ธันวาคม 2549 – 3 มีนาคม 2551	ระบบโทรมาตร
2	4 มีนาคม – 24 มิถุนายน 2551	ระบบอัตโนมัติ
3	25 มิถุนายน – 31 ตุลาคม 2551	ระบบโทรมาตร

ผลการทดสอบการใช้งานระบบโทรมาตร (Telemetering) โดยการตรวจวัดระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายบาน และระยะการเปิดบาน ของ ปตร.กลางคลอง 3 แห่ง คือ ปตร. 5 L-2L กม.3+650, กม.9+813 และ กม.20+300 และบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติลงใน Data Logger พร้อมส่งข้อมูลผ่านระบบวิทยุสื่อสารให้สถานีแม่ข่ายทุกครึ่งชั่วโมง ซึ่งทางฝ่ายจัดสรรน้ำสามารถใช้ข้อมูลระดับน้ำและระยะการเปิดบานที่ตรวจวัดได้เป็นข้อมูลในการจัดสรรน้ำในคลอง 5L-2L นอกจากนี้คอมพิวเตอร์ที่สถานีแม่ข่ายจะส่งข้อมูลให้ Server ผ่านดาวเทียม ipstar เพื่อนำเสนอข้อมูลบน Internet แบบ Real Time ที่ http://pirun.ku.ac.th/~fengynt

ในการทดสอบการทำงานในระบบอัตโนมัติ ปตร.กลางคลอง 5L-2L ทั้ง 3 แห่ง (กม.3+650, กม. 9+813 และ กม.20+300) ได้ถูกกำหนดให้ทำงานเพื่อควบคุมระบบน้ำด้านหน้า ปตร. ให้อยู่ที่ระดับน้ำใช้

การแบบอัตโนมัติ และ ปตร.ปากคลอง 5L-2L กม.0+000 ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้าคลอง 5L-2L ตามหลัก Volume Control ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.5

4.6.1 ข้อมูลผลการทดสอบการทำงานของระบบคลองอัตโนมัติและสถิติของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการไหลของน้ำผ่านอาคาร

Robogate ที่ติดตั้งที่ ปตร. 5 L-2L กม. 3+650 , 9+813 และ 20+300 จะทำการตรวจวัดระดับน้ำและระยะการเปิดบานของประตูระบายน้ำ และส่งข้อมูลทุกครึ่งชั่วโมงให้สถานีแม่ข่าย ขณะเดียวกันคอมพิวเตอร์ที่สถานีแม่ข่าย จะติดต่อกับระบบ SCADA เดิมของโครงการ ซึ่งควบคุมประตูระบายปากคลอง 5L-2L กม.0+000 เพื่อรับข้อมูลและส่งคำสั่งการควบคุมการปรับบานของประตูระบายปากคลอง 5L-2L กม.0+000 กรณีที่ระบบคลองอัตโนมัติถูกสั่งให้ทำงานในระบบอัตโนมัติ ผลการตรวจวัดระดับน้ำด้านเหนือน้ำ ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ และระยะการเปิดบานทุกครึ่งชั่วโมง จะสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารได้จากสูตร

$$Q = Cd.L.Go\sqrt{2g(US - DS)} \qquad (6)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำผ่านอาคาร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/วินาที

Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านอาคาร

L = ความกว้างบาน เป็นเมตร

Go = ระยะการเปิดบาน เป็นเมตร

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตร/วินาที^{2})

US = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ เป็นเมตร

DS = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ เป็นเมตร

รายละเอียดของอาคารทั้ง 3 แสดงอยู่ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สมการการไหลของน้ำผ่านประตูระบายกลางคลองในคลอง 5L-2L

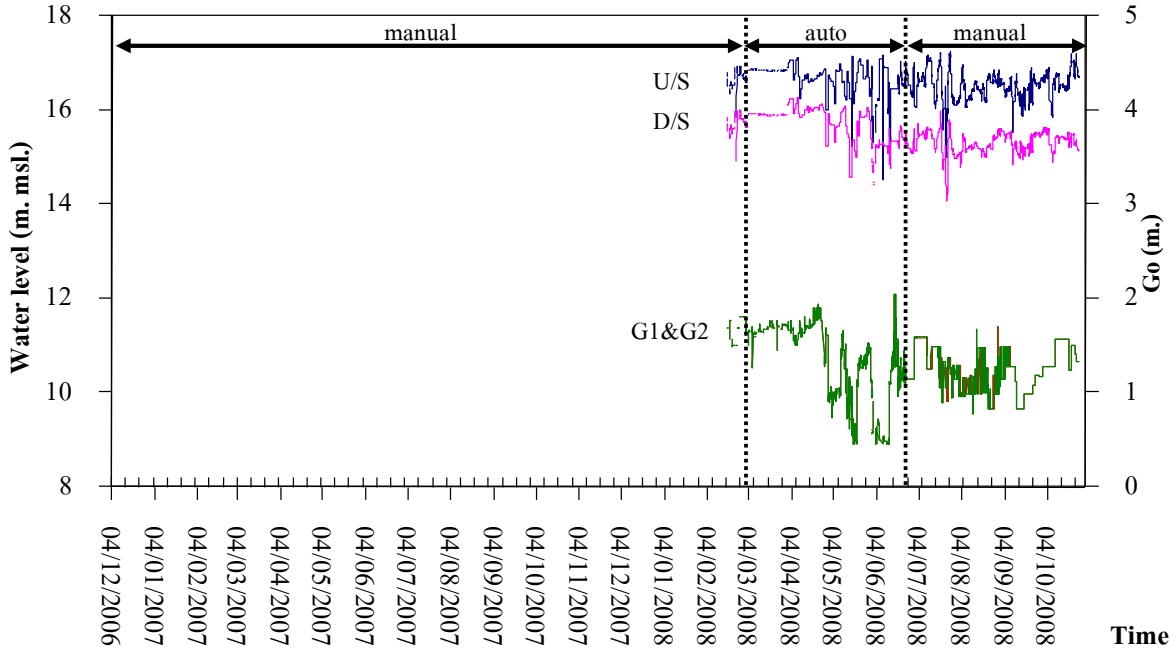
ปตร.	ชนิดบาน	ขนาดบาน (เมตร)	Cd	หมายเหตุ
5L-2L กม. 0+000	บานโค้ง	2x4	0.68	กรณี 2 บาน พื้นที่หน้าตัดการไหลจะเท่ากับ L(Go1+Go2) เมื่อ Go1 และ Go2 คือระยะการเปิดบานของบานประตูที่ 1 และ2 ตามลำดับ
5L-2L กม.3+650	บานโค้ง	2x4	0.58	
5L-2L กม.9+813	บานโค้ง	5	0.48	
5L-2L กม.20+300	บานโค้ง	5	0.55	

ข้อมูลผลการทดสอบการทำงานระบบคลองอัตโนมัติ ทั้งในระบบโทรมาตร และระบบอัตโนมัติ ตามที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งได้แก่ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ ระยะการเปิดบาน และอัตราการไหลของน้ำทุกครึ่งชั่วโมง ระหว่างวันที่ 4 ธันวาคม 2549 – 31 ตุลาคม แสดงอยู่ในรูปที่ 39-42 ซึ่งช่วงเวลาที่ทำการทดสอบคือ 6 96 วัน แต่ละวันจะต้องมีการตรวจวัด ส่งและบันทึกข้อมูลพารามิเตอร์การไหลของน้ำที่ประตูระบายทั้ง 4 เป็นจำนวน 48 ค่า ข้อมูลพารามิเตอร์การไหลของน้ำดังกล่าวเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการประเมินผลการทำงานของระบบคลองส่งน้ำและระบบคลองอัตโนมัติ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป ข้อมูลการไหลของน้ำที่ประตูระบายปากคลอง 5L-2L กม.0+000 ในรูปที่ 4.39 ยังไม่ค่อยสมบูรณ์เนื่องเป็นข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ ด้วยระบบ SCADA เดิม ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ระบบคลองอัตโนมัติจะเรียกข้อมูลมาใช้เฉพาะเวลาที่ทำงานในระบบคลองอัตโนมัติเท่านั้น

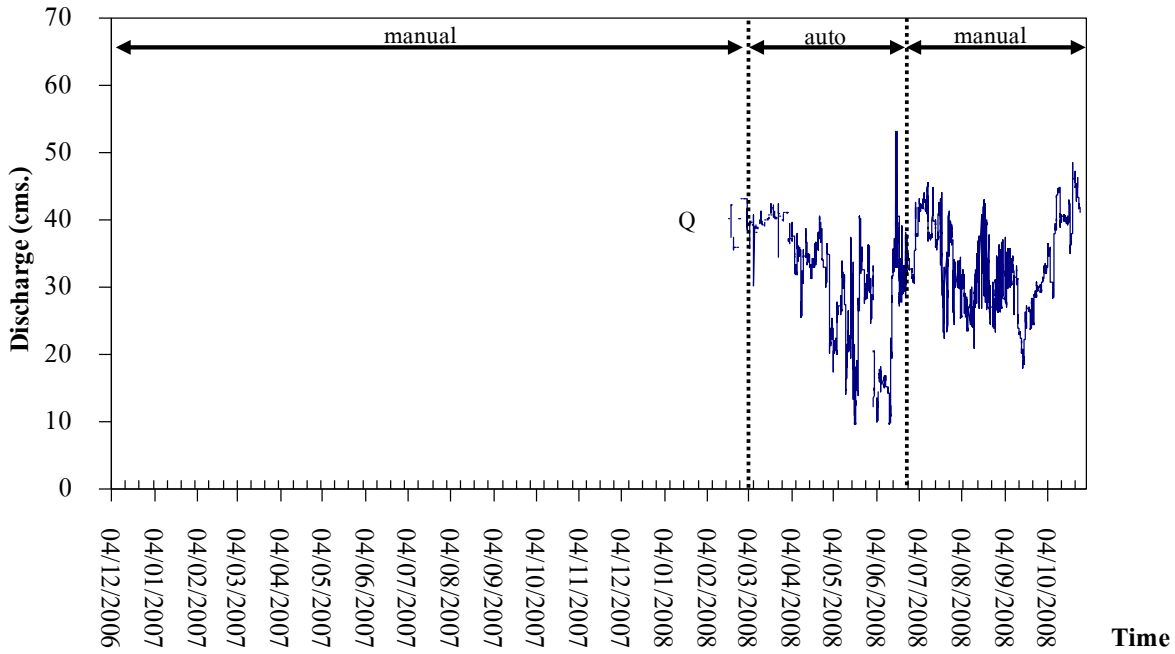
จากข้อมูลที่บันทึกไว้ในรูปที่ 4.39-4.42 สามารถนำมาคำนวณค่าสถิติของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการไหลของน้ำผ่านอาคาร ซึ่งประกอบด้วย ค่าสูงสุด (Maximum) ค่าต่ำสุด (Minimum) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation หรือ CV) สำหรับกรณีที่ระบบคลองอัตโนมัติทำงานในระบบโทรมาตร ช่วงที่ 1 (4 ธันวาคม 2549-3 มีนาคม 2551) ระบบอัตโนมัติ (4 มีนาคม-24 มิถุนายน 2551) และระบบโทรมาตร ช่วงที่ 2 (25 มีนาคม- 31 ตุลาคม 2551) ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.9-4.11 ตามลำดับ

จากข้อมูลระดับน้ำด้านหน้าประตูระบายกลางคลอง 5L-2L กม. 3+650, 9+813 และ 20+300 ดังแสดงในรูปที่ 4.40-4.42 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ควบคุมหลักของระบบคลองส่งน้ำ จะเห็นได้ว่าในช่วงที่ควบคุมด้วยระบบคลองอัตโนมัติ ระดับน้ำด้านหน้าบานมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าช่วงอื่นๆ เนื่องจาก Robogate จะทำการตรวจวัดระดับน้ำและควบคุมปรับบานระบายตลอดเวลาตามลอจิกที่กล่าวถึงในหัวข้อ 5.1 ขณะที่ระยะการเปิดบานมีการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องตลอดเวลา เพื่อตอบสนองต่อสภาวะการไหลของน้ำซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามความต้องการน้ำของเกษตรกร และเป็นที่สังเกตว่าระยะการเปิดบานของประตูระบายกลางคลอง 5L-2L กม. 3+650, 9+813 และ 20+300 ในช่วงที่ระบบทำงานในระบบโทรมาตร มีการปรับบานเป็นช่วงๆ ทุก 7 วัน แต่บางครั้งอาจไม่มีการปรับบานระบายเลยทั้งเดือน ถ้าพนักงานส่งน้ำพิจารณาว่าน้ำที่ส่งเพียงพอและไม่มีการร้องขอให้ปรับตารางการส่งน้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV) ของระดับน้ำด้านหน้าประตูระบายกลางคลอง ในตารางที่ 4.9-4.11 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าระดับน้ำด้านหน้าประตูระบายกลางคลองในช่วงที่ทำงานในระบบอัตโนมัติ มีความแปรปรวนต่ำกว่าช่วงที่ทำงานในระบบโทรมาตรมาก ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนระดับน้ำหน้าประตูของระบบอัตโนมัติมีค่าระหว่าง 0.012-0.017 ขณะที่ค่าดังกล่าวของระบบโทรมาตรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.024-0.041 แสดงว่าระบบระบบอัตโนมัติมีควบคุมระดับน้ำหน้าบานประตูได้ดีกว่าการควบคุมด้วยคนในระบบโทรมาตร



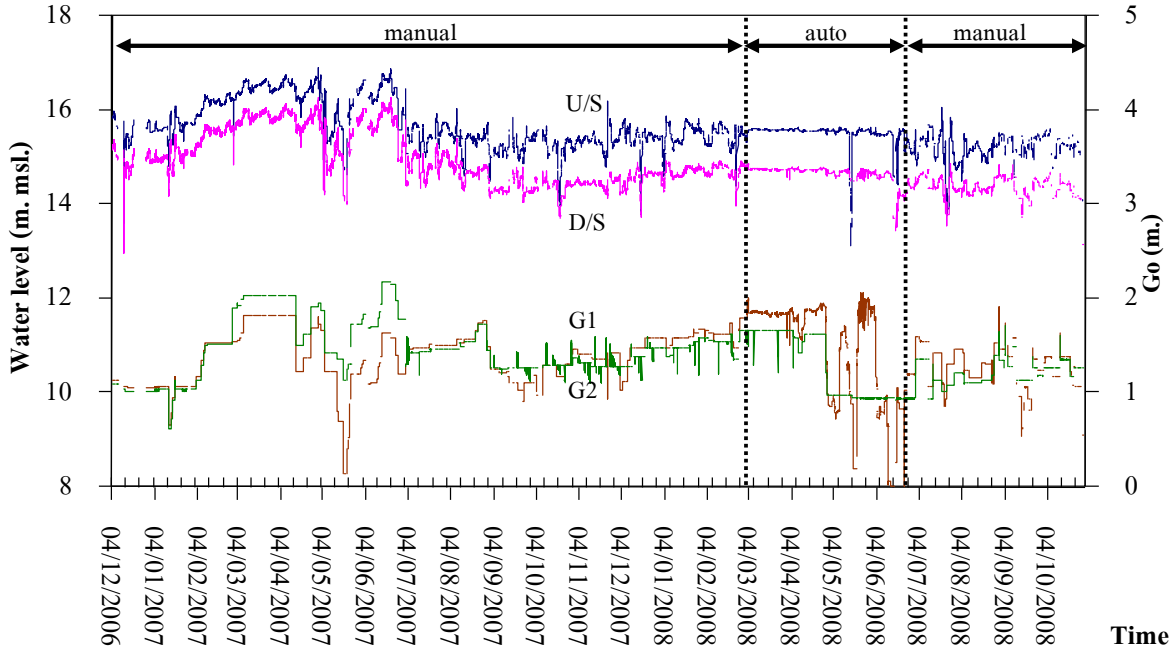
(1) ระดับน้ำด้านหน้า ด้านท้าย และระยะการเปิดบานของ ปตร.ปากคลอง 5L-2L กม. 0+000



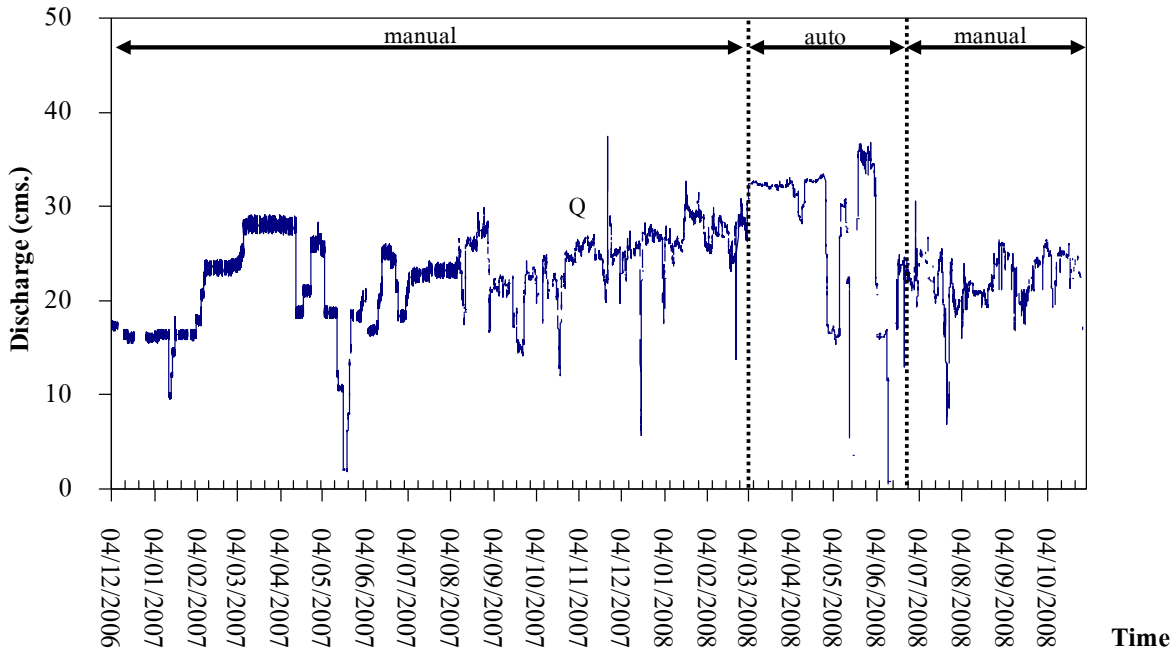
(2) อัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร.ปากคลอง 5L-2L กม. 0+000

รูปที่ 4.39 ข้อมูลระดับน้ำ ระยะการเปิดบาน และอัตราการไหลของน้ำของ ปตร.ปากคลอง 5L-2L กม. 0+000 ระหว่างวันที่ 4 ธันวาคม 2549 – 31 ตุลาคม 2551

หมายเหตุ : ในภาพ manual = ระบบโทรมาตร auto = ระบบอัตโนมัติ



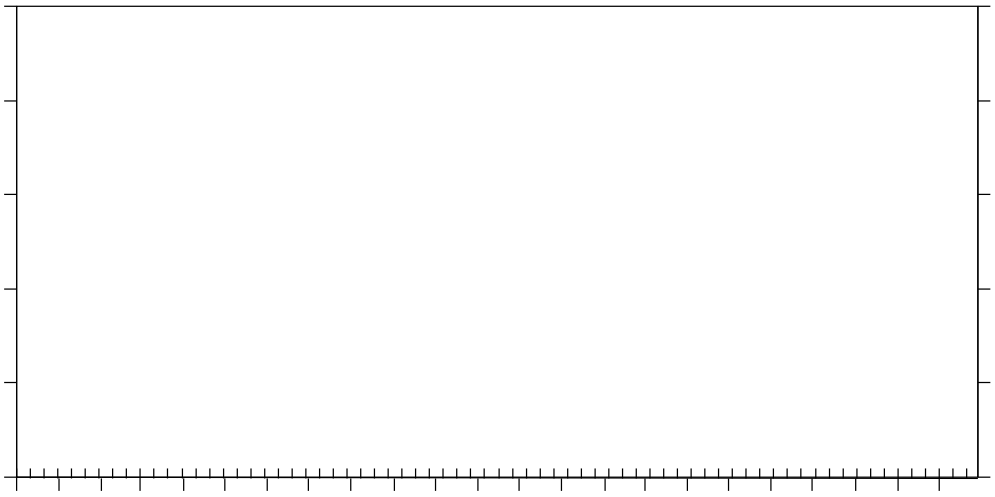
(1) ระดับน้ำด้านหน้า ด้านท้าย และระยะการเปิดบานของ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 3+650



(2) อัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 3+650

รูปที่ 4.40 ข้อมูลระดับน้ำ ระยะการเปิดบาน และอัตราการไหลของน้ำของ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 3+650 ระหว่างวันที่ 4 ธันวาคม 2549 – 31 ตุลาคม 2551

หมายเหตุ : ในภาพ manual = ระบบโทรมาตร auto = ระบบอัตโนมัติ

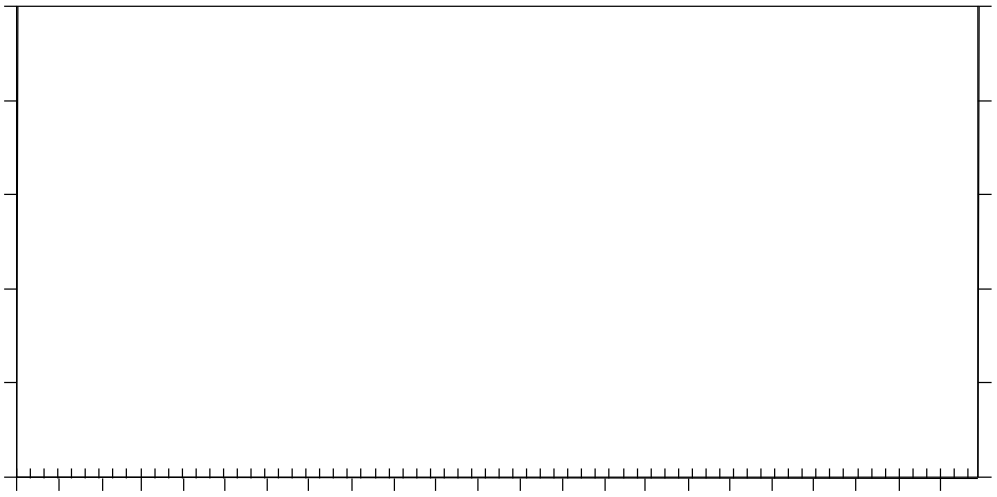


(1) ระดับน้ำด้านหน้า ด้านท้าย และระยะการเปิดบานของ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 9+813

(2) อัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 9+813

รูปที่ 4.41 ข้อมูลระดับน้ำ ระยะการเปิดบาน และอัตราการไหลของน้ำของ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 9+813 ระหว่างวันที่ 4 ธันวาคม 2549 – 31 ตุลาคม 2551

หมายเหตุ : ในภาพ manual = ระบบโทรมาตร auto = ระบบอัตโนมัติ



(1) ระดับน้ำด้านหน้า ด้านท้าย และระยะการเปิดบานของ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 20+300

(2) อัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 20+300

รูปที่ 4.42 ข้อมูลระดับน้ำ ระยะการเปิดบาน และอัตราการไหลของน้ำของปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 20+300 ระหว่างวันที่ 4 ธันวาคม 2549 – 31 ตุลาคม 2551

หมายเหตุ : ในภาพ manual = ระบบโทรมาตร auto = ระบบอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.9 ค่าสถิติของพารามิเตอร์ในการควบคุมน้ำผ่านอาคารและอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคาร ในการทดสอบระบบคลองอัตโนมัติในระบบโทรมาตร ช่วงที่ 1 (ระหว่างวันที่ 4 ธันวาคม 2549 -3 มีนาคม 2551)

ปตร.	พารามิเตอร์ในการควบคุมน้ำและอัตราการไหลผ่านอาคาร	Max.	Min.	Mean	CV	No.of records
5L-2L กม. 3+650	U/S water level (m-MSL)	16.915	13.603	15.718	0.032	18327
	D/S water level (m-MSL)	16.262	12.950	14.988	0.037	18327
	Gate 1 Openning (m)	1.825	0.127	1.402	0.190	17769
	Gate 2 Openning (m)	2.174	0.615	1.480	0.207	17772
	Discharge (cms)	37.441	1.918	22.720	0.201	17769
5L-2L กม. 9+813	U/S water level (m-MSL)	15.036	11.770	13.990	0.025	19462
	D/S water level (m-MSL)	14.205	10.898	13.192	0.026	19462
	Gate Openning (m)	2.627	0.082	1.686	0.274	19461
	Discharge (cms)	24.426	0.701	14.287	0.314	19138
5L-2L กม. 20+300	U/S water level (m-MSL)	11.855	8.912	10.6197	0.040	19526
	D/S water level (m-MSL)	10.801	8.597	10.1126	0.033	19526
	Gate Openning (m)	2.016	0.11	1.36154	0.243	19526
	Discharge (cms)	20.186	0.526	10.9137	0.383	19526

Remark: CV = coefficient of variation = standard deviation /mean

ตารางที่ 4.10 ค่าสถิติของพารามิเตอร์ในการควบคุมน้ำผ่านอาคารและอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคาร ในการทดสอบระบบคลองอัตโนมัติในระบบอัตโนมัติ (ระหว่างวันที่ 4 มีนาคม -24 มิถุนายน 2551)

ปตร.	พารามิเตอร์ในการควบคุมน้ำและอัตราการไหลผ่านอาคาร	Max.	Min.	Mean	CV	No.of records
5L-2L กม. 0+000	U/S water level (m-MSL)	17.157	14.511	16.661	0.018	4458
	D/S water level (m-MSL)	16.280	14.420	15.731	0.023	4433
	Gate Openning (m)	2.050	0.450	1.329	0.310	4401
	Discharge (cms)	66.513	12.191	38.122	0.273	4392
5L-2L กม. 3+650	U/S water level (m-MSL)	15.655	13.132	15.505	0.017	4262
	D/S water level (m-MSL)	14.855	13.413	14.642	0.012	4024
	Gate 1 Openning (m)	2.058	0.000	1.480	0.360	4213
	Gate 2 Openning (m)	1.655	0.916	1.280	0.263	4213
	Discharge (cms)	36.816	0.569	28.115	0.246	3858
5L-2L กม. 9+813	U/S water level (m-MSL)	14.597	12.645	14.417	0.012	4732
	D/S water level (m-MSL)	13.868	12.031	13.259	0.018	4732
	Gate Openning (m)	2.697	0.007	1.584	0.516	4732
	Discharge (cms)	24.700	0.078	15.919	0.485	4732
5L-2L กม. 20+300	U/S water level (m-MSL)	11.282	8.915	10.883	0.013	4722
	D/S water level (m-MSL)	10.552	8.779	10.227	0.022	4722
	Gate Openning (m)	2.309	0.003	1.458	0.413	4722
	Discharge (cms)	19.893	0.036	13.842	0.276	4642

Remark: CV = coefficient of variation = standard deviation /mean

ตารางที่ 4.11 ค่าสถิติของพารามิเตอร์ในการควบคุมน้ำผ่านอาคารและอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคาร ในการทดสอบระบบคลองอัตโนมัติในระบบโทรมาตร ระยะที่ 2
(ระหว่างวันที่ 25 มิถุนายน - 31 ตุลาคม 2551)

ปตร.	พารามิเตอร์ในการควบคุมน้ำและอัตราการไหลผ่านอาคาร	Max.	Min.	Mean	CV	No.of records
5L-2L กม. 3+650	U/S water level (m-MSL)	16.079	13.613	15.185	0.020	3338
	D/S water level (m-MSL)	16.262	13.124	14.690	0.030	3337
	Gate 1 Openning (m)	1.915	0.537	1.287	0.140	3337
	Gate 2 Openning (m)	1.705	0.936	1.160	0.111	3337
	Discharge (cms)	30.565	6.915	21.585	0.129	3155
5L-2L กม. 9+813	U/S water level (m-MSL)	14.962	12.458	14.006	0.019	3656
	D/S water level (m-MSL)	14.444	11.068	13.427	0.030	3656
	Gate Openning (m)	1.903	0.151	1.378	0.264	3651
	Discharge (cms)	33.813	0.830	11.898	0.404	3643
5L-2L กม. 20+300	U/S water level (m-MSL)	12.835	8.792	10.904	0.047	2985
	D/S water level (m-MSL)	10.819	8.669	10.096	0.032	2980
	Gate Openning (m)	2.000	0.170	1.179	0.253	2978
	Discharge (cms)	23.367	0.239	12.114	0.269	2965

Remark: CV = coefficient of variation = standard deviation /mean

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV) ของระดับน้ำด้านหน้าบานประตู

ปตร.	ระบบโทรมาตร	ระบบอัตโนมัติ	ผลต่าง
5L-2L กม. 3+650	0.031	0.017	0.014
5L-2L กม. 9+813	0.024	0.012	0.012
5L-2L กม. 20+300	0.041	0.013	0.028

4.6.2 ผล การทดสอบความสามารถในการควบคุมระดับน้ำเปรียบเทียบระหว่างระบบโทรมาตรและระบบอัตโนมัติ

จากข้อมูลผลการตรวจวัดและควบคุมน้ำในคลอง 5L-2L ด้วยระบบโทรมาตร และระบบอัตโนมัติ ในรูปที่ 4.39-4.4 2 และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV) ในตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ในเบื้องต้นว่าการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าประตูระบายกลางคลองทั้ง 3 แห่ง ด้วยมือ (โดยเจ้าหน้าที่สนาม) ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงค่อนข้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานในระบบอัตโนมัติ ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.6.1

ในการทดสอบความสามารถในการควบคุมระดับน้ำของ Robogate ว่าเป็นไปตามเป้าหมายได้ดีเพียงใด จะคำนวณโดยใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) จากสูตร

$$RMSE = \sqrt{\frac{(WL - TWL)^2}{N}} \qquad (7)$$

เมื่อ RMSE = Root Mean Square Error (m)

WL = Water Level (m)

TWL = Target Water Level (m)

N = No. of Data

ผลการคำนวณค่า RMSE ของระบบคลองอัตโนมัติ ซึ่งทำงานทั้งในระบบโทรมาตร และระบบอัตโนมัติ แสดงอยู่ในตารางที่ 4.13 ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าระบบอัตโนมัติช่วยลดความความเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าประตูระบายกลางคลองลงเท่าตัว โดยเฉลี่ยค่า RMSE ลดลงจากมากกว่า 0.50 เมตร เหลือเพียง 0.25 เมตร ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี สำหรับคลองส่งน้ำขนาดใหญ่ที่มีระดับน้ำ ระหว่าง 2.8-3.35 เมตร

ตารางที่ 4.13 ค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำด้านเหนือน้ำของประตูระบายในรูปของ RMSE

ปตร.	TWL (m-MSL)	TWD (m)	RMSE(m)		
			ระบบโทรมาตร (ระยะที่ 1)	ระบบโทรมาตร (ระยะที่ 2)	ระบบควบคุมอัตโนมัติ
5L-2L กม. 3+650	15.5	3.35	0.551	0.438	0.262
5L-2L กม. 9+813	14.4	3.25	0.541	0.473	0.178
5L-2L กม. 20+300	10.6	2.8	0.427	0.594	0.319
ค่าเฉลี่ย			0.506	0.502	0.253
หมายเหตุ: TWL=Target Water Level; TWD=Target Water Depth					

4.7 การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ให้รู้จักการใช้เทคโนโลยีระบบคลองอัตโนมัติ

ในช่วงการทดสอบระบบคลองอัตโนมัติทั้งในระบบโทรมาตรและระบบอัตโนมัติระหว่าง 4 ธันวาคม 2549 – 31 ตุลาคม 2551 ได้มีการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่โครงการในลักษณะของ On the job training ในเบื้องต้น เช่นการฝึกเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในสนามในรู้จักการควบคุมการปิด-เปิด บานระบายของอาคารทดน้ำกลางคลอง และมีการจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง “ระบบคลองอัตโนมัติ” ที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ให้เจ้าหน้าที่กรมชลประทาน 1 ครั้ง ในเดือนตุลาคม 2551 ดังแสดงในรูปที่ 4.43

ฝึกให้เจ้าหน้าที่กดปุ่มควบคุมการเปิด-ปิด ประตูระบายน้ำ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม.9+813

การบรรยายในการจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง “ระบบคลองอัตโนมัติ”

การสาธิตการทำงานของอุปกรณ์ในสนาม

รูปที่ 4.43 การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ให้รู้จักการใช้เทคโนโลยีระบบคลองอัตโนมัติ

4.7.1 การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

[1] การบรรยายหลักการทำงาน องค์ประกอบที่สำคัญ วิธีการใช้งาน และผลการทดสอบการใช้งานของระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้อง

[2] การสาธิตการใช้งานของระบบคลองอัตโนมัติทั้งในห้องควบคุมและในสนาม

[3] การตอบข้อซักถามต่างๆและการสอบถามความคิดเห็นของผู้เข้ารับการอบรมเกี่ยวกับประโยชน์ของการฝึกอบรม การนำระบบคลองอัตโนมัติไปใช้งานจริง และข้อดี-ข้อเสียของระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้อง

4.7.2 รายละเอียดเข้ารับการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ

ผู้เข้ารับการฝึกอบรมประกอบด้วย หัวหน้าฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทาน หัวหน้าและเจ้าหน้าที่ในฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษา เจ้าหน้าที่ที่ทำงานด้านการส่งน้ำ และเจ้าหน้าที่ด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ทั้งจากสำนักชลประทานและจากส่วนกลาง รวม 37 คน ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 รายละเอียดผู้เข้ารับการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง ระบบคลองอัตโนมัติ

ผู้เข้ารับการอบรม	จำนวน	อายุเฉลี่ย (ปี)	ประสบการณ์เฉลี่ย (ปี)
หัวหน้าฝ่ายและเจ้าหน้าที่ในฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทาน	5	37	13
หัวหน้าฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษา	12	48	22
พนักงานส่งน้ำและเจ้าหน้าที่ที่ทำงานด้านการส่งน้ำ	10	45	18
เจ้าหน้าที่ด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้อง	10	44	19
รวม	37	45	19

4.7.3 ความคิดเห็นผู้เข้ารับการฝึกอบรม

(1) ประโยชน์ของการฝึกอบรมต่อการทำงาน

ผู้เข้ารับการอบรมมีความเห็นว่า	%
การฝึกอบรมมีประโยชน์ต่อการทำงาน	100
การฝึกอบรมไม่มีประโยชน์	0

(2) กรณีที่ตอบว่า “มีประโยชน์” กรุณาระบุประโยชน์ที่ท่านได้รับจากการฝึกอบรม

ผู้เข้ารับการฝึกอบรมมีความเห็นว่าการฝึกอบรมมีประโยชน์ด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ได้รับทราบเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการตรวจวัดข้อมูล วางแผนการส่งน้ำ และการควบคุมรักษาระดับน้ำในคลองอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้และปฏิบัติให้เกิดประโยชน์แก่กรมชลประทาน
2. ได้ความรู้ และทักษะในการใช้อุปกรณ์เกี่ยวกับระบบโทรมาตรมากขึ้น
3. สามารถต่อยอดในการประยุกต์ฐานข้อมูล
4. สามารถบำรุงรักษาเครื่องมือวัดระดับน้ำ / สื่อสาร / คอมพิวเตอร์ ได้อย่างถูกต้อง ถูกวิธี
5. เรียนรู้การสอบเทียบเครื่องมือวัดระดับน้ำ / สื่อสาร
6. สร้างมุมมองในการพัฒนา sensor เพื่อใช้งานกับงานด้านอื่น ๆ
7. ได้แนวคิดในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ผลิตได้ภายในประเทศ
8. ได้เรียนรู้วิธีรับ - ส่งข้อมูลผ่านระบบคลื่นวิทยุ
9. จุดประกายความคิดในการพัฒนาและแก้ไขระบบโทรมาตรของกรมชลประทานให้ดีขึ้น
10. เป็นทางเลือกในการบริหารจัดการน้ำในโครงการชลประทานอื่นได้
11. สามารถพัฒนาเป็น River Automation System หรือพัฒนาไปใช้ในลุ่มน้ำต่าง ๆ ได้

4.7.4 ความคิดเห็นผู้เข้ารับการฝึกอบรมต่อระบบคลองอัตโนมัติ

(1) ระบบคลองอัตโนมัติมีสองพี่น้อง ส่วนที่มีประโยชน์และต้องการนำไปใช้งาน คือ

ระบบคลองอัตโนมัติส่วนที่มีประโยชน์และต้องการนำไปใช้งานคือ	%
[1] ระบบโทรมาตร	34
[2] ระบบโทรมาตรและระบบควบคุมระยะไกล	78
[3] ระบบควบคุมอัตโนมัติ	47
[4] ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน ระบบการตรวจและควบคุมน้ำด้วยมือดีและเหมาะสมอยู่แล้ว	0
[5] ถ้าตอบว่าไม่เหมาะสม กรุณาให้เหตุผลประกอบ	3
[6] มีผู้ไม่ตอบคำถามส่วนนี้	16
หมายเหตุ: ผู้เข้ารับการฝึกอบรมสามารถเลือกตอบได้มากกว่า 1	

(2) กรุณาระบุข้อดีและข้อเสียของระบบคลองอัตโนมัติ

ข้อดี

1. ประหยัดงบประมาณ และอัตรากำลัง
2. ทำให้บุคคลากรที่มีอยู่ต้องพัฒนาตัวเองให้ทันยุคทันสมัยไม่ล้าหลัง
3. เป็นการนำเทคโนโลยีมาร่วมกับการวางแผนการส่งน้ำทำให้สามารถควบคุมระบบการส่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดความยุ่งยากในปรับระดับน้ำในคลอง
4. ลดปัญหาน้ำท่วมหรือน้ำขาดได้ในระดับหนึ่ง
5. ใช้ได้ง่ายและสามารถปรับตัวเองให้เข้ากับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว
6. ระบบง่าย ไม่ซับซ้อน ดูแล้วเข้าใจ ควรเพิ่ม Animation อีกนิด
7. ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำ และระยะเปิดบานที่ถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็ว
8. สามารถสืบค้นข้อมูลได้ตลอดเวลา และสะดวก รวดเร็ว
9. อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถหาได้ภายในประเทศด้วยราคาไม่แพงมาก
10. ใช้มอเตอร์ขนาดเล็กใช้พลังงานที่ต่ำ
11. เป็นการพัฒนาระบบตรวจวัด โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
12. เปิด - ปิด ประตูน้ำได้ในระยะไกลได้
13. ระบบมี Software ที่ช่วยในการตัดสินใจได้เอง

ข้อเสีย

1. มีปัญหาเรื่องการลักขโมย
2. ค่าลงทุนสูง
3. ใช้เวลาในการปิด - เปิดบานระบายนานมาก
4. ระบบไฟฟ้า และแบตเตอรี่ต้องแก้ไข ต้องใช้ได้ 100% และมีระบบป้องกันฟ้าผ่า หรือไฟเกิน
5. ต้องการการดูแลบำรุงรักษาอุปกรณ์ในสนามให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้อยู่เสมอ
6. เจ้าหน้าที่ยังขาดความรู้ในการใช้งาน และบำรุงรักษาอุปกรณ์ และเครื่องมือ
7. ยังแก้ปัญหาไวรัสในคอมพิวเตอร์ และปัญหาเกี่ยวกับสภาพอากาศไม่ได้
8. ยังขาดการเชื่อมโยงข้อมูลทั้ง 2 ระบบให้ผ่านอินเตอร์เน็ต เพื่อให้ฝ่ายฯต่าง ๆ สามารถดูได้ทั้งหมด

9. อุปกรณ์ที่ใช้ไม่ได้มาตรฐาน ความแม่นยำยังไม่สูง และต้องมีการตรวจสอบบ่อย
10. ระบบการส่งสัญญาณต้องแก้ไข อย่าใช้เป็นระบบเสาอากาศ
11. ไม่มั่นใจกับอุปกรณ์ว่าจะอยู่ได้นานเท่าไหร่
12. ไม่มีการเก็บข้อมูลสำรองในสถานีสนาม
13. ถ้าข้อมูลไม่ถูกต้องทำให้การบริหารจัดการน้ำผิดพลาด
14. การใช้งานยังยุ่งยาก Interface ยังไม่สมบูรณ์ และขาด Menu help
15. ข้อมูลน่าจะมีการวัดความเร็วกระแสน้ำ และรายงานค่าความเร็วได้ เมื่อทราบระดับและพื้นที่หน้าตัดสามารถหาค่าความเร็วจากสูตร Manning ได้ บันทึกข้อมูลค่าความเร็วด้วย
16. ระบบตัดสินใจน่าจะใช้ศักยภาพของ sensor ตัดสินใจมากขึ้น
17. ระบบควบคุมยังไม่สมบูรณ์ยัง Sensitive และยังไม่ได้พัฒนาให้เต็มศักยภาพ
18. เป็นแนวความคิดทางใหม่ต้องปรับปรุง

(3) ข้อเสนอแนะสำหรับคณะทำงานเพื่อนำไปปรับปรุงระบบคลองอัตโนมัติให้ดีกว่าเดิม

ผู้เข้ารับการฝึกอบรมมีข้อเสนอแนะสำหรับคณะทำงานเพื่อนำไปปรับปรุงระบบคลองอัตโนมัติให้ดีกว่าเดิมดังต่อไปนี้

1. ปรับปรุงมอเตอร์ให้ทำงานได้เร็วขึ้น
2. ควรมีระบบไฟสำรองให้ sensor ตรวจวัดระดับน้ำกรณี Battery ถูกขโมย
3. เพิ่มศักยภาพและการทำงานของอุปกรณ์ควบคุม ตลอดจนระบบเตือนภัยเมื่อระดับน้ำเข้าสู่สภาวะวิกฤติ
4. ถ้าจะสื่อสารโดยวิทยุควรจะขอช่องสัญญาณในช่วง Band width หนึ่ง ๆ ไม่ใช่แค่ความถี่เดียว เพราะจะเกิด Harmonic ของสัญญาณรบกวน
5. ปรับปรุง protocal ที่มีการเข้ารหัส
6. ข้อมูลอาจมีข้อผิดพลาดเนื่องจากธรรมชาติไม่อำนวย เช่น ไม่มีแสงแดด ฝนตกติดต่อเป็นเวลานาน
7. เชื่อมโยงระบบฐานข้อมูลให้เป็นระบบทั้งโครงการ / มีฐานข้อมูล / การสำรวจระดับน้ำ / น้ำฝน และนำเข้าสู่ระบบ internet
8. ควรขยายระบบให้ครอบคลุมทุก ๆ โครงการโดยเน้นในคลองส่งน้ำและระบายน้ำสายหลัก ๆ ก่อน ในเขตสำนักฯ 13 เพื่อให้ข้อมูลเชื่อมโยงกันได้ทั้งสำนักฯ
9. ควรมีการทดลองหลาย ๆ โครงการที่มีสิ่งแวดล้อมต่างกัน

10. ปรับระดับบานของคลองซอย หรือ Check gate แล้วทำให้ ปตร.ปากคลอง adjust ตัวเองอัตโนมัติ
11. พัฒนาการปิด - เปิดบานของเขื่อนขนาดใหญ่ต่าง ๆ
12. ควรนำไปพัฒนาในการบริหารจัดการน้ำในระดับลุ่มน้ำ
13. ควรมีการพัฒนาอุปกรณ์ การส่งภาพแบบ Real Time เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน เช่น ส่งภาพบริเวณด้านท้ายอาคาร
14. ควรมีสัญญาณเตือน และติดกล้องวงจรปิด เมื่อมีผู้บุกรุกเข้ามา เพื่อป้องกันการขโมย
15. ควรจัดทำออกแบบ ระบบป้องกันการลักขโมยให้ครอบคลุมทุกอาคารที่มีระบบโทรมาตร
16. ต้องมีการสอบเทียบอาคารเป็นประจำทุกปี และตรวจสอบปรับเทียบอุปกรณ์ระบบคลองอัตโนมัติทุก 3 เดือน
17. ควรมีหน่วยงานให้การสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัยให้มากขึ้น
18. ควรนำระบบควบคุมมาใช้ให้สมบูรณ์มากกว่านี้ เนื่องจากมีระยะที่ควรเข้ามาเป็นตัวแปรในการควบคุมด้วยหลายอย่าง เช่น ระบบความปลอดภัยต่างๆ และระบบวัด

4.8 การติดตามประเมินผลการดำเนินงานการใช้เทคโนโลยีระบบคลองอัตโนมัติในโครงการนำร่อง

ผลการทดสอบใช้งานระบบคลองอัตโนมัติทั้งในระบบโทรมาตร และระบบอัตโนมัติ ระหว่างวันที่ 4 ธันวาคม 2549 – 31 ตุลาคม 2551 จะแยกเป็น 2 ประเด็น คือ (1) ความน่าเชื่อถือของระบบในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (2) ความน่าเชื่อถือในการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าประตูระบายกลางคลอง และ (3) ด้านอื่นๆ

4.8.1 ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือในการตรวจวัดและส่งข้อมูล(Reliability of Measurement)

ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของอุปกรณ์ระบบคลองอัตโนมัติทั้งสถานีแม่ข่ายและสถานีลูกข่ายในการตรวจวัดและส่งข้อมูล พบว่าในการทดสอบการทำงานตั้งแต่วันที่ 4 ธันวาคม 2549 - 31 ตุลาคม 2551 รวม 696 วัน พบว่า Robogate ของระบบคลองอัตโนมัติที่ ปตร.กลางคลองทั้ง 3 แห่ง ซึ่งออกแบบใช้สามารถตรวจวัดระดับน้ำและขนาดการเปิดบาน และส่งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์แม่ข่ายทุกครึ่งชั่วโมง อย่างไรก็ตามการตรวจวัดและส่งข้อมูลอาจประสบปัญหาต่างๆ มากมาย อาทิเช่น

(1) ปัญหาคลื่นวิทยุรบกวน เนื่องระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้องส่งข้อมูลจาก Remote Terminal Unit ไปยังสถานีแม่ข่ายด้วนระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF ความถี่ 139.00 โดยออกแบบให้ส่งข้อมูลแบบ Dual Tone Multi-frequency Encoder Data (DTMF) เพื่อป้องกันการรบกวน ของคลื่นสัญญาณ แต่จาการทดสอบการใช้งานพบว่ายังมีปัญหาคลื่นวิทยุรบกวนอยู่บ้าง

(2) ปัญหา Power Supply สถานีลูกข่ายในสนาม (RTU) ถูกออกแบบให้ใช้ไฟฟ้าจากแผง Solar Cell และเก็บสำรองไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ขนาด 12 V ซึ่งต้องมีการตรวจทำความสะอาดแผง Solar Cell และเติมน้ำกลั่น

(3) ปัญหาการลักขโมยแบตเตอรี่ ช่วงหลังของการทดสอบการใช้งานในปี 2551 (ระหว่าง 25 มิถุนายน 2551 – 31 ตุลาคม 2551) มีปัญหาคนขโมยแบตเตอรี่ จนทางโครงการต้องถอดแบตเตอรี่เก็บไว้ ทำให้ Robogate ไม่สามารถทำงานได้ในช่วงที่ไม่มีกระแสไฟฟ้า ประกอบกับ Controller ของระบบ Robogate ที่ออกแบบไว้ ใช้ไฟฟ้า 12 V แต่กระแสไฟฟ้าที่จ่ายโดยตรงจากแผง Solar Cell บางเวลาอาจมีความต่างศักย์สูงถึง 18 V ซึ่งเกินขีดความสามารถของ Regulator ที่ออกแบบไว้จะรองรับได้ ทำให้ Robogate มีปัญหาในการตรวจวัดและส่งข้อมูล และมีผลทำให้ทำให้ความน่าเชื่อในการตรวจวัดและส่งข้อมูลให้สถานีแม่ข่ายต่ำ

(4) ปัญหามดเข้าไปทำรังใน Controller และปล่อยกรดทำลายแผ่น Printed Circuit Broad (PCB)

(5) ปัญหาคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าดับ ไม่สามารถ Start เองได้ ต้องรอเจ้าหน้าที่มาเปิด บ่อยครั้งที่เกิดไฟฟ้าดับตอนกลางคืน คอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะไม่ทำงาน จนเช้า แต่ปัญหานี้ได้รับการแก้ไขแล้ว โดยการสร้าง PC Starter ดังรูปที่ 4.28 ช่วยเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ข่ายแทนเจ้าหน้าที่

จากสารพันปัญหาตามที่กล่าวมาแล้ว ทำให้มีข้อมูลบางส่วนสูญหายไป ค่าความน่าเชื่อถือในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Reliability of Measurement) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$RM = 100 \times \frac{NDR}{TND} \qquad (8)$$

เมื่อ RM = Reliability of Measurement มีหน่วยเป็น %

NDR = จำนวนข้อมูลที่วัดได้ (No. of Data Recorded)

TND = จำนวนครั้งที่ต้องวัด (Total No. of Data to be Recorded)

ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Reliability of Measurement) ของ Robogate ระหว่าง 4 ธันวาคม 2549 – 31 ตุลาคม 2551 พบว่า Robogate มีความน่าเชื่อถือมนการ

ตรวจวัดและส่งข้อมูล (Reliability of Measurement) 77% โดยเฉลี่ย ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.15 สาเหตุสำคัญที่ทำให้การตรวจวัดและส่งข้อมูลยังไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจาก ในการทดสอบช่วงที่ 3 ระหว่าง 25 มิถุนายน 2551 – 31 ตุลาคม 2551 มีปัญหาการขโมยแบตเตอรี่ตามที่กล่าวมาแล้ว ทำให้ Robogate มีปัญหาในการตรวจวัดและส่งข้อมูล และมีผลทำให้ทำให้ความน่าเชื่อในการตรวจวัดและส่งข้อมูลให้สถานีแม่ข่ายต่ำ ในช่วงระหว่าง 25 มิถุนายน 2551 – 31 ตุลาคม 2551 ต่ำมากเพียง 50 % เท่านั้น ต่ำกว่าการทดสอบใน 2 ช่วงแรกมาก จึงต้องหามาตรการในการป้องกันการรักขโมยแบตเตอรี่ต่อไป

4.8.2 ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือในการควบคุมระดับน้ำของ Robogate

ประตูระบายกลางคลอง คือเครื่องมือสำคัญสำหรับโครงการชลประทานในการควบคุมระดับน้ำให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย กรณีที่ควบคุมด้วยคน จะมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถให้คนคอยตรวจวัดและควบคุมบานระบายตลอดเวลา เพื่อควบคุมระดับน้ำให้อยู่ที่เป้าหมายตลอดเวลาได้ Robogate คืออุปกรณ์สำคัญในการควบคุมระดับน้ำในคลอง 5 L-2L ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย (Target Water Level, TWL) เมื่อทำงานในระบบอัตโนมัติ Robogate จะคอยตรวจสอบระดับน้ำด้านหน้า ปตร. ตลอดเวลา ว่าอยู่ที่ระดับน้ำเป้าหมายหรือไม่ ถ้าระดับน้ำต่างจากเป้าหมาย เกินกว่า 5 เซนติเมตร จะทำการสั่งเกียร์มอเตอร์ให้ทำการปรับบานจึงสามารถควบคุมระดับน้ำด้านหน้าบานประตูได้ถูกต้องแม่นยำกว่าการควบคุมด้วยมือ

ความน่าเชื่อถือในการควบคุมระดับน้ำ (Reliability of Water Level Control) จะคำนวณจากสูตรดังต่อไปนี้

$$RWLC = 100x(1-\frac{NWLdrop}{NWLmeasure}) \quad (9)$$

เมื่อ RWLC = Reliability of Water Level Control มีหน่วยเป็น %

NWLdrop = จำนวนครั้งที่ระดับน้ำต่ำกว่าเป้าหมาย (No. of Time Water Level Drop Below the Target Water Level by the Given Tolerance)

NWLmeasure = จำนวนครั้งที่ตรวจวัด (No.of Water Level Measurement)

สำหรับประตูระบายกลางคลอง 5L-2L กม. 3+650 , 9+813 และ 20+300 ระดับน้ำเป้าหมาย (Target Water Level) และค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิด (Given Tolerance) แสดงอยู่ในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.15 ความน่าเชื่อถือในการตรวจวัดและส่งข้อมูลของ Robogate

ปตร.	ผลการทดสอบระบบโทรมาตร 4 ธันวาคม 2549 – 3 มีนาคม 2551		
	จำนวนครั้งที่ต้องวัด	จำนวนข้อมูลที่วัดได้	% ความน่าเชื่อถือ
5L-2L กม. 3+650	21888	17769	81
5L-2L กม. 9+813	21888	19138	87
5L-2L กม. 20+300	21888	19526	89
ค่าเฉลี่ย			86
ปตร.	ผลการทดสอบระบบอัตโนมัติ 4 มีนาคม-24 มิถุนายน 2551		
	จำนวนครั้งที่ต้องวัด	จำนวนข้อมูลที่วัดได้	% ความน่าเชื่อถือ
5L-2L กม. 0+000	5424	4392	81
5L-2L กม. 3+650	5424	3858	71
5L-2L กม. 9+813	5424	4731	87
5L-2L กม. 20+300	5424	4642	86
ค่าเฉลี่ย			81
ปตร.	ผลการทดสอบระบบโทรมาตร 25 มิถุนายน-31 ตุลาคม 2551		
	จำนวนครั้งที่ต้องวัด	จำนวนข้อมูลที่วัดได้	% ความน่าเชื่อถือ
5L-2L กม. 0+000	6096	2446	40
5L-2L กม. 3+650	6096	3155	52
5L-2L กม. 9+813	6096	3636	60
5L-2L กม. 20+300	6096	2958	49
ค่าเฉลี่ย			50
ผลการทดสอบระบบการตรวจวัดและส่งข้อมูลในภาพรวม ระหว่าง 4 ธค.2549-31 ตค.2551			
	จำนวนครั้งที่ต้องวัด	จำนวนข้อมูลที่วัดได้	% ความน่าเชื่อถือ
รวม	111744	86251	77
Remark: % ความน่าเชื่อถือ=100*จำนวนข้อมูลที่วัดได้/จำนวนครั้งที่ต้องวัด			

ตารางที่ 4.16 ระดับน้ำเป้าหมายและค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิด

Cross Regulator	Target Water Level , TWL (m.MSL)	Target Water Depth, TWD(m)	Given Tolerance (m)
5L-2L km.3+650	15.5	3.35	10% of TWD
5L-2L km.9+813	14.4	3.25	10% of TWD
5L-2L km.20+300	10.6	2.8	10% of TWD

ผลการคำนวณความน่าเชื่อถือในการควบคุมระดับน้ำ (RWLC) แสดงอยู่ในตารางที่ 4.17 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในภาพรวมประตูระบายกลางคลอง 5 L-2L ทั้ง 3 ตัว มีความน่าเชื่อถือในการควบคุมระดับน้ำได้ 74 % ของเวลาที่ทดลอง หรือพูดง่ายๆ ใน 696 วัน สามารถควบคุมระดับน้ำให้ไม่ต่ำกว่าเป้าหมายได้ 563 วัน มี 198 วันที่ระดับน้ำต่ำกว่าเป้าหมายเกินกว่าค่า Tolerance ที่ยอมให้ ช่วงที่ระบบทำงานแบบอัตโนมัติความน่าเชื่อถือในการควบคุมระดับน้ำ (RWLC) สูงถึง 96 % ระบบคลองอัตโนมัติช่วยเพิ่มความสารถในการควบคุมระดับน้ำในคลอง 5L-2L

ตารางที่ 4.17 ความน่าเชื่อถือในการควบคุมระดับน้ำของ Robogate

ปตร.	ผลการทดสอบความสามารถในการควบคุมระดับน้ำ (4 ธค. 2549 – 3 มีค. 2551)		
	จำนวนครั้งที่ตรวจวัด	จำนวนครั้งที่ระดับน้ำต่ำกว่าเป้าหมาย	% ความน่าเชื่อถือ
5L-2L กม. 3+650	17769	1659	91
5L-2L กม. 9+813	19138	10290	46
5L-2L กม. 20+300	19526	4278	78
ค่าเฉลี่ย			72
ปตร.	ผลการทดสอบความสามารถในการควบคุมระดับน้ำ (4 มีค.-24 มิย. 2551)		
	จำนวนครั้งที่ตรวจวัด	จำนวนครั้งที่ระดับน้ำต่ำกว่าเป้าหมาย	% ความน่าเชื่อถือ
5L-2L กม. 3+650	3858	231	94
5L-2L กม. 9+813	4731	216	95
5L-2L กม. 20+300	4642	28	99
ค่าเฉลี่ย			96
ปตร.	ผลการทดสอบความสามารถในการควบคุมระดับน้ำ (25 มิย.-31 ตค. 2551)		
	จำนวนครั้งที่ตรวจวัด	จำนวนครั้งที่ระดับน้ำต่ำกว่าเป้าหมาย	% ความน่าเชื่อถือ
5L-2L กม. 3+650	3155	1452	54
5L-2L กม. 9+813	3636	2183	40
5L-2L กม. 20+300	2958	308	90
ค่าเฉลี่ย			61
ผลการทดสอบความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในภาพรวม ระหว่าง 4 ธค.2549-31 ตค.2551			
	จำนวนครั้งที่ตรวจวัด	จำนวนครั้งที่ระดับน้ำต่ำกว่าเป้าหมาย	% ความน่าเชื่อถือ
รวม	79413	20645	74
Remark: % ความน่าเชื่อถือ=100*(1-จำนวนครั้งที่ระดับน้ำต่ำกว่าเป้าหมาย/จำนวนครั้งที่ตรวจวัด)			

4.8.3 ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output performance)

ประตูระบายกลางคลอง คือเครื่องมือสำคัญสำหรับโครงการชลประทานในการควบคุมระดับน้ำให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายเพื่อให้สามารถส่งน้ำเข้าคลองซอยหรือคูน้ำได้ตามความต้องการ กรณีที่ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำหน้าประตูระบายกลางคลองให้อยู่ที่เป้าหมายได้ตลอดเวลา จะส่งผลให้การส่งน้ำเข้าสู่ระบบส่งน้ำในระดับถัดไป หรือพื้นที่เพาะปลูก ไม่เป็นไปตามแผนที่กำหนด และมีผลทำให้เกษตรกรไม่ได้รับน้ำในปริมาณที่ถูกต้องตรงตามที่กำหนดหรือตามความต้องการ

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ในการส่งน้ำมักใช้ค่าดรรชนีแสดงผลการส่งน้ำ 3 ตัว คือ ดรรชนี ความเพียงพอ (Adequacy indicator) ดรรชนีประสิทธิภาพ (Efficiency indicator) และดรรชนีความเป็นธรรม (Equity indicator) โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความต้องการน้ำของพืช กับปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูก ซึ่ง Molden and Gates (1990) ได้เสนอแนะเกณฑ์ในการพิจารณาคุณภาพการส่งน้ำออกเป็น 3ระดับ คือระดับดี (Good) ระดับพอใช้ (Fair) และระดับแย่ (Poor) ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 เกณฑ์ในการแบ่งคุณภาพการส่งน้ำ

ดรรชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำ	คุณภาพในการส่งน้ำ (Performance Class)		
	Good	Fair	Poor
Adequacy, PA	0.90 – 1.00	0.80 – 0.89	< 0.80
Efficiency, PE	0.85 – 1.00	0.70 – 0.84	< 0.70
Equity, PEQ	0.00 – 0.10	0.11 – 0.25	>0.25

ที่มา : Molden and Gate (1990)

(1) ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของพืช

ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของพืช (Crop irrigation water requirements) หมายถึงปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop evapotranspiration, ETc) รวมกับการสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึม (Deep Percolation, P) ลบด้วยปริมาณฝนใช้การ (Effective rainfall, RE) ซึ่งสามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังต่อไปนี้

$$Q_R = (\sum(ETc_i + P_i - RE_i) \times Area_i)*1.6 \qquad (10)$$

โดยที่ Q_R คือ ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของพืช มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

ETc คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

P คือ ปริมาณการรั่วซึมของน้ำในแปลงเพาะปลูก มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

RE คือ ปริมาณฝนใช้การ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

Area คือ พื้นที่เพาะปลูกของพืชชนิดต่าง ๆ มีหน่วยเป็นไร่

i คือชนิดของพืชที่ i

แผนการปลูกพืชของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง แสดงอยู่ในตารางที่ 4.19 ผลการสำรวจพื้นที่เพาะปลูกพืชชนิดต่างๆ ใน 3 ช่วงคลองของคลอง 5L-2L โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ในช่วงปี 2550-2551 แสดงอยู่ในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.19 แผนการปลูกพืชของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ชนิดพืช	พย.	ธค.	มค.	กพ.	มีค.	เมย	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.
ข้าว	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
อ้อย	▨	▨			▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
พืชไร่ (ข้าวโพด)					▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
พืชผัก (หน่อไม้ฝรั่ง)	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
ผลไม้ และไม้ยืนต้น	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨

ตารางที่ 4.20 พื้นที่เพาะปลูกใน 3 ช่วงคลองของคลองส่งน้ำ 5L – 2L

ชนิดพืช	**ช่วงคลองที่** 1 Km 0+020 – Km 3+650				
	นาปรัง 2 (50)	นาปี (50)	นาปรัง 1 (50/51)	นาปี (51)	นาปรัง 2 (51)
ข้าว	2,142	2,143	756	1,387	2,143
อ้อย	39,669	39,669	39,669	39,669	39,669
พืชไร่	292	292	292	292	292
พืชผัก	341	341	341	341	341
ผลไม้และไม้ยืนต้น	558	558	558	558	558
บ่อกุ้งและปลา	379	379	379	379	379
รวม	**43,380**	**43,381**	**41,994**	**42,625**	**43,381**

ตารางที่ 4.20 (ต่อ) พื้นที่เพาะปลูกใน 3 ช่วงคลองของคลองส่งน้ำ 5L – 2L

ชนิดพืช	**ช่วงคลองที่** 1 Km 0+020 – Km 3+650				
	นาปรัง 2 (50)	นาปี (50)	นาปรัง 1 (50/51)	นาปี (51)	นาปรัง 2 (51)
	ช่วงคลองที่ 2 Km 3+650 – Km 9+813				
ข้าว	7,971	7,974	2,813	5,160	7,973
อ้อย	62,074	62,074	62,074	62,074	62,074
พืชไร่	1,175	1,175	1,175	1,175	1,175
พืชผัก	562	562	562	562	562
ผลไม้และไม้ยืนต้น	406	406	406	406	406
บ่อกุ้งและปลา	982	982	982	982	982
รวม	**73,170**	**73,172**	**68,012**	**70,359**	**73,172**
ชนิดพืช	**ช่วงคลองที่** 3 Km 9+813 – Km 20+300				
	นาปรัง 2 (50)	นาปี (50)	นาปรัง 1 (50/51)	นาปี (51)	นาปรัง 2 (51)
ข้าว	4,223	4,224	1,490	2,734	4,224
อ้อย	27,686	27,686	27,686	27,686	27,686
พืชไร่	457	457	457	457	457
พืชผัก	302	302	302	302	302
ผลไม้และไม้ยืนต้น	481	481	481	481	481
บ่อกุ้งและปลา	1,062	1,062	1,062	1,062	1,062
รวม	**34,209**	**34,210**	**31,477**	**32,720**	**34,210**

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ETc) หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชดูดเอาไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตโดยการคายน้ำและปริมาณน้ำที่ระเหยไปจากผิวดินที่มีน้ำขังอยู่ด้วยในพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งสามารถคำนวณจากข้อมูลภูมิอากาศและค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช จากสูตร

$$ETc = Kc \times ETo \qquad (11)$$

โดยที่ ETc คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน

Kc คือ สัมประสิทธิการใช้น้ำของพืช (Crop coefficient) แสดงในตารางที่ 21

ETo คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน แสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.21 สัมประสิทธิการใช้น้ำของพืช (Crop coefficient)

สัปดาห์ที่	ชนิดพืช		เดือนที่	ชนิดพืช		
	ข้าว กข. นาหว่านน้ำตม	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์		อ้อย	หน่อไม้ฝรั่ง	ส้มโอ
1	-	0.63	1	0.65	0.68	1.90
2	-	0.72	2	0.86	1.10	1.74
3	0.80	0.86	3	1.13	1.42	1.62
4	1.05	1.13	4	1.35	1.48	1.45
5	1.25	1.35	5	1.56	1.29	1.12
6	1.40	1.52	6	1.29	1.08	1.02
7	1.50	1.61	7	1.20	0.83	1.13
8	1.55	1.63	8	0.93	0.66	1.97
9	1.60	1.58	9	0.63	0.55	2.44
10	1.63	1.50	10	0.52	0.61	2.36
11	1.68	0.61	11		0.76	1.97
12	1.60		12		0.74	1.96
13	1.50					
14	1.35					
15	1.08					
16	0.65					

ที่มา: ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ. 2551.

การรั่วซึม (P) หมายถึงการสูญเสียน้ำเนื่องจากการซึมลึกลงในดินเลยเขตที่ราก และพืชไม่สามรถจะสามารถนำมาใช้ได้ โดยเฉพาะข้าวซึ่งเป็นพืชที่มีการขังน้ำไว้ในพื้นที่เพาะปลูกตลอดเวลา ค่าการรั่วซึมขึ้นอยู่กับชนิดดินและโครงสร้างดิน ความลึกดินในการไถพรวนหรือเตรียมแปลง ระดับน้ำในแปลงนาและระดับน้ำใต้ดิน ค่าเฉลี่ยของการรั่วซึมน้ำในแปลงนาในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องเท่ากับ 0.84 มม./วัน (ประพันธ์, 2539)

ตารางที่ 4.22 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) คำนวณโดยวิธี Penman Monteith ของโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง

เดือน	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo)			
	สุพรรณบุรี	กาญจนบุรี	โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง	
	(มม. / วัน)	(มม. / วัน)	(มม. / วัน)	(มม. / สัปดาห์)
พฤศจิกายน	4.10	3.80	4.06	28.44
ธันวาคม	3.90	3.60	3.86	27.04
มกราคม	3.80	3.70	3.79	26.51
กุมภาพันธ์	4.60	4.40	4.57	32.02
มีนาคม	5.50	5.30	5.47	38.32
เมษายน	5.90	5.70	5.87	41.12
พฤษภาคม	5.30	5.10	5.27	36.92
มิถุนายน	4.90	4.50	4.85	33.95
กรกฎาคม	4.70	4.40	4.66	32.64
สิงหาคม	4.40	4.20	4.37	30.62
กันยายน	4.10	4.00	4.09	28.61
ตุลาคม	4.10	3.90	4.07	28.52

ที่มา: http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/CWRdata/ET&ETo/PM-M_West.htm 27/5/2009

ปริมาณฝนใช้การ หมายถึง ปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกและพืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ฝนใช้การขึ้นอยู่กับปริมาณฝนและช่วงเวลาที่ตก และชนิดของพืช ซึ่งสามารถหาได้จากสัมพันธ์ระหว่างฝนใช้การ (Effective Rainfall) กับฝนรายสัปดาห์ (Rainfall) ดังสมการต่อไปนี้

$$RE = R \quad \text{เมื่อ} \quad R \leq R^* \qquad (12)$$

และ

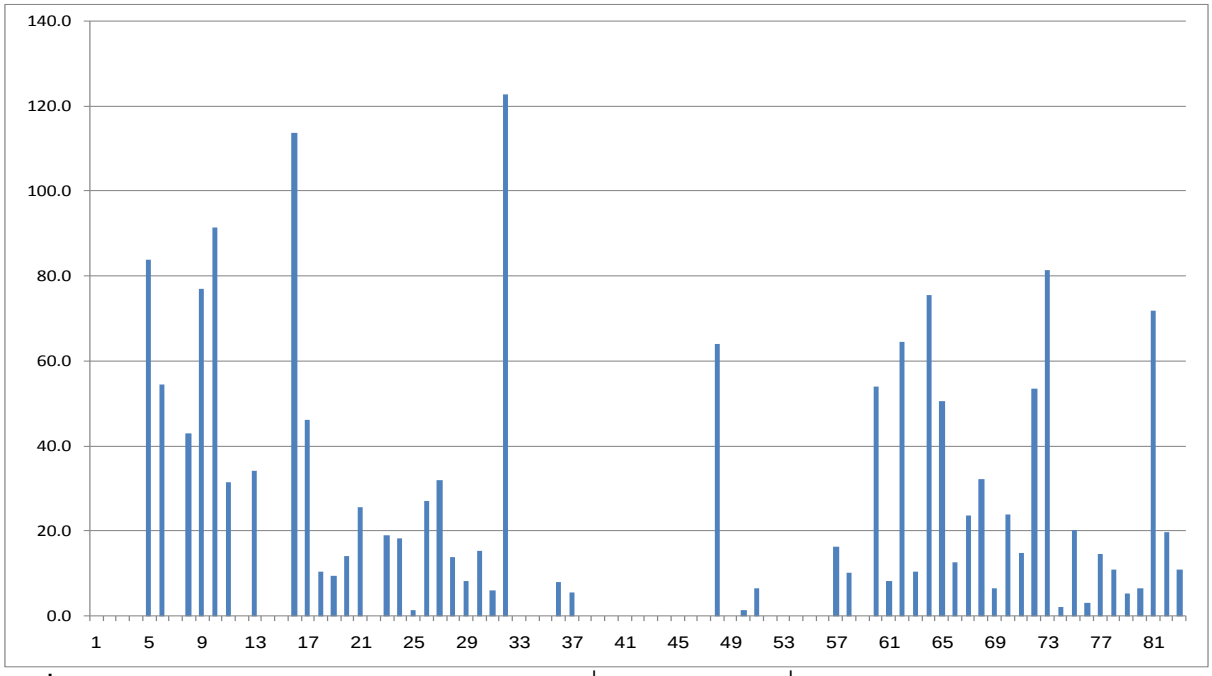
$$RE = A^*R + B \quad \text{เมื่อ} \quad R > R^* \qquad (13)$$

โดยที่ RE คือ ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) หน่วยเป็น มิลลิเมตร / สัปดาห์

R คือ ปริมาณฝนที่ตก (Rainfall) หน่วยเป็น มิลลิเมตร / สัปดาห์ ปริมาณฝนรายสัปดาห์ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องระหว่าง 6 มีนาคม 2550 – 31 ตุลาคม 2551 แสดงอยู่ในตารางที่ 4.44

R* คือ ปริมาณฝน ณ จุดที่ฝนใช้การเริ่มน้อยกว่าฝนที่ตกหน่วยเป็น มิลลิเมตร / สัปดาห์

A และ B คือค่าสัมประสิทธิ์ฝนใช้การในสมการที่ 13 ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.23



รูปที่ 4.44 ข้อมูลฝนรายสัปดาห์ของโครงการฯสองพี่น้อง ระหว่างวันที่ 6 มีนาคม 2550 – 31 ตุลาคม 2551

ตารางที่ 4.23 ค่าสัมประสิทธิฝนใช้การสำหรับข้าวและพืชไร่ สำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

เดือน	ฝนใช้การของนาข้าว			ฝนใช้การของพืชไร่		
	R*	A	B	R*	A	B
พฤศจิกายน	59.00	0.55	26.10	29.00	0.78	6.38
ธันวาคม	59.00	0.55	26.10	29.00	0.78	6.38
มกราคม	59.00	0.55	26.10	29.00	0.78	6.38
กุมภาพันธ์	59.00	0.55	26.10	29.00	0.78	6.38
มีนาคม	59.00	0.55	26.10	29.00	0.78	6.38
เมษายน	59.00	0.55	26.10	29.00	0.78	6.38
พฤษภาคม	53.00	0.44	29.68	25.00	0.63	9.25
มิถุนายน	55.00	0.46	29.70	27.00	0.70	8.10
กรกฎาคม	60.00	0.75	15.00	26.00	0.65	9.10
สิงหาคม	50.00	0.56	22.00	25.00	0.64	9.00
กันยายน	42.00	0.39	25.62	22.00	0.42	12.76
ตุลาคม	30.00	0.25	22.50	18.00	0.27	13.14

ที่มา: วัชระ (2537)

(2) ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Conveyance Efficiency, Ec)

ประสิทธิภาพการส่งน้ำหมายถึง ร้อยละของอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ส่งออกจากระบบส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูกต่อปริมาณน้ำที่ส่งเข้าสู่คลองส่งน้ำทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$Ec = Ec_M \times Ec_L \times Eab \quad (14)$$

$$Ec_M = 1 - \Sigma Loss_M / \Delta Q'_M \quad (15)$$

$$Ec_L = 1 - \Sigma Loss_L / \Sigma Q'_L \quad (16)$$

โดยที่ Ec คือ ประสิทธิภาพการส่งน้ำรวมมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

Ec_M คือ ประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายใหญ่มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

Ec_L คือ ประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายซอยมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

Eab คือ ประสิทธิภาพการส่งน้ำของแฉกส่งน้ำมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่า Eab ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องเท่ากับ 80% (ประพันธ์, 2539)

Loss คือ อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำมีหน่วยเป็นอัตราการสูญเสียต่อระยะทาง ดังแสดงในตารางที่ 4.24

Q´ คือ ปริมาณน้ำที่ส่งให้คลองส่งน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

ตารางที่ 4.24 อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำตามลักษณะคลอง

ลักษณะคลอง	ความจุสูงสุด (cms)	อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำ (%ของความจุสูงสุดต่อกิโลเมตร)
คลองสายใหญ่ดาดคอนกรีต	20.249	0.44
คลองซอยดาดคอนกรีต	5.287	0.91
คลองซอยไม่ดาดคอนกรีต	2.954	2.35

ค่าประสิทธิภาพการส่งน้ำรวม (Ec) ซึ่งประมาณจากสมการที่ 14 สำหรับช่วงคลองที่ 1 (ประตูปากคลอง กม. 0+020 – กม.3+650) ช่วงคลองที่ 2 (ประตูระบายกลางคลอง กม. 3+650 – กม.9+813) ช่วงคลองที่ 3 (ประตูระบายกลางคลอง กม.9+813– กม.20+300) ของคลอง 5L – 2L มีค่าเท่ากับ 69, 66 และ 70 % ตามลำดับ ซึ่งจะนำมาใช้ในการคำนวณค่าดรรชนีแสดงผลการส่งน้ำ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

(3) การคำนวณดรรชนีแสดงผลการส่งน้ำ

(3.1) **ดรรชนีความเพียงพอ** (Adequacy indicator) จะคำนวณจากสูตร ดังต่อไปนี้

$$PA_{t,n} = \left(Q_A / Q_R\right)_{t,n} \quad ;t = 1,\ 2, \ldots, T \quad ;n = 1, 2, \ldots, N \qquad (17)$$

$$PA_{t,n} = 1.0 \quad ; Q_A > Q_R$$

$$PA_t = \frac{1}{N} \sum PA_{t,n}$$

$$Q_A = \frac{Q'_A \times Ec}{100}$$

โดยที่ $PA_{t,n}$ คือ ดรรชนีความเพียงพอของปริมาณน้ำที่ส่งให้ช่วงคลองที่ n ในฤดูส่งน้ำ t มีค่า 0 – 1

PA_t คือ ดรรชนีความเพียงพอรวมของระบบส่งน้ำตลอดฤดูกาล มีค่า 0 – 1

$(Q_A)_{t,n}$ คือ ปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกในช่วงคลองที่ n ได้รับ ในฤดูกาล t มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร แสดงในตารางที่ 4.25

$(Q'_A)_{t,n}$ คือ ปริมาณน้ำที่ส่งให้ช่วงคลองที่ n ในฤดูกาล t มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร แสดงในตารางที่ 4.25

$(Q_R)_{t,n}$ คือ ปริมาณน้ำที่พืชในช่วงคลองที่ n ต้องการ ในฤดูกาล t มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร แสดงในตารางที่ 4.25

Ec คือ ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เปอร์เซ็นต์)

n คือ จำนวนช่วงคลองในระบบส่งน้ำมีค่า 1, 2, …, N

t คือ จำนวนฤดูกาลส่งน้ำที่พิจารณามีค่า 1, 2, …, T

ข้อมูลปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ (Q_A) และปริมาณความต้องการน้ำของพืช (Q_R) สำหรับ 3 ช่วงคลองที่ศึกษา ใน 5 ฤดูกาลระหว่าง 6 มีนาคม 2550 – 31 ตุลาคม 2551 แสดงอยู่ในรูปที่ 45 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับบางสัปดาห์สูงกว่าปริมาณความต้องการน้ำของพืช แต่บางสัปดาห์ต่ำกว่า และถ้าช่วงคลองต้นน้ำใช้น้ำมากจะมีผลต่อช่วงคลองท้ายน้ำ ดังเช่นฤดูนาปี 2551 ช่วงคลองที่ 1 ใช้น้ำมากทำให้ช่วงคลองที่ 3 ขาดน้ำ หรือในทางกลับกันถ้าช่วงคลองต้นน้ำใช้น้ำน้อย จะมีน้ำเหลือให้ช่วงคลองท้ายน้ำมาก ดังเช่น ฤดูนาปรัง 2 ของปี 2550

ดรรชนีความเพียงพอของปริมาณน้ำที่ส่งให้ 3 ช่วงคลอง ใน 5 ฤดูส่งน้ำ มีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.25 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งเข้าสู่ระบบคลองส่งน้ำ (Q'_A) ปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ (Q_A)และปริมาณน้ำที่พืชต้องการ (Q_R) (ล้านลูกบาศก์เมตร / สัปดาห์)

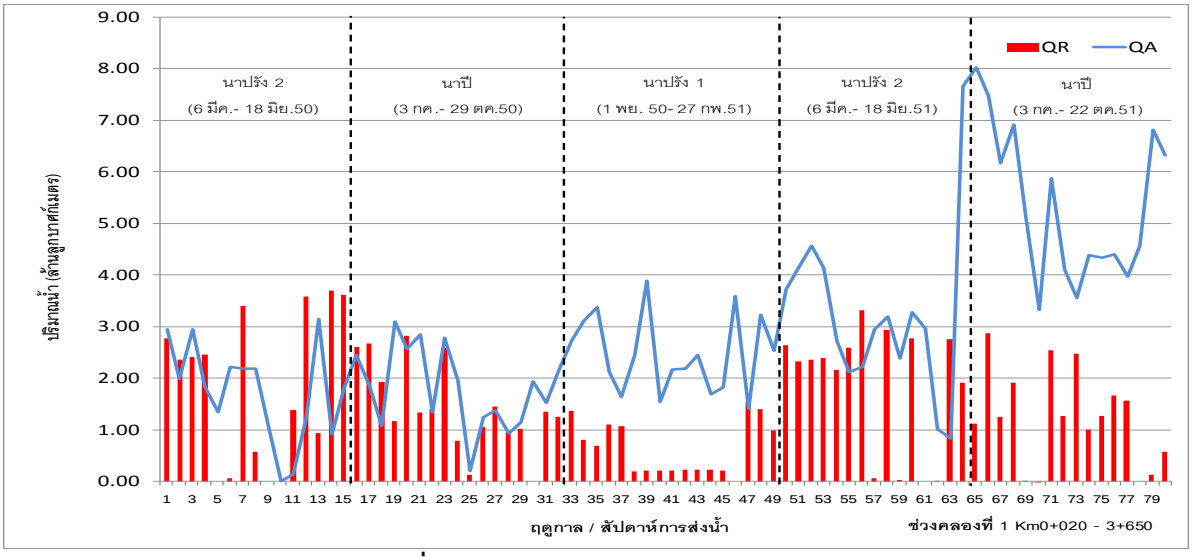
ฤดูกลาล /สัปดาห์		ช่วงคลองที่ 1			ช่วงคลองที่ 2			ช่วงคลองที่ 3		
		Q'_A	Q_A	Q_R	Q'_A	Q_A	Q_R	Q'_A	Q_A	Q_R
นาปรัง 2	1	4.27	2.93	2.77	2.66	1.75	4.97	9.78	6.89	2.45
6 มีค.50 -	2	2.88	1.98	2.37	2.93	1.93	3.91	10.69	7.53	1.84
18 มิย.50	3	4.28	2.94	2.41	2.94	1.94	4.01	9.77	6.88	1.91
	4	2.66	1.83	2.46	2.82	1.86	4.12	11.68	8.22	1.97
	5	1.93	1.33	0.00	3.69	2.43	0.00	9.15	6.44	0.00
	6	3.23	2.22	0.07	2.65	1.75	0.19	8.74	6.16	0.11
	7	3.18	2.18	3.40	2.08	1.37	5.68	6.17	4.35	2.70
	8	3.18	2.19	0.58	2.72	1.79	1.07	8.74	6.16	0.54
	9	1.63	1.12	0.00	5.52	3.63	0.00	4.55	3.20	0.00
	10	0.00	0.00	0.00	5.89	3.88	0.00	2.52	1.78	0.00
	11	0.18	0.13	1.40	3.06	2.02	2.36	1.69	1.19	1.13
	12	1.84	1.26	3.58	4.86	3.20	5.96	1.26	0.89	2.80
	13	4.55	3.13	0.94	4.76	3.13	1.57	1.58	1.12	0.75
	14	1.33	0.91	3.69	5.03	3.31	6.03	2.41	1.69	2.81
	15	2.61	1.80	3.61	4.15	2.73	5.83	6.46	4.55	2.68
		37.75	**25.96**	**27.28**	**55.77**	**36.72**	**45.69**	**95.20**	**67.04**	**21.69**
นาปี	1	3.56	2.45	2.62	4.40	2.90	4.63	2.14	1.51	2.29
3 กค. 50 -	2	2.69	1.85	2.68	3.19	2.10	4.69	2.73	1.92	2.32
29 ตค.50	3	1.56	1.07	1.94	3.60	2.37	3.08	2.47	1.74	1.44
	4	4.50	3.09	1.18	3.55	2.34	1.88	1.78	1.25	0.90
	5	3.71	2.55	2.83	3.71	2.44	4.62	0.63	0.45	2.19
	6	4.13	2.84	1.33	3.75	2.47	2.21	1.44	1.01	1.07
	7	1.96	1.35	1.40	5.20	3.42	2.34	1.62	1.14	1.14
	8	4.05	2.78	2.60	4.60	3.03	4.31	2.34	1.65	2.06
	9	2.83	1.94	0.80	5.60	3.68	1.37	1.66	1.17	0.69
	10	0.30	0.21	0.14	6.05	3.98	0.31	0.00	0.00	0.19
	11	1.81	1.25	1.07	7.23	4.76	1.87	0.00	0.00	0.94
	12	2.00	1.38	1.45	5.42	3.57	2.50	0.00	0.00	1.23
	13	1.34	0.92	0.95	8.84	5.82	1.67	0.00	0.00	0.83

ตารางที่ 4.25 (ต่อ) ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งเข้าสู่ระบบคลองส่งน้ำ (Q'_A) ปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ (Q_A)และปริมาณน้ำที่พืชต้องการ (Q_R) (ล้านลูกบาศก์เมตร / สัปดาห์)

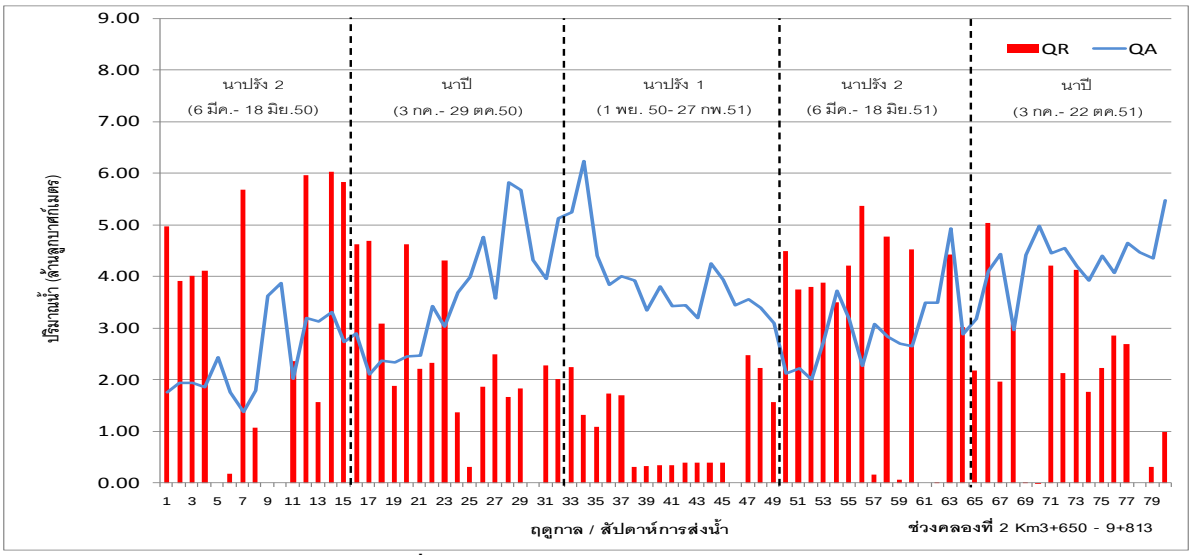
ฤดูกลาล /สัปดาห์		ช่วงคลองที่ 1			ช่วงคลองที่ 2			ช่วงคลองที่ 3		
		Q'_A	Q_A	Q_R	Q'_A	Q_A	Q_R	Q'_A	Q_A	Q_R
นาปี	14	1.66	1.14	1.03	8.62	5.68	1.83	0.01	0.00	0.92
3 กค. 50 -	15	2.81	1.93	0.00	6.57	4.33	0.00	0.00	0.00	0.00
29 ตค.50	16	2.20	1.51	1.36	5.99	3.95	2.28	0.02	0.02	1.09
	17	3.09	2.13	1.26	7.78	5.12	2.01	0.00	0.00	0.93
		44.19	**30.39**	**24.62**	**94.11**	**61.97**	**41.61**	**16.83**	**11.85**	**20.24**
นาปรัง 1	1	3.96	2.72	1.37	7.97	5.25	2.24	0.10	0.07	1.17
1 พย. 50-	2	4.52	3.11	0.81	9.48	6.24	1.33	0.06	0.04	0.75
27 กพ.51	3	4.91	3.38	0.70	6.67	4.39	1.09	0.00	0.00	0.54
	4	3.08	2.12	1.12	5.84	3.85	1.74	0.50	0.35	0.85
	5	2.37	1.63	1.08	6.09	4.01	1.69	0.39	0.28	0.84
	6	3.55	2.44	0.20	5.95	3.92	0.32	0.90	0.63	0.23
	7	5.65	3.88	0.21	5.08	3.35	0.34	0.55	0.39	0.24
	8	2.24	1.54	0.22	5.79	3.81	0.35	1.19	0.84	0.25
	9	3.14	2.16	0.22	5.20	3.42	0.36	1.17	0.82	0.25
	10	3.18	2.19	0.23	5.22	3.44	0.39	1.09	0.77	0.26
	11	3.54	2.44	0.24	4.85	3.19	0.40	2.85	2.01	0.27
	12	2.45	1.69	0.23	6.47	4.26	0.40	3.06	2.16	0.27
	13	2.65	1.82	0.22	5.99	3.95	0.40	3.32	2.34	0.26
	14	5.20	3.58	0.00	5.24	3.45	0.00	1.87	1.32	0.00
	15	2.04	1.41	1.55	5.40	3.56	2.48	1.06	0.74	1.18
	16	4.69	3.22	1.40	5.15	3.39	2.24	1.53	1.08	1.05
	17	3.67	2.53	0.99	4.70	3.10	1.57	1.51	1.06	0.72
		60.86	**41.85**	**10.79**	**101.08**	**66.56**	**17.33**	**21.15**	**14.90**	**9.12**
นาปรัง 2	1	5.41	3.72	2.64	3.21	2.12	4.49	4.91	3.46	2.20
6 มีค. 51-	2	6.04	4.16	2.33	3.36	2.21	3.75	4.72	3.32	1.76
18 มิย.51	3	6.63	4.56	2.36	3.04	2.00	3.80	5.05	3.56	1.80
	4	6.02	4.14	2.39	4.18	2.75	3.87	3.97	2.80	1.84
	5	3.93	2.70	2.16	5.64	3.72	3.50	3.01	2.12	1.66
	6	3.06	2.11	2.60	4.82	3.17	4.22	3.58	2.52	2.00

ตารางที่ 4.25 (ต่อ) ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งเข้าสู่ระบบคลองส่งน้ำ (Q'_A) ปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ (Q_A)และปริมาณน้ำที่พืชต้องการ (Q_R) (ล้านลูกบาศก์เมตร / สัปดาห์)

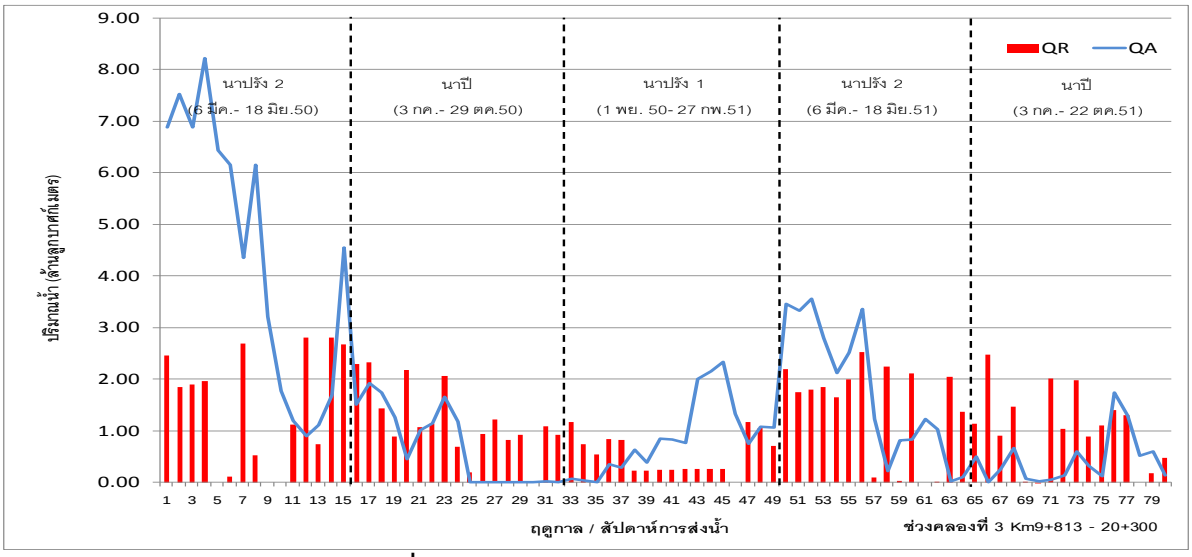
ฤดูกลาล /สัปดาห์		ช่วงคลองที่ 1			ช่วงคลองที่ 2			ช่วงคลองที่ 3		
		Q'_A	Q_A	Q_R	Q'_A	Q_A	Q_R	Q'_A	Q_A	Q_R
นาปรัง 2	7	3.21	2.21	3.31	3.43	2.26	5.37	4.77	3.36	2.53
6 มีค. 51-	8	4.28	2.94	0.08	4.67	3.08	0.17	1.74	1.22	0.11
18 มิย.51	9	4.63	3.18	2.94	4.29	2.82	4.78	0.31	0.22	2.24
	10	3.47	2.38	0.03	4.09	2.69	0.06	1.14	0.81	0.04
	11	4.75	3.27	2.78	4.02	2.65	4.52	1.18	0.83	2.12
	12	4.30	2.96	0.00	5.29	3.49	0.00	1.74	1.22	0.00
	13	1.48	1.02	0.02	5.30	3.49	0.02	1.46	1.03	0.02
	14	1.21	0.83	2.76	7.50	4.94	4.42	0.02	0.01	2.04
	15	11.12	7.65	1.92	4.38	2.89	3.02	0.14	0.10	1.37
		69.54	**47.82**	**28.33**	**67.24**	**44.27**	**46.00**	**37.72**	**26.57**	**21.74**
นาปี	1	11.65	8.01	1.13	4.83	3.18	2.17	0.70	0.49	1.14
3 กค. 51-	2	10.86	7.47	2.88	6.22	4.10	5.03	0.00	0.00	2.48
22 ตค.51	3	8.95	6.16	1.25	6.74	4.44	1.96	0.36	0.25	0.92
	4	10.03	6.90	1.92	4.50	2.96	3.10	0.94	0.66	1.46
	5	7.43	5.11	0.02	6.71	4.42	0.02	0.08	0.06	0.02
	6	4.83	3.32	0.00	7.56	4.98	0.00	0.03	0.02	0.00
	7	8.52	5.86	2.55	6.76	4.45	4.21	0.08	0.06	2.02
	8	5.96	4.10	1.27	6.91	4.55	2.13	0.19	0.13	1.04
	9	5.17	3.55	2.49	6.37	4.20	4.13	0.84	0.59	1.98
	10	6.38	4.39	1.02	5.94	3.91	1.78	0.45	0.32	0.89
	11	6.29	4.33	1.28	6.68	4.40	2.22	0.16	0.11	1.10
	12	6.40	4.40	1.67	6.19	4.07	2.86	2.47	1.74	1.40
	13	5.76	3.96	1.58	7.07	4.66	2.70	1.83	1.29	1.31
	14	6.63	4.56	0.00	6.79	4.47	0.00	0.73	0.51	0.00
	15	9.89	6.80	0.14	6.60	4.35	0.31	0.86	0.60	0.19
	16	9.18	6.31	0.58	8.31	5.47	0.99	0.19	0.13	0.49
		123.94	**85.23**	**19.77**	**104.18**	**68.60**	**33.61**	**9.91**	**6.98**	**16.45**



ช่วงคลองที่ 1 กม.0+020 - 3+650 **ของคลอง** 5L-2L



ช่วงคลองที่ 2 กม.3+650 – 9+813 **ของคลอง** 5L-2L



ช่วงคลองที่ 3 กม.9+813 – 20+300 **ของคลอง** 5L-2L

รูปที่ 4.45 ข้อมูลปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ (Q_A) กับปริมาณความต้องการน้ำของพืช (Q_R)

(3.2) **ดรรชนีประสิทธิภาพ** (Efficiency indicator) จะคำนวณจากสูตร ดังต่อไปนี้

$$PE_{t,n} = \left(Q_R / Q'_A\right)_{t,n} \quad ; t = 1,\ 2, \ldots, T \quad ; n = 1, 2, \ldots, N \tag{18}$$

$$PE_{t,n} = 1.0 \quad ; Q_R > Q'_A$$

$$PE_T = \frac{1}{N} \sum PE_{t,n}$$

โดยที่ $PE_{t,n}$ คือ ดรรชนีประสิทธิภาพการชลประทานของช่วงคลองที่ n ในฤดูกาล t มีค่า 0 – 1 ผลการคำนวณประสิทธิภาพการชลประทาน แสดงอยู่ในตารางที่ 4.26

PE คือ ดรรชนีประสิทธิภาพรวมของระบบส่งน้ำตลอดฤดูกาล มีค่า 0 – 1

$(Q'_A)_{t,n}$ คือ ปริมาณน้ำที่ส่งให้ช่วงคลองที่ n ในฤดูกาล t (ลูกบาศก์เมตร)

$(Q_R)_{t,n}$ คือ ปริมาณน้ำที่พืชในช่วงคลองที่ n ต้องการ ในฤดูกาล t (ลูกบาศก์เมตร)

n คือ จำนวนช่วงคลองในระบบส่งน้ำมีค่า 1, 2, …, N

t คือ จำนวนฤดูกาลส่งน้ำที่พิจารณามีค่า 1, 2, …, T

(3.3) **ดรรชนีความเป็นธรรม** (Equity indicator) จะคำนวณจากสูตร ดังต่อไปนี้

$$PEQ_t = CV_t\left(\frac{Q_A}{Q_R}\right)_{t,n} \tag{18}$$

$$CV_t\left(\frac{Q_A}{Q_R}\right)_{t,n} = \frac{SD_t\left(\frac{Q_A}{Q_R}\right)_{t,n}}{Mean_t\left(\frac{Q_A}{Q_R}\right)_{t,n}}$$

โดยที่ PEQ_t คือ ดรรชนีความเป็นธรรมในการส่งน้ำของระบบคลองส่งน้ำในฤดูกาล t มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 0 ผลการคำนวณแสดงอยู่ในตารางที่ 4.26

CV_t ( ) คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variance) ในฤดูกาล t ของอัตราส่วนปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ ต่อปริมาณน้ำที่พืชต้องการในช่วงคลองต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ

SD_t ( ) คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในฤดูกาล t ของอัตราส่วนปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับต่อปริมาณน้ำที่พืชต้องการในช่วงคลองต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ

$Mean_t$ ( ) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ในฤดูกาล t ของอัตราส่วนปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ ต่อปริมาณน้ำที่พืชต้องการในช่วงคลองต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ

$(Q_A)_{t,n}$ คือ ปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกในช่วงคลองที่ n ได้รับ ในฤดูกาล t (ลูกบาศก์เมตร)

$(Q_R)_{t,n}$ คือ ปริมาณน้ำที่พืชในช่วงคลองที่ n ต้องการ ในฤดูกาล t (ลูกบาศก์เมตร)

n คือ จำนวนช่วงคลองในระบบส่งน้ำมีค่า 1, 2, …, N

t คือ จำนวนฤดูกาลส่งน้ำที่พิจารณามีค่า 1, 2, …, T

ตารางที่ 4.26 ดรรชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 5L – 2L

ฤดูกาล	ช่วงคลองที่ 1		ช่วงคลองที่ 2		ช่วงคลองที่ 3		ระบบส่งน้ำ 5L-2L		
	PA	PE	PA	PE	PA	PE	PA	PE	PEQ
นาปรัง 2 (50)	0.95	0.73	0.80	0.67	1.00	0.22	0.92	0.54	0.03
(6 มีค.- 18 มิย.50)									
ระบบโทรมาตร	Good	Fair	Fair	Poor	Good	Poor	Good	Poor	Good
นาปี (50)	1.00	0.56	1.00	0.44	0.59	1.00	0.86	0.67	0.28
(3 กค.- 29 ตค.50)									
ระบบโทรมาตร	Good	Poor	Good	Poor	Poor	Good	Fair	Poor	Poor
นาปรัง 1 (50/51)	1.00	0.18	1.00	0.17	1.00	0.43	1.00	0.26	0.00
(1 พย. 50- 27 กพ.51)									
ระบบโทรมาตร	Good	Poor	Good	Poor	Good	Poor	Good	Poor	Good
นาปรัง 2 (51)	1.00	0.41	0.96	0.68	1.00	0.58	0.99	0.56	0.02
(6 มีค.- 18 มิย.51)									
ระบบอัตโนมัติ	Good	Poor	Good	Poor	Good	Poor	Good	Poor	Good
นาปี (51)	1.00	0.16	1.00	0.32	0.42	1.00	0.81	0.49	1.69
(3 กค.- 22 ตค.51)									
ระบบโทรมาตร	Good	Poor	Good	Poor	Poor	Good	Fair	Poor	Poor

จากผลการคำนวณดรรชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output performance indicators) ในตารางที่ 4.26 จะเห็นได้ว่า ตามเกณฑ์ของ Moden and Gate (1990) ในภาพรวมคลอง 5L-2L สามารถส่งและควบคุมน้ำได้เพียงพอกับความต้องการอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นในฤดูนาปีดรรชนีความเพียงพออยู่ในเกณฑ์พอใช้ (PA มีค่าอยู่ระหว่าง 0.81-1.00) แต่ประสิทธิภาพการชลประทานยังอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง (PE มี

ค่าอยู่ระหว่าง 0.26-0.67) และความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นในฤดูนาปี ซึ่งต้องปรับปรุง (PEQ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00-1.69) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระบบการควบคุมน้ำระหว่างระบบอัตโนมัติและระบบโทรมาตร พบว่าช่วงที่ส่งและควบคุมน้ำในระบบอัตโนมัติความเพียงพอและความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ประสิทธิภาพยังต้องปรับปรุง ถือว่าคุณภาพการส่งและควบคุมน้ำในภาพรวมไม่แตกต่างจากระบบโทรมาตรในช่วงฤดูแล้ง แต่ดีกว่าการส่งและควบคุมน้ำในระบบโทรมาตรในช่วงนาปี

ดรรชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำสะท้อนความจริงที่ว่าช่วงคลองต้นน้ำได้รับน้ำมาก และไม่เกิดการขาดน้ำ แต่ประสิทธิภาพจะต่ำ และมีผลกระทบต่อความเพียงพอในการได้รับน้ำของช่วงคลองท้ายน้ำ

การใช้งานระบบคลองอัตโนมัติ สามารถช่วยลดภาระของพนักงานส่งน้ำลงได้ ซึ่งปัจจุบันจำนวนพนักงานส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง และโครงการชลประทานอื่นๆ ในประเทศไทย มีจำนวนจำกัด และนับวันจะลดลงเรื่อยๆ ตามนโยบายจำกัดอัตรากำลังคนภาครัฐ แต่การใช้ระบบอัตโนมัติยังเป็นของใหม่และโครงการยังไม่ค่อยไว้วางใจระบบอัตโนมัติ มีความกลัวว่าระบบอาจทำงานผิดพลาดและหาผู้รับผิดชอบไม่ได้

บทที่ 5 สรุปและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

(1) ได้ศึกษาความเหมาะสมของเทคโนโลยีในการควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยเน้นการใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ในประเทศ และมีต้นทุนต่ำ มีการทดสอบการใช้งานทั้งในห้องปฏิบัติการที่ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานและในสนามที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องระหว่าง 4 ธันวาคม – 31 ตุลาคม 2551 สามารถสรุปประเด็นสำคัญเกี่ยวกับความเหมาะสมของเทคโนโลยีระบบควบคุมและอุปกรณ์ต่างได้ดังนี้

- โครงการชลประทานควรมีการติดตั้งระบบโทรมาตรเพื่อการตรวจวัดน้ำแบบ Real Time ที่อาคารควบคุมน้ำที่สำคัญทุกๆ 0.5 -1 ชั่วโมง และมีระบบการเก็บบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ที่พร้อมใช้งาน ปัจจุบันถึงแม้ว่ากรมชลประทานมีนโยบายให้โครงชลประทานทำการตรวจวัดน้ำวันละ 2-3 ครั้ง แต่บางโครงการยังขาดอุปกรณ์และเจ้าหน้าที่ในการตรวจวัดน้ำ และยังขาดระบบการจัดเก็บข้อมูลที่พร้อมใช้งาน และขาดระบบการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output Performance) ส่วนการจะ Upgrade ระบบโทรมาตรขึ้นเป็นระบบ SCADA หรือระบบอัตโนมัติ ต้องขึ้นอยู่กับความพร้อมของโครงการ ประสบการณ์การทดสอบการใช้งานที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องระหว่าง 4 ธันวาคม 2549 – 31 ตุลาคม 2551 พบว่าเจ้าหน้าที่โครงการยังมีความลังเลที่จะใช้ระบบ SCADA หรือระบบอัตโนมัติ เนื่องจากเหตุผลที่สำคัญคือการปรับบานประตูระบายน้ำเป็นหน้าที่ของพนักงานส่งน้ำซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่สนาม (Field Operators) โดยที่พนักงานส่งน้ำแต่ละคนจะมีหน้าที่ดูแลประตูน้ำของตัวเอง โครงการยังไม่มี Operator ประจำที่ห้องควบคุมซึ่งสามารถควบคุมประตูระบายสำคัญทั้งหมดผ่านระบบ SCADA หรือระบบอัตโนมัติ
- อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ Potensiometer แบบกลมขนาด 10 k เป็นอุปกรณ์ที่ราคาไม่แพง มีความแม่นยำสูง มีความทนทาน หากมีความเสียหายสามารถซ่อมแซมได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายไม่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์วัดน้ำแบบอื่น แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือต้องมีบ่อน้ำนิ่งสำหรับการติดตั้งระบบลูกลอย ซึ่งก่อการสร้างบ่อน้ำนิ่งในคลองขนาดใหญ่เช่นคลอง 5L-2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ประสบปัญหาไม่สามารถปิดน้ำเพื่อทำการก่อสร้างได้ เนื่องจากปัจจุบันเกษตรกรทำการเพาะปลูกต่อเนื่องตลอดทั้งปี ต้องรอจังหวะที่เกษตรกรใช้น้ำน้อยจึงสามารถลดน้ำเพื่อก่อสร้างบ่อน้ำนิ่งได้ การก่อสร้างบ่อน้ำนิ่งต้องมีการวางแผนล่วงหน้า ซึ่งอาจใช้เวลาหลายเดือน

- อุปกรณ์ตรวจวัดระยการเปิดบานประตู (Gate Positioning) โดยใช้ Potensiometer ต่อพ่วงกับแกนหมุนของเครื่องกว้านยกบานประตูใช้งานได้ดี มีความแม่นยำและทนทาน
- การสื่อสารระหว่างสถานีลูกข่ายในสนาม (Remote Terminal Unit) และสถานีหลัก (Master Station) โดยระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF ใช้การได้ดี เนื่องกรมชลประทานมีคลื่นความถี่ของตัวเองและปัจจุบันมีการใช้งานน้อยลง เนื่องจากเจ้าหน้าที่สนามนิยมใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่แทนการใช้วิทยุสื่อสาร การใช้ระบบวิทยุสื่อสารช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายรายเดือนเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ GPRS แต่การใช้ระบบวิทยุสื่อสารต้องได้รับการออกแบบให้ดีเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาฟ้าผ่า

(2) ได้พัฒนาและติดตั้งประตูยนต์ (Robogate) อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ อุปกรณ์ตรวจวัดระยการเปิดบานสำหรับสถานีลูกข่าย 3 สถานี และระบบสื่อสารกับสถานีแม่ข่าย ตลอดจนซอฟท์แวร์ควบคุมการทำงาน และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการ Upload ข้อมูล และแสดงผลข้อมูลแบบ Real Time บน Internet สำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง และได้พัฒนาระบบเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างระบบคลองอัตโนมัติและระบบ SCADA เดิมของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง เพื่อให้สามารถทำการควบคุม ปตร.ปากคลอง 5L-2L กม.0+000 ร่วมกับ ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 3+650, กม. 9+813 และ กม. 20+300 แบบอัตโนมัติได้

(3) ระบบเกียร์มอเตอร์ต้นทุนต่ำ ซึ่งใช้มอเตอร์ DC 12 V มีปัญหาที่สำคัญ 2 ประการ คือ มอเตอร์มีกำลังน้อย ต้องทดรอบมาก ทำให้การปรับบานขนาดใหญ่ช้ามาก และมอเตอร์ต้องทำงานหนัก ทำให้มีอายุการใช้งานสั้น ต้องเปลี่ยนบ่อย

(4) ในช่วปลายงปี 2550- ต้นปี 2551 โครงการชลประทานในลุ่มน้ำแม่กลองและลุ่มน้ำอื่นๆ ประสบปัญหาการลักขโมย อุปกรณ์ของประตูยนต์เช่น แบตเตอรีรถยนต์ที่ทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้าจากแผงโซ่ล่าเซลมักหายเป็นประจำ และมีผลต่อการทำงานของประตูยนต์

(5) การทดสอบการใช้งานของประตูยนต์และอุปกรณ์ต่าง ทั้งในระบบโทรมาตรและระบบอัตโนมัติ ระหว่างวันที่ 4 ธันวาคม 2549 – 31 ตุลาคม 2551 พบว่าพบว่าประตูยนต์ และ อุปกรณ์ต่างๆ ทำงานได้ดีสามารถตรวจวัดและส่งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์แม่ข่ายได้ทุกครึ่งชั่วโมง การตรวจวัดและส่งข้อมูลมีความน่าเชื่อถือใน 77% มีข้อมูลสูญหาย 23% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี ระบบอัตโนมัติสามารถควบคุมระดับน้ำหน้า ปตร.กลางคลองได้ใกล้ระดับน้ำเป้าหมายมากขึ้น ค่าความผิดพลาดในการควบคุมระดับน้ำในรูปของค่า RMSE ลดลงจาก 0.502-0.506 เมตร เมื่อทำงานในระบบโทรมาตร เหลือ 0.253 เมตร เมื่อทำงานในระบบอัตโนมัติ ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือในการควบคุมระดับน้ำของ Robogate พบว่า โดยเฉลี่ย ความน่าเชื่อในการควบคุมระดับน้ำของ Robogate ที่ทำงานในระบบอัตโนมัติ สูงถึง 96% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

(6) ผลการวิเคราะห์ดรรชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output performance indicators) ในรูปของดรรชนีความเพียงพอ ประสิทธิภาพการชลประทาน และความเป็นธรรมในการส่งน้ำ พบว่าในภาพรวมคลอง 5L-2L สามารถส่งและควบคุมน้ำได้เพียงพอกับความต้องการอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นในฤดูนาปี ดรรชนีความเพียงพออยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่ประสิทธิภาพการชลประทานยังอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง และความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นในฤดูนาปี ซึ่งต้องปรับปรุง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระบบการควบคุมน้ำระหว่างระบบอัตโนมัติและระบบโทรมาตร พบว่าช่วงที่ส่งและควบคุมน้ำในระบบอัตโนมัติความเพียงพอและความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ประสิทธิภาพยังต้องปรับปรุง ถือว่าคุณภาพการส่งและควบคุมน้ำในภาพรวมไม่แตกต่างจากระบบโทรมาตรในช่วงฤดูแล้ง แต่ดีกว่าการส่งและควบคุมน้ำในระบบโทรมาตรในช่วงนาปี

(7) การใช้งานระบบคลองอัตโนมัติ สามารถช่วยลดภาระของพนักงานส่งน้ำลงได้ ซึ่งปัจจุบันจำนวนพนักงานส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง และโครงการชลประทานอื่นๆ ในประเทศไทย มีจำนวนจำกัด และนับวันจะลดลงเรื่อยๆ ตามนโยบายจำกัดอัตรากำลังคนภาครัฐ แต่การใช้ระบบอัตโนมัติยังเป็นของใหม่และโครงการยังไม่ค่อยไว้วางใจระบบอัตโนมัติ มีความกลัวว่าระบบอาจทำงานผิดพลาดและหาผู้รับผิดชอบไม่ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) ต้องปรับปรุง Robogate ให้สามารถทำงานโดยใช้ไฟฟ้าโดยตรงจากแผงโซ่ล่าเซลในกรณีที่ไม่มีแบตเตอรี เนื่องจากปัญหาการลักขโมย ซึ่งอยากที่จะป้องกันได้ หรือเลือกใช้แบตเตอรีรุ่นที่ไม่สามารถใช้กับรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์ เพื่อลดปัญหาการลักขโมยแบตเตอรี

(2) ควรต้องมีการวิจัยโครงสร้างการบริหารงานของโครงการชลประทาน ที่สามารถรองรับการใช้งานระบบคลองอัตโนมัติในอนาคต

(3) พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System, DSS) ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสภาพโครงการ เพื่อรองรับการใช้งานระบบคลองอัตโนมัติทั้งในระบบโทรมาตร และระบบการควบคุมระยะไกลและระบบอัตโนมัติ

(4) พัฒนาระบบการติดตามประเมินผล (Monitoring and Evaluation) และดรรชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำ และเกณฑ์การประเมินผลที่สอดคล้องกับสภาพการชลประทานของประเทศไทย

(5) ควรพัฒนาเทคนิคและอุปกรณ์การตรวจวัดทั้งอัตราการไหลของน้ำ (Discharge) และปริมาตรน้ำ (Volume) ที่ส่งให้คลองสายต่างๆ หรือ พัฒนาเทคนิคการ Calibrate อาคารเพื่อหา Rating Curve ที่สามารถบอกอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารได้อย่างแม่ยำ

(6) ควรมีระบบโทรมาตรตรวจวัดฝนและสภาพอากาศอื่น เพื่อให้มีข้อมูลสำหรับระบบสนับสนันการตัดสินใจในข้อ (3)

เอกสารอ้างอิง

ประพันธ์ สพเสถียร. 2539. การประเมินผลการใช้งานระบบจัดสรรน้ำและติดตามผลสำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภราดา มีอำพล และวราวุธ วุฒิวณิชย์. 2542. การพัฒนาโปรแกรม WASAM 3.01. ชลกร ฉบับวันชูชาติ 4 มกราคม 2542 สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์. น. 77-95.

วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวัชระ เสือดี. 2538. การพัฒนาโปรแกรม WASAM version 2 วิศวกรรมสาร มก. 25 :98-115.

วราวุธ วุฒิวณิชย์ และลำจวน เขียวแก่. 2539. การพัฒนา WASAM 2.2 สำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน วิศวกรรมสาร มก. 28 :59-72.

วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวิชญ์ ศรีวงษา. 2547. ต้นแบบประตูยนต์ (Robogate). ชลกร ฉบับวันเสาร์ที่ 4 มกราคม 2547. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์. น. 66-73.

วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวิชญ์ ศรีวงษา. 2548. ระบบคลองอัตโนมัติ(Canal Automation System). ชลกร ฉบับวันเสาร์ที่ 4 มกราคม 2548. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์.

วัชระ เสือดี. 2537. การพัฒนาโปรแกรมจัดสรรน้ำและติดตามผลการใช้น้ำสำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิชญ์ ศรีวงษา และวราวุธ วุฒิวณิชย์. 2546. การพัฒนาระบบวัดระดับน้ำและควบคุมการปิด-เปิด ประตูน้ำระยะไกล ในการประชุมทางวิชาการประจำปี 2546. วิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. น.549-559.

วิชญ์ ศรีวงษาและวราวุธ วุฒิวณิชย์. 2547. การพัฒนาระบบวัดระดับน้ำในคลองระยะไกล. เอกสารประชุมวิชาการ ครั้งที่ 42 (สาขาวิศวกรรมศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. น.3-14.

ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2551. ค่าสัมประสิทธิ์พืชโดยวิธี Penman – Monteith.

Ankum, P., 1994. Automation of Flow Control in Irrigation Systems. Delft University of technology. Delft. Netherland.

Celmmons,A.J., Bautista, E. and R.J.Strand. 1997. Implementation of Canal Automation in Central Arizona, SSVII IAHR Congress. San Francisco, CA, USA. 5p.

Molden, D.J. and T.K. Gates. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation – water – delivery systems Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 116(6), 804 – 823.

Sohag M.A.and Mahessar A.A. 2004. Telemetry System in the Irrigation Network. Sindh Irrigation & Drainage Authority, Hyderabad, Pakistan.

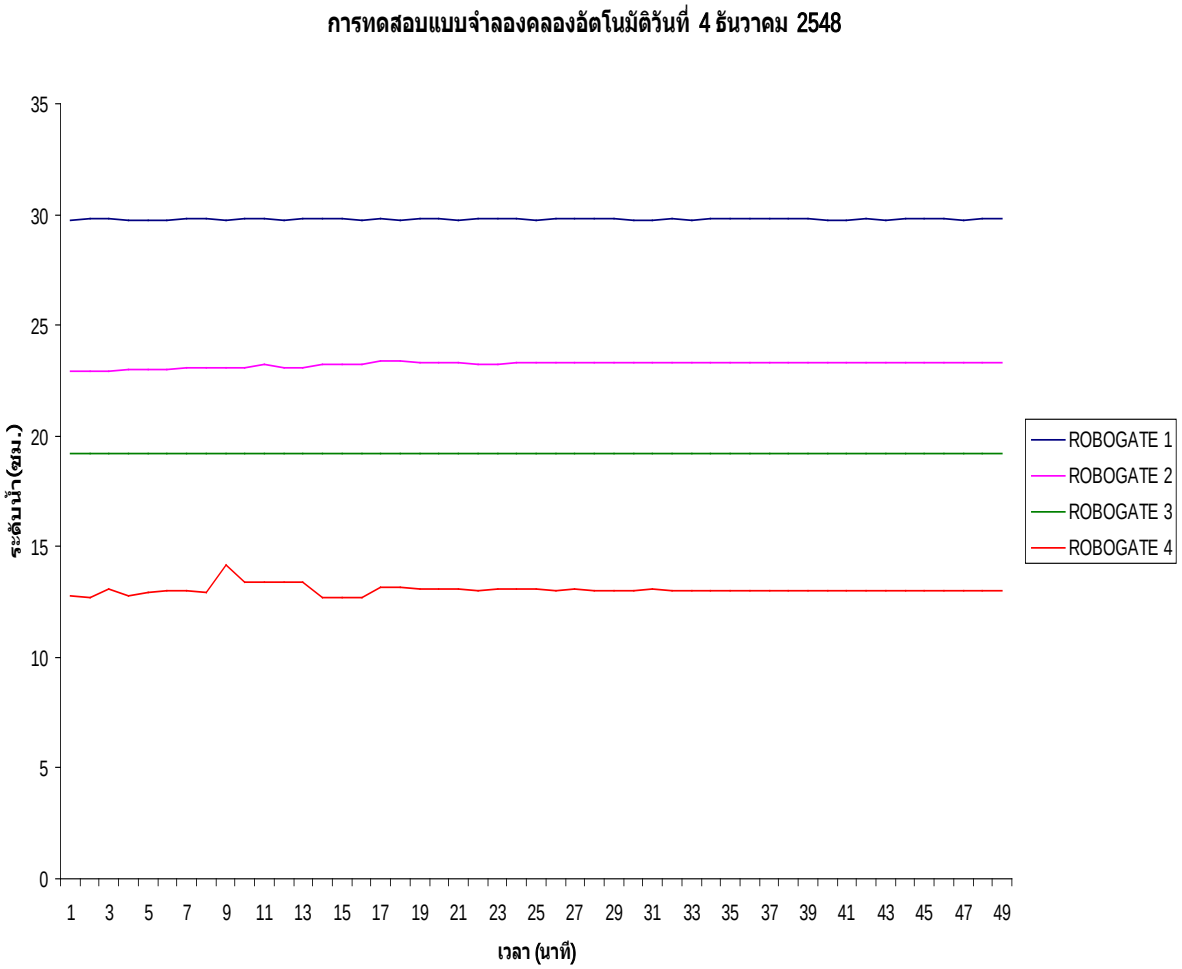
http://www.uswcl.ars.ag.gov.

http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/CWRdata/ET&ETo/PM-M_West.htm 27/5/2009

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

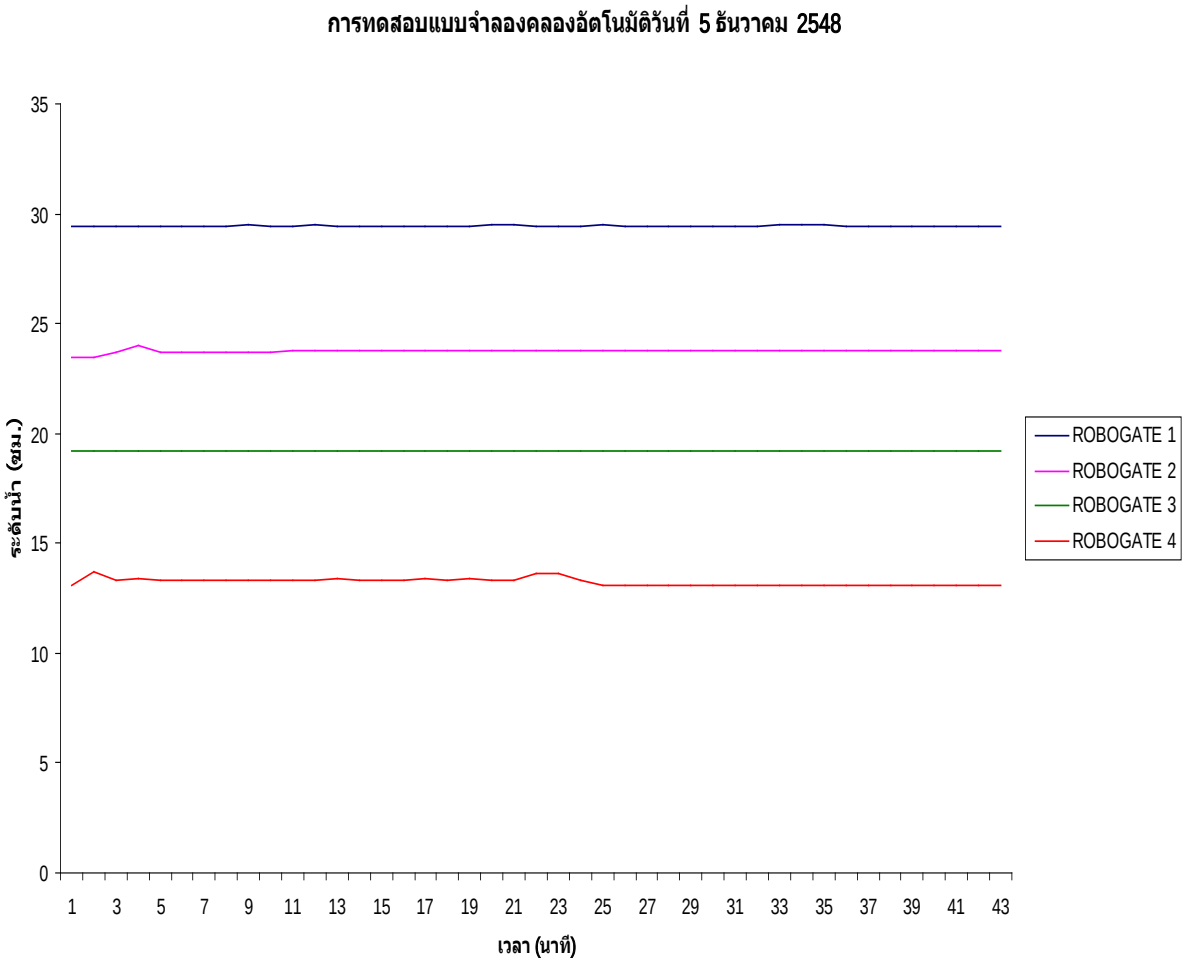
ผลการทดสอบแบบจำลองคลองอัตโนมัติ
และการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำ



รูปที่ ก-1 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 4 ธันวาคม 2548

ตารางที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2548)

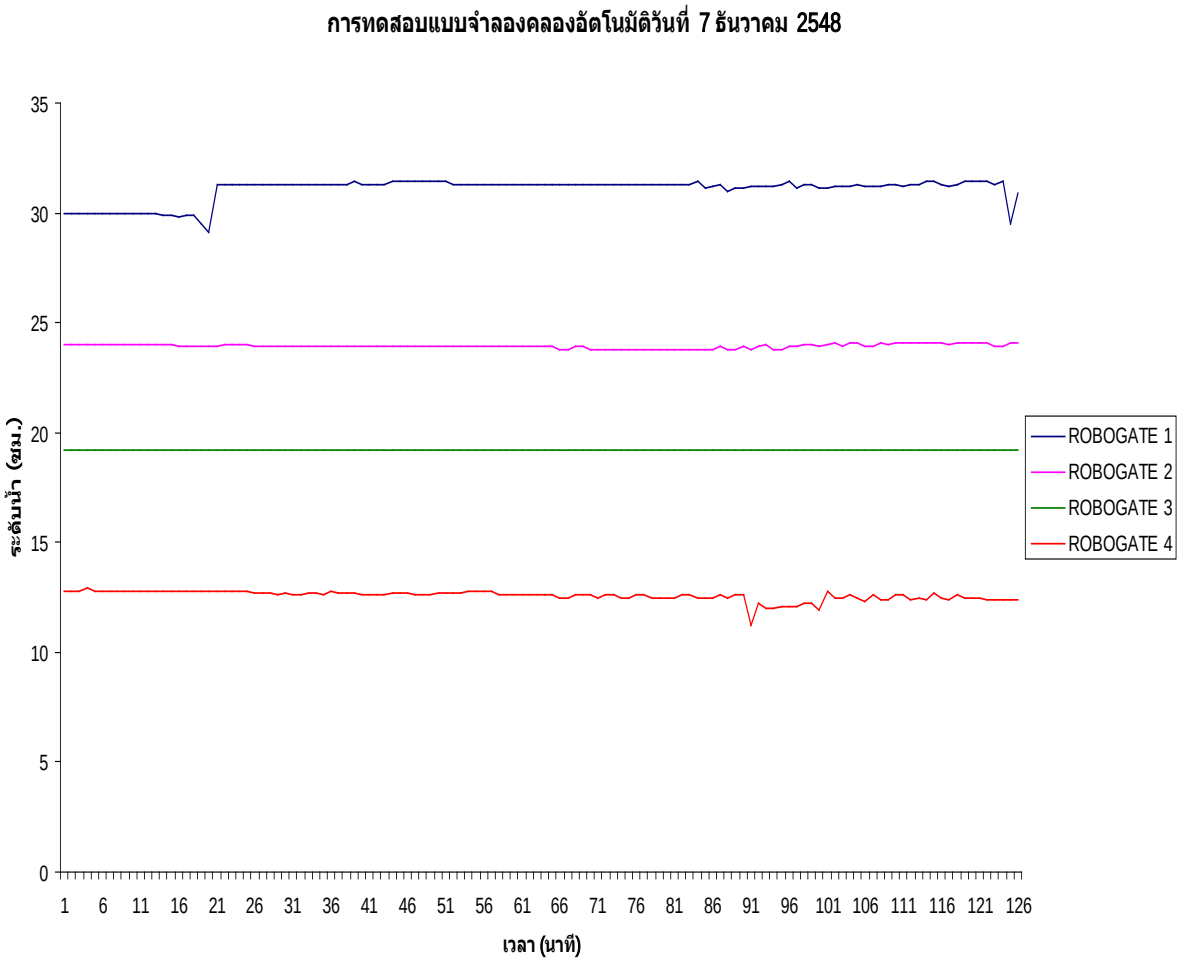
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	29.80	29.70	29.77	0.05	6.97
2	23.40	22.90	23.22	0.13	7.12
3	19.20	19.20	19.20	0.00	1.05
4	14.20	12.70	13.05	0.23	0.38



รูปที่ ก-2 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 5 ธันวาคม 2548

ตารางที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 5 ธันวาคม พ.ศ. 2548)

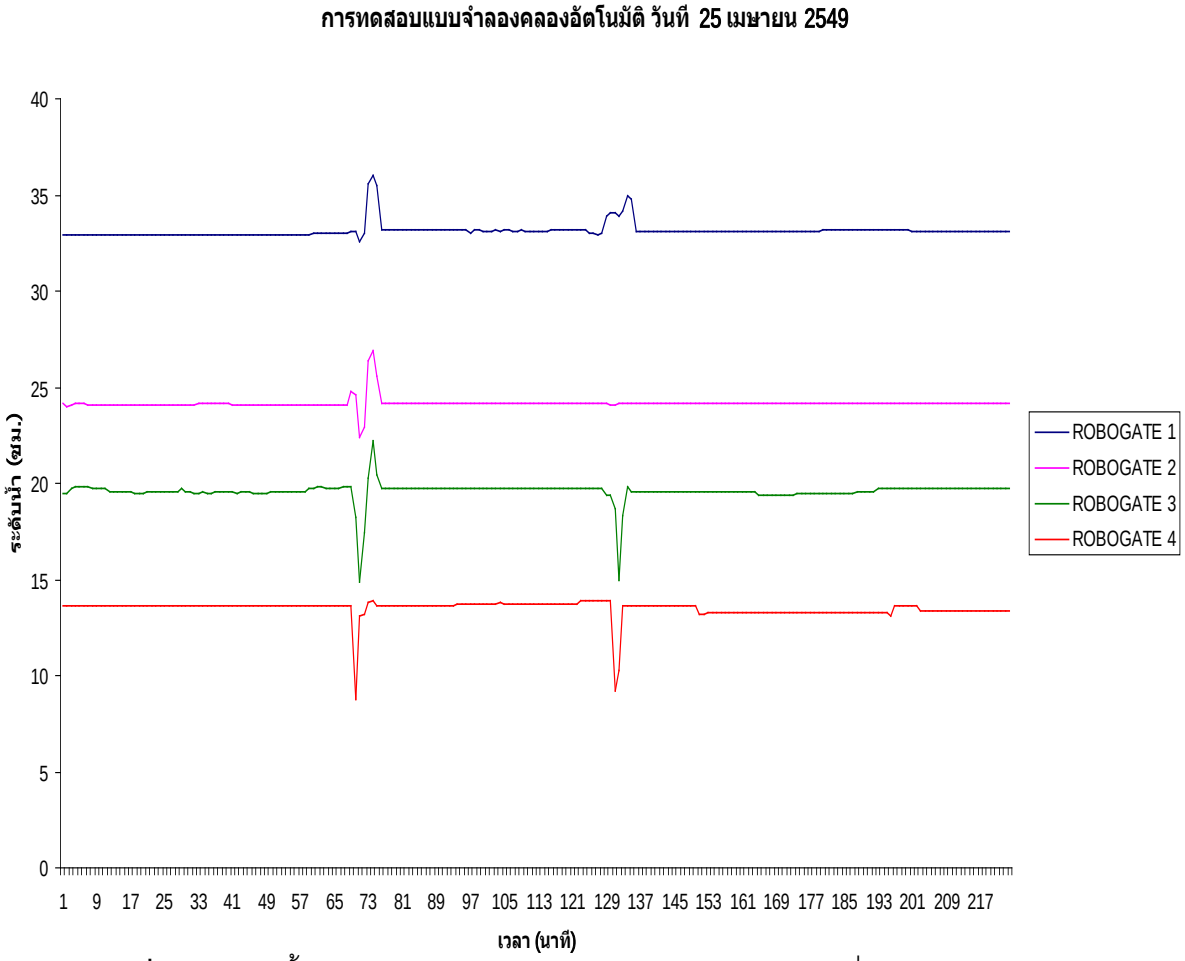
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	29.50	29.40	29.42	0.04	8.06
2	24.00	23.50	23.77	0.08	4.92
3	19.20	19.20	19.20	0.00	1.05
4	13.70	13.10	13.24	0.16	1.85



รูปที่ ก-3 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 7 ธันวาคม 2548

ตารางที่ ก-3 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2548)

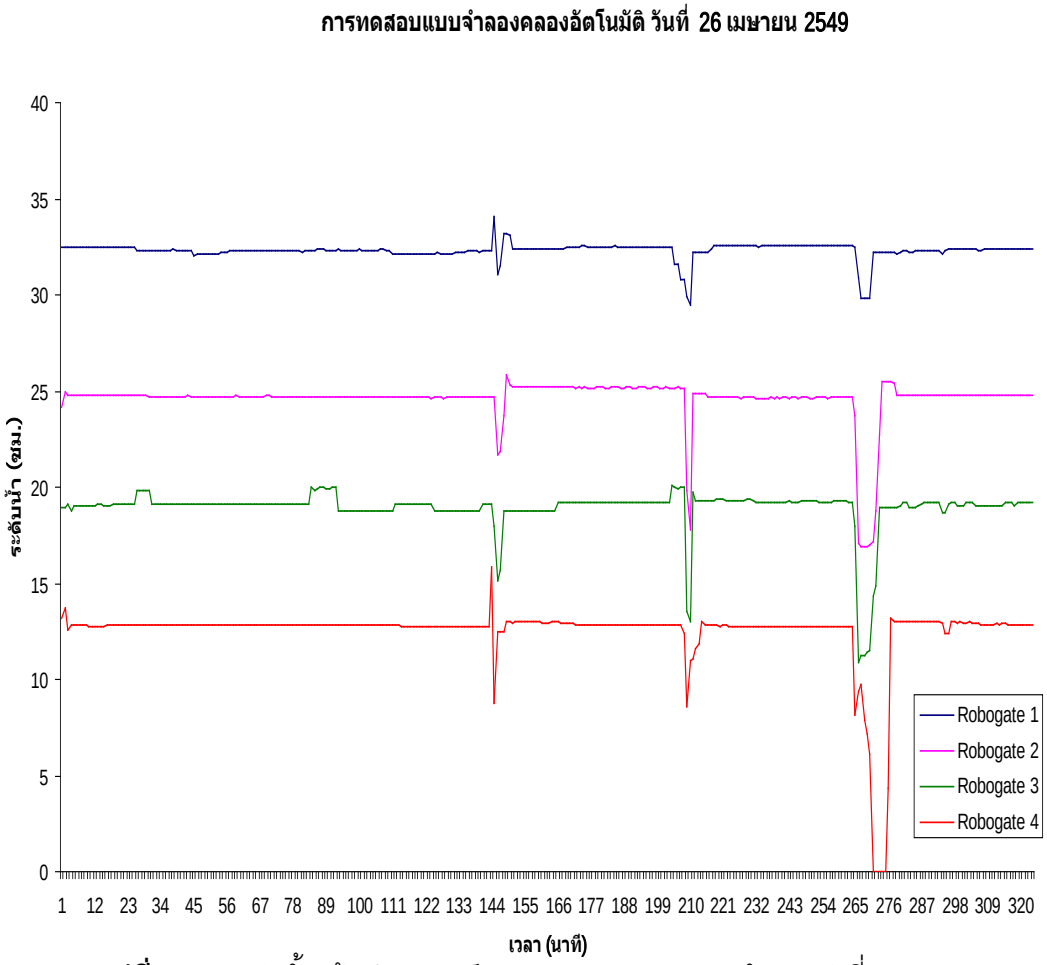
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	31.40	29.10	31.05	0.54	2.97
2	24.10	23.80	23.93	0.09	4.28
3	19.20	19.20	19.20	0.00	1.05
4	12.90	11.20	12.58	0.23	3.23



รูปที่ ก-4 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 25 เมษายน 2549

ตารางที่ ก-4 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2549)

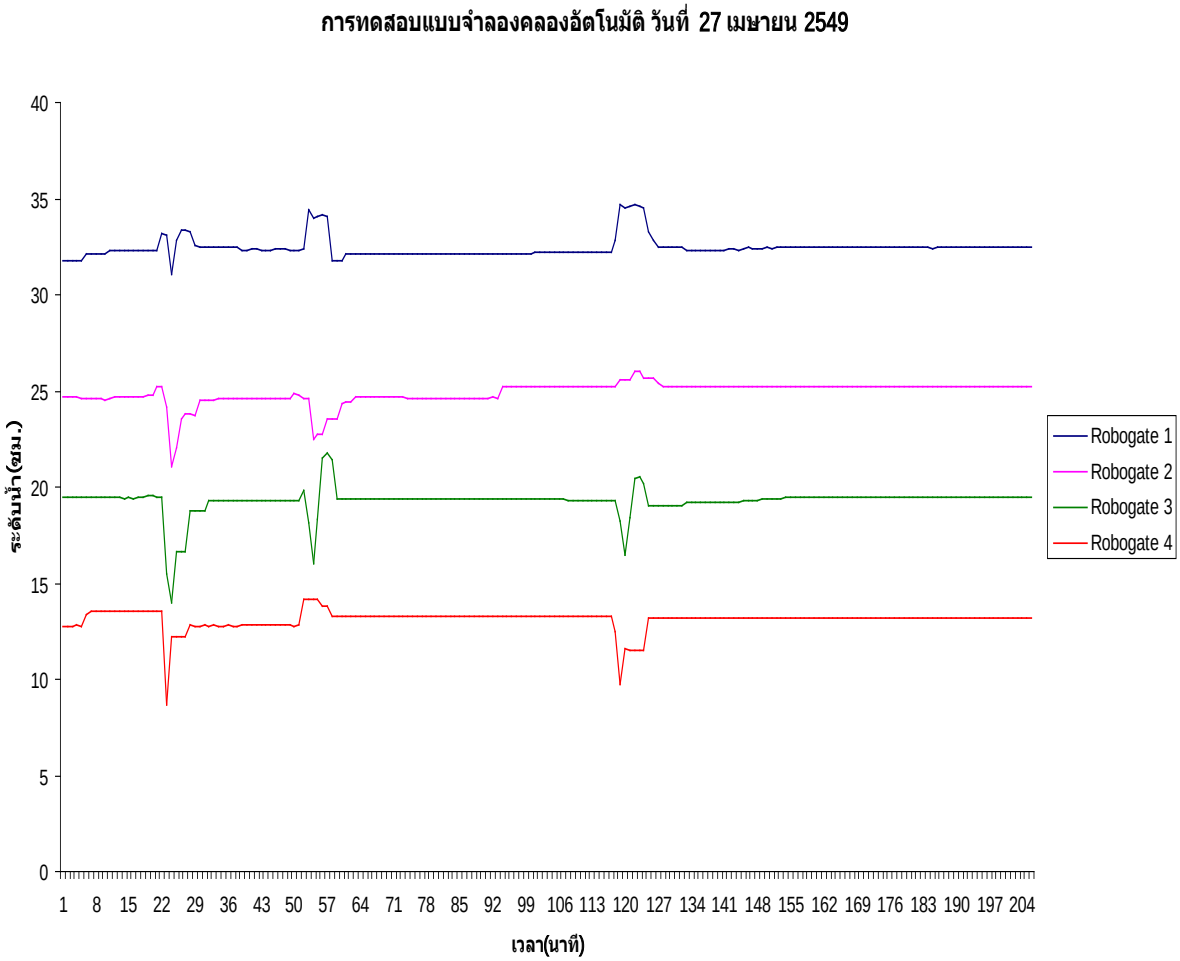
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	36.00	32.60	33.14	0.39	3.56
2	26.90	22.40	24.19	0.30	3.23
3	22.20	14.90	19.58	0.53	3.06
4	13.90	8.80	13.48	0.51	3.72



รูปที่ ก-5 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 26 เมษายน 2549

ตารางที่ ก-5 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2549)

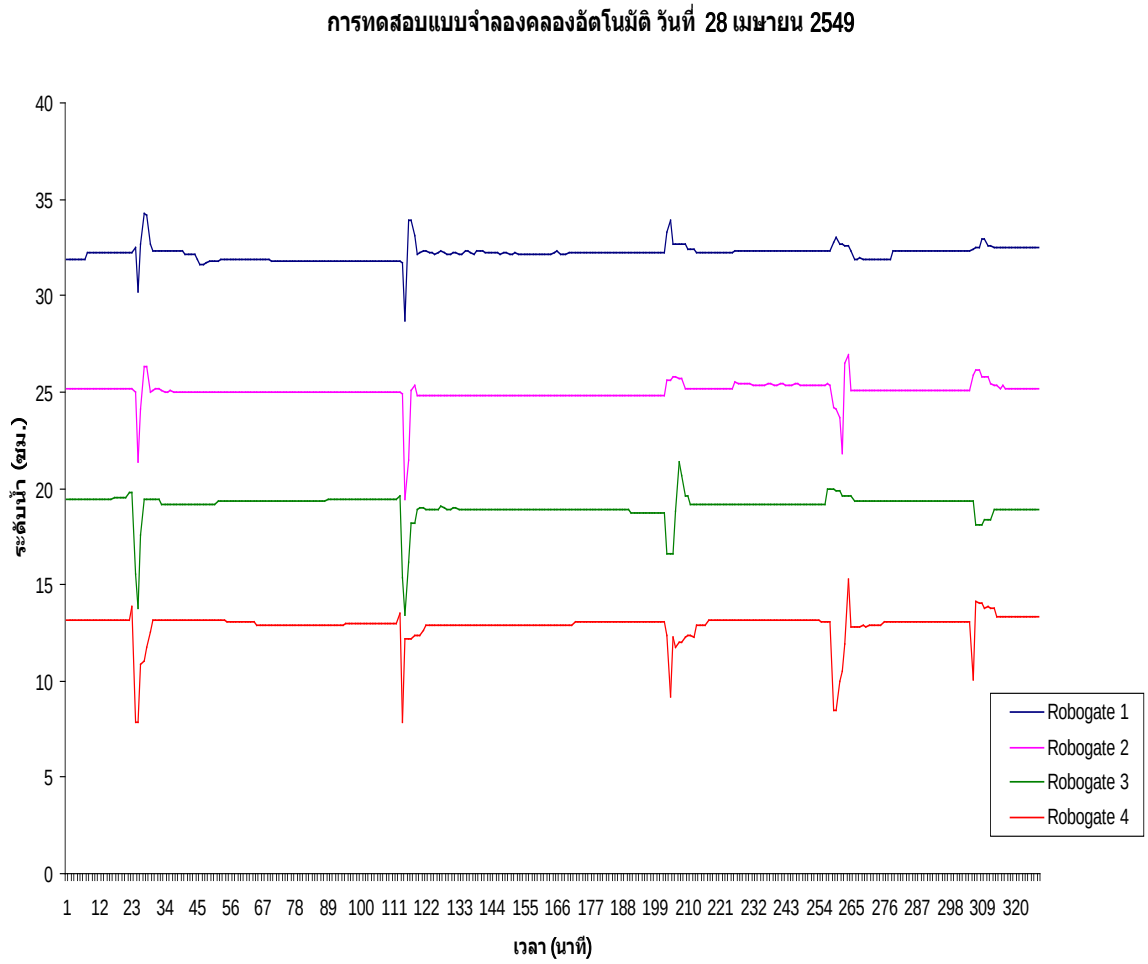
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	34.10	29.50	32.31	0.44	0.97
2	25.80	16.90	24.59	1.24	1.64
3	20.10	10.90	18.91	1.19	0.47
4	15.80	0.00	12.46	1.80	4.15



รูปที่ ก-6 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 27 เมษายน 2549

ตารางที่ ก-6 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2549)

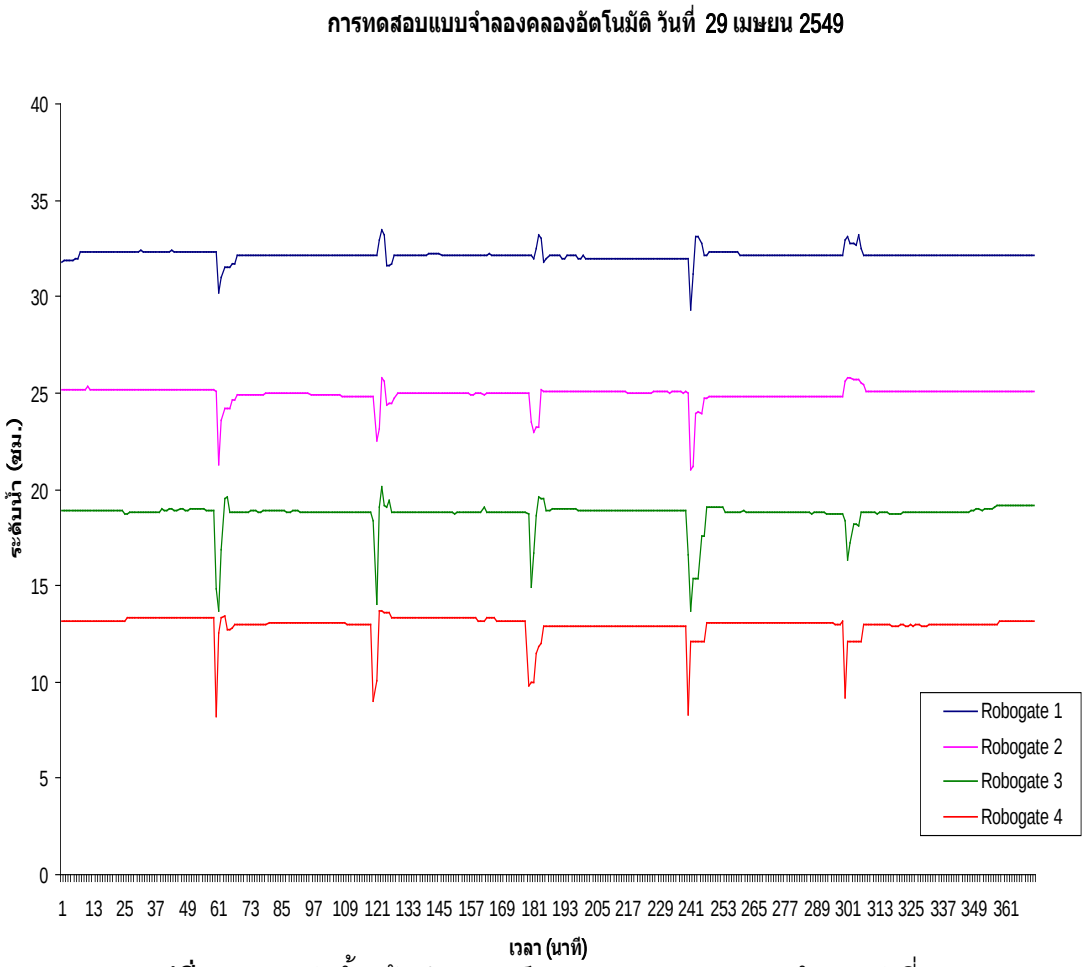
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	34.70	31.10	32.45	0.54	1.41
2	26.00	21.10	24.87	0.59	0.52
3	21.80	14.00	19.29	0.74	1.53
4	14.20	8.70	13.11	0.55	0.85



รูปที่ ก-7 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 28 เมษายน 2549

ตารางที่ ก-7 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2549)

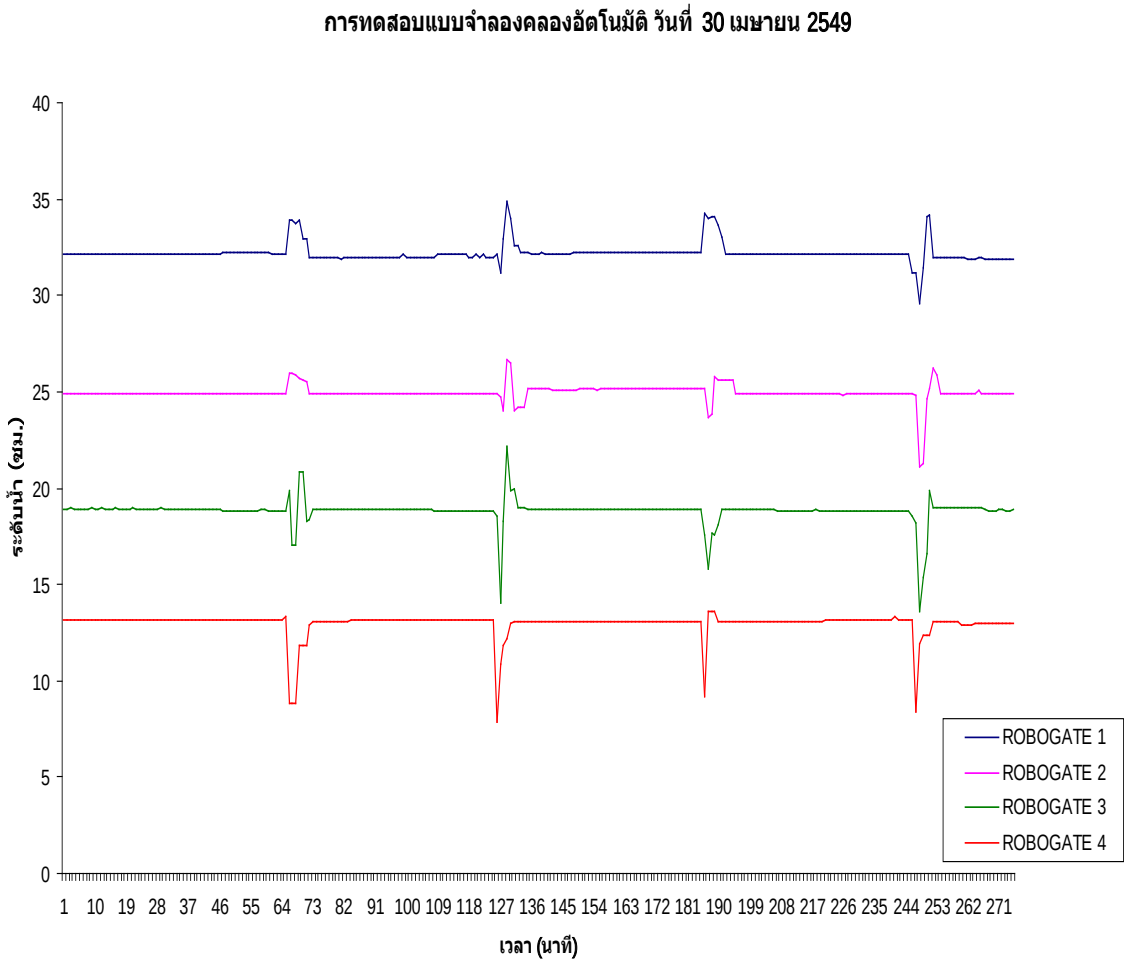
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	34.30	28.70	32.18	0.41	0.56
2	26.90	19.40	25.02	0.55	0.08
3	21.40	13.40	19.08	0.68	0.42
4	15.30	7.90	12.92	0.77	0.62



รูปที่ ก-8 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 29 เมษายน 2549

ตารางที่ ก-8 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2549)

ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	33.50	29.30	32.13	0.29	0.41
2	25.80	21.00	24.95	0.48	0.20
3	20.10	13.70	18.75	0.69	1.32
4	13.70	8.20	12.98	0.61	0.15



รูปที่ ก-9 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 30 เมษายน 2549

ตารางที่ ก-9 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2549)

ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	34.90	29.60	32.18	0.48	0.56
2	26.70	21.10	24.96	0.44	0.16
3	22.20	13.60	18.81	0.65	1.00
4	13.60	7.90	13.01	0.70	0.08

ภาคผนวก ข การเผยแพร่ผลงานวิจัย

ก. บทความเกี่ยวกับการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ

(1) วิชญ์ ศรีวงษา และ วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2550. การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้องระยะที่ 1. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2550 .

(2) วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2549. ทิศทางและเทคโนโลยีการควบคุมอาคารชลประทานแบบอัตโนมัติของไทย (Direction of Local Automation Control Structure and Technology Development in Thailand). Technical Seminar on “Integrated Irrigation Modernization” on 8 September 2006 at Irrigation Development Institute, Royal Irrigation Department.

(ดูบทความที่แนบจำนวน 2 บทความ)

ข. Website เกี่ยวกับการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ (http://pirun.ku.ac.th/~fengynt)

จัดทำ Website การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ แสดงข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำ การเปิดบาน และตรวจวัดอากาศแบบ Real Time ของระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้อง ระบบคลองอัตโนมัติวิทยาเขตกำแพงแสน สถานี K12 และอ่างเก็บน้ำห้วยถ้ำแข้ จังหวัดอุบลราชธานี ดังรูปที่ ข-1 ของภาคผนวก ข

ค. นำเสนอทางนิทรรศการเกี่ยวกับการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ

(1) จัดนิทรรศการในหัวข้อ “การพัฒนาและประยุกต์ระบบคลองอัตโนมัติในประเทศไทย” ในงานนิทรรศการในงานเกษตรกำแพงแสน ปี 2550 (3-10 ธันวาคม 2550) ดังรูปที่ ข-3

บทความที่ 1

การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 4

การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้อง ระยะที่ 1

Development of Songpeenong Canal Automation System Phase 1

วิชญ์ ศรีวงษา[1] และวราวุธ วุฒิวณิชย์[2]

Vich Sriwongsa[1] and Varawoot Vudhivanich[2]

บทคัดย่อ

ระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้องพัฒนาขึ้นเพื่องานทดสอบการทำงานและพัฒนาโปรแกรมใช้งานในระดับโครงการชลประทาน ใช้เทคโนโลยีหุ่นยนต์ช่วยทำงานแบบอัตโนมัติคือ robogate ver.5 ที่มีระบบฝังตัวประกอบด้วยไมโครคอนโทลเลอร์ 2 ตัว เขียนโปรแกรมควบคุม DCเกียร์มอเตอร์เพื่อเปิด - ปิด บาน ปตร. ควบคุมการส่งน้ำอัตโนมัติแบบ upstream water level control ใช้พลังงานจากแสงแดดแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า สถานีแม่ข่ายสามารถติดตามวิเคราะห์การส่งน้ำและสั่งปรับบานประตูในระยะไกล รับค่าตรวจวัดระดับน้ำและระยะเปิดบานประตูผ่านคลื่นวิทยุ VHF 139 MHz บันทึกข้อมูลใน data logger และ automatic upload เพื่อนำเสนอข้อมูลผ่าน internet อัตโนมัติทุก ๆ ½ ชั่วโมง ติดตั้งเครื่องมือเพื่อทดสอบใช้งานในคลองส่งน้ำโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี จำนวน 3 สถานีคือ สถานี robogate 901 – 903 และติดตั้งสถานีแม่ข่ายที่ทำการโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ในระยะที่ 1 ทำงานเป็นโทรมาตรทดสอบเก็บข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำ ระยะเปิด-ปิดประตูระบายน้ำระยะไกลระหว่าง 4 มกราคม – 8 สิงหาคม 2550 อุปกรณ์ทำงานได้ผลดีน่าพอใจขณะนี้อยู่ระหว่างเขียนโปรแกรม SPN CAS เพื่อให้ทำงานเป็นคลองอัตโนมัติที่สมบูรณ์ต่อไป

คำสำคัญ: คลองอัตโนมัติ, ส่งน้ำ, ชลประทาน, โทรมาตร

ABSTRACT

The development of Songpeenong canal automation system using for water delivery was tested and developed CAS programming at irrigation project of Thailand. Firstly, the robogate ver.5 was developed using robot and embedded technology, dual core microcontroller were installed for operating and communication. The robogates were programed for gate adjustment with DC gear motors and upstream water level control. Master station was designed for monitoring and remote via VHF 139 MHz radio.The solar cells were used as power supply for all robogate stations. The interface programming used PC for automatic data logger record and automatic internet data upload. Secondly,all devices of 3 stations were installed at canal regulators in Songpeenong Irrgation project, Suphanburi province, robogate 901-903 stations and master station at headwork office. The devices

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม

Department of Irrigation Enginerring, Faculty of Enginerring, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom

[2] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม

Department of Irrigation Enginerring, Faculty of Enginerring, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom

have worked well for telemetering phase 1 field testing period 4 January – 8 August 2007. Finally, canal automation programming is developing for completely SPN CAS field working.

Key words : canal automation, water deliverly, irrigation, telemetering

E-mail : fengvwv@ku.ac.th, canal_auto@yahoo.com

คำนำ

การบริหารจัดการน้ำแบบใหม่ต้องใช้วิทยาการทันสมัยและเครื่องมือสำหรับช่วยตรวจวัดข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในเขตส่งน้ำเพื่อการตัดสินใจควบคุมอาคารบังคับน้ำในคลองส่งน้ำ การใช้ซอฟแวร์บริหารจัดการน้ำเป็นทางเลือกที่ดีแต่ข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าขั้นตอนการทำงานควรเป็นข้อมูลที่ใหม่หรือเป็นข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน (real time) ถ้าใช้แรงงานฝีมือสำหรับงานตรวจวัดเก็บข้อมูล real time จะต้องใช้จำนวนมาก ในปัจุบันทั้งซอฟท์แวร์บริหารจัดการน้ำและเครื่องมือตรวจวัดข้อมูลระยะไกลยังมีราคาแพงโดยส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมระยะไกลสำหรับงานชลประทาน ต้องศึกษาปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องดังแสดงใน Figure 1 รายละเอียดประกอบด้วยปัจจัยที่สำคัญสำหรับงานพัฒนาระบบโทรมาตร (telemetering) ซึ่งใช้ตรวจวัดระยะไกล SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition System) ใช้ตรวจวัดข้อมูลและควบคุมอุปกรณ์ระยะไกลโดยผู้เชี่ยวชาญ และ canal automation คือระบบ SCADA ที่ยกระดับซอฟท์แวร์ให้มีระบบตัดสินใจทำงานเองแบบอัตโนมัติภายใต้ลอจิกบริหารจัดการส่งน้ำ (Ankum, 1994) ปัจจัยที่แสดงดังกล่าวมีผลอย่างมากต่อราคาอุปกรณ์ ตัวอย่างการพัฒนาใช้เครื่องมือบริหารจัดการน้ำ เช่น Clemmens *et al.* (1998) พัฒนาระบบคลองอัตโนมัติต้นทุนต่ำ ติดตั้งใช้งานได้ทันทีใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกา Sohag and Mahessar (2004) ใช้ระบบโทรมาตรเพื่องานชลประทานในประเทศปากีสถาน

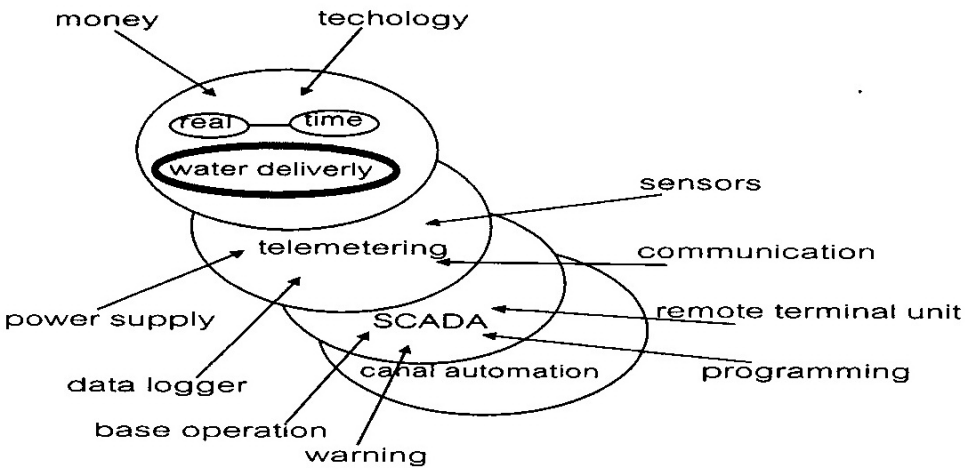


Figure 1 Factors for canal automation development

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน เริ่มพัฒนาระบบวัดระดับน้ำและควบคุมการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำในคลองชลประทานระยะไกล (วิชญ์ และวราวุธ, 2546) การพัฒนาใช้เทคโนโลยีหุ่นยนต์ควบคุมประตูระบายน้ำเรียกว่า ประตูยนต์ (Robogate) (วราวุธ และวิชญ์, 2547) การลดต้นทุนระบบโทรมาตรให้มีต้นทุนต่ำทำโดยใช้

คลื่นวิทยุ VHF หรือใช้เครือข่ายโทรศัพท์มือถือเพื่อรับ-ส่งข้อมูล(วิชญ์และวราวุธ 2548) โดยพัฒนาอุปกรณ์ระบบโทรมาตรต้นทุนต่ำส่งข้อมูลผ่านโทรศัพท์มือถือ ติดตั้งทดลองใช้งานจริงที่ ประตูระบายน้ำกลางคลองส่งน้ำ กม.22+ 700 คลองส่งน้ำ 2L โครงการสองพี่น้อง สุพรรณบุรี และในงานวิจัยนี้เป็นงานต่อเนื่องจากงานพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติกำแพงแสน (วิชญ์ และวราวุธ, 2549) เลือกโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ. สุพรรณบุรี ทดสอบใช้งานระบบคลองอัตโนมัติในระดับโครงการชลประทาน ผลการทดสอบใช้งานได้ข้อมูลระดับน้ำ ระยะเปิดประตูระบายน้ำในช่วงเวลาต่างๆ อย่างต่อเนื่อง นำไปปรับปรุงเขียนโปรแกรม SPN CAS ให้ใช้งานได้จริงและสามารถปรับใช้ได้กับโครงการชลประทานแห่งอื่นต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ถูกออกแบบโดยใช้ระบบ Low Cost SCADA (Sohag and Mahessar. 2004) และระบบประตูยนต์ (วราวุธและวิชญ์. 2547) ให้ทำงานร่วมกัน และถูกออกแบบในลักษณะ plug and play (Clemmens *et al.* 1998) คือเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ (ฮาร์ทแวร์) ใหม่เข้ากับอุปกรณ์เดิมจะสามารถใช้งานได้ทันที หลักการทำงานของระบบคลองอัตโนมัติ คือประตูยนต์จะทำหน้าที่เป็นสถานีลูกข่าย (Remote Terminal Unit, RTU) ในการตรวจวัดระดับน้ำหน้า-ท้าย ปตร. กลางคลอง และควบคุมการเปิด-ปิด ปตร. กลางคลองเพื่อรักษาระดับน้ำในคลองให้อยู่ที่ระดับ FSL แบบอัตโนมัติ พร้อมรายงานข้อมูลเข้าสู่สถานีแม่ข่าย (Master Station) แสดงใน figure 2 ซึ่งติดตั้งที่สำนักงานที่ห้วงานของโครงการ โดยระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF ส่วนระบบ Low Cost SCADA จะช่วยควบคุม ปตร. ปากคลองให้ส่งน้ำตามความต้องการของคลองสายนั้น หรือช่วยจัดสรรน้ำเข้าคลองตามปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ ในการทดสอบใช้งานระบบคลองอัตโนมัติที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ได้เลือกคลองส่งน้ำสาย 5L-2L ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำสายหลักของโครงการ ติดตั้งประตูยนต์รุ่น 5 จำนวน 3 ตัว ที่ กม. 3+650, 9+813 และ 20+300

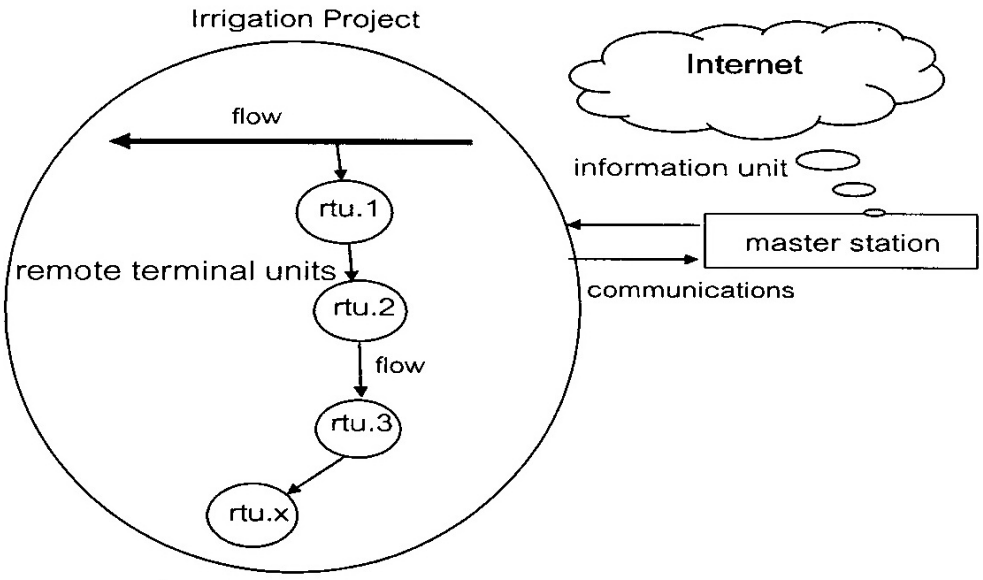


Figure 2 Songpeenong canal automation system concept

อุปกรณ์วัดระดับน้ำ จะติดตั้งในตู้เหล็ก ซึ่งตู้เหล็กดังกล่าวจะติดตั้งอยู่เหนือบ่อน้ำนิ่ง (Stilling Basin) อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำหรือ Water Level Sensor ใช้ Potensiometer ต่อพ่วงกับแกนหมุนที่ติดตั้งจานเฟืองโซ่เบอร์ 25 ที่ปลายโซ่ติดตั้งลูกลอยสำหรับวัดระดับน้ำ อีกด้านหนึ่งคือน้ำหนักถ่วง แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จะแปรผันแบบเชิงเส้นกับระดับน้ำที่ตรวจวัด ซึ่งจะส่งให้ไมโครคอนโทลเลอร์ตัวแรกใน Robogate 5.0 แปลงเป็นดิจิตอลเพื่อบันทึกใน Data logger และส่งให้สถานีแม่ข่ายต่อไป

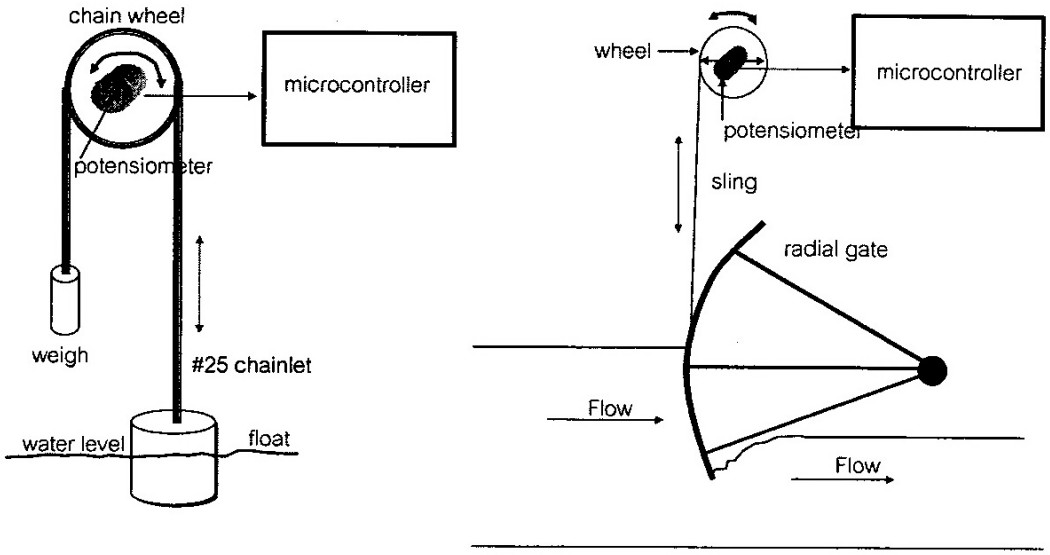


Figure 3 principle of the measurement devices

อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดระยะการเปิดประตูระบายน้ำ (Gate Position) ใช้ Potensiometer ต่อพ่วงกับแกนหมุนเครื่องกว้านยกบานประตู แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะแปรผันแบบเชิงเส้นกับระยะเปิดบานประตู ซึ่งจะส่งให้ไมโครคอนโทลเลอร์ตัวแรกใน Robogate 5.0 แปลงเป็นดิจิตอลเพื่อบันทึกใน Datalogger และส่งให้สถานีแม่ข่ายในทำนองเดียวกับอุปกรณ์วัดระดับน้ำหลักการตรวจวัดทั้งสองกรณีแสดงใน Figure 3

Master station ประกอบด้วย Canal Automation Interface ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับสถานีลูกข่าย ถูกออกแบบโดยใช้ chip PIC ขนาด 8 Kwords 1 ตัว สื่อสารกับสถานีลูกข่าย (ประตูยนต์) ผ่านระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF โดยใช้ความถี่ 139.00 ของกรมชลประทาน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 50 ช่องสัญญาณย่อย โดยใช้ระบบ CTSS (Continuous Tone Coded Squelch System) กำหนดให้การรับส่งข้อมูลใช้ ช่องที่ 1 ที่ 67Hz แบบ Analog เพื่อลดคลื่นรบกวนจากเครื่องส่งอื่นที่ใช้ความถี่เดียวกันเนื่องจากระบบคลองอัตโนมัติใช้วิทยุสื่อสารที่มีกำลังส่งต่ำ (5 W) Canal Automation Interface มีกำลังส่งออกอากาศ 5 W สายอากาศที่แม่ข่ายเป็นแบบ Folded Dipole 4 Steks โดยติดตั้งที่เสาอากาศต้นเดิมของโครงการ ฯ ที่มีความสูง 30 เมตร ส่วนสถานีลูกข่าย (RTU) ใช้วิทยุสื่อสารกำลังส่ง 5 W เช่นเดียวกันกับสถานีแม่ข่าย สายอากาศที่สถานีลูกข่ายเป็นแบบยากิ (Yaki) แบบ 5E ติดตั้งบนเสาสูง 9 เมตร สถานีลูกข่ายทั้ง 3 แห่งไม่มีกระแสไฟฟ้าจึงเลือกใช้พลังงานจากแสงแดดแปลงเป็นไฟฟ้าประจุเก็บในแบตเตอรี่รถยนต์ 12V 55 Ah จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ทั้งกลางวันและกลางคืนอย่างต่องเนื่อง โปรแกรม SPN CAS ติดตั้งที่คอมพิวเตอร์สถานีแม่ข่ายซึ่งในระยะที่ 1 นี้จะ

เรียกรับข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำและระยะเปิดประตูระบายน้ำทุก ๆ ½ ชั่วโมง บันทึกข้อมูลในฮาร์ทดิสแบบ data logger พร้อมกับส่งข้อมูลเข้าเครือข่าย Internet ผ่านดาวเทียม iPSTAR ใช้ internet host server เป็น data logger อีกแห่งด้วย เข้าชมข้อมูลได้ที่ http://pirun.ku.ac.th/~g4785009 ภาพรวมการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่กล่าวแล้วแสดงใน Figure 4

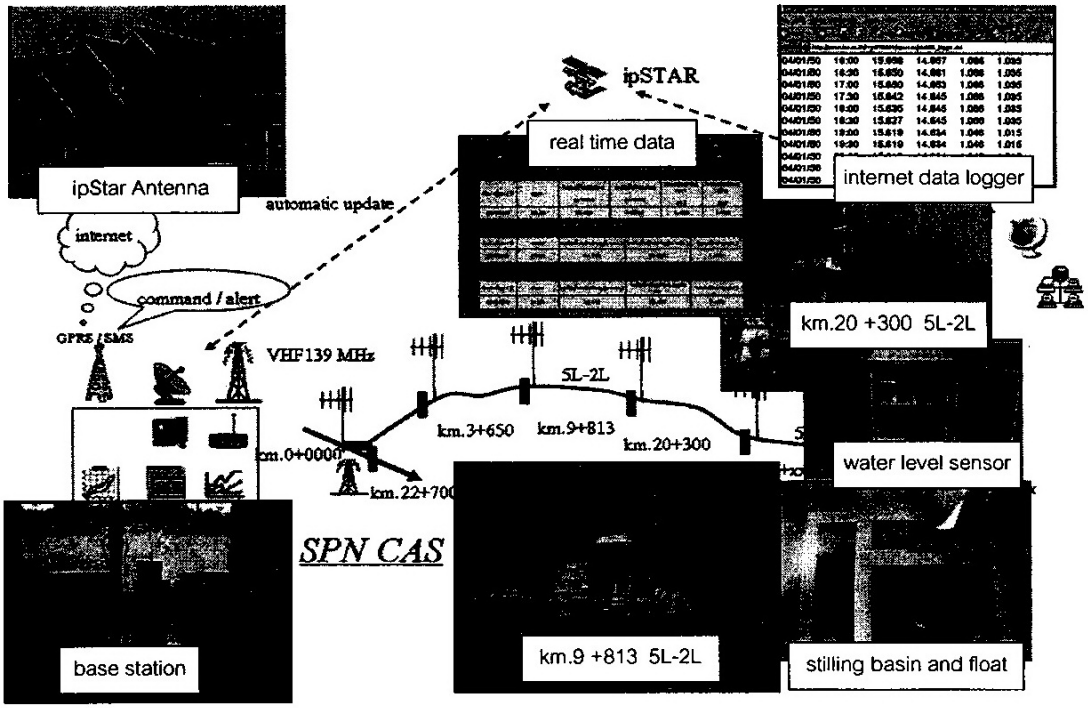


Figure 4 devices installation

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบการใช้งานระบบคลองอัตโนมัติระยะที่ 1 ซึ่งระบบคลองอัตโนมัติ จะทำงานเป็นเพียงระบบโทรมาตร (Telemetering) โดยประตูยนต์ที่สถานีลูกข่ายจะตรวจวัดระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายบาน และระยะการเปิดบาน ของ ปตร.กลางคลองทั้ง 3 แห่ง บันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติลงใน Data Logger พร้อมส่งข้อมูลผ่านระบบวิทยุสื่อสารให้สถานีแม่ข่ายทุกครึ่งชั่วโมง ซึ่งทางฝ่ายจัดสรรน้ำสามารถใช้ข้อมูลระดับน้ำและระยะการเปิดบานประตูที่ตรวจวัดได้เป็นข้อมูลในการจัดสรรน้ำในคลอง 5L-2L คอมพิวเตอร์ที่สถานีแม่ข่ายจะส่งข้อมูลให้ internet host server ผ่านดาวเทียม ipstar เพื่อนำเสนอข้อมูลบน Internet แบบ Real Time ผลทดสอบการทำงานตรวจวัดและส่งข้อมูลระยะไกลระหว่างวันที่ 4 มกราคม - 8 สิงหาคม 2550 แสดงใน Figure 5 – 7 ซึ่งอุปกรณ์ระบบคลองอัตโนมัติทั้งสถานีแม่ข่ายและสถานีลูกข่ายทำงานส่งข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำ ระยะเปิดประตูระบายน้ำในระยะไกลอย่างต่อเนื่องทุกๆ ครึ่งชั่วโมงได้ดีตลอดช่วงทดสอบ ในส่วนของระบบควบคุม ปัจจุบันยังคงทดสอบใช้งานการควบคุมการปรับบาน ปตร. กลางคลอง ทั้ง 3 แห่ง โดยใช้ DCเกียร์มอเตอร์ที่พัฒนาขึ้นโดยระยะนี้จะใช้คนเปิด - ปิดในสนาม (Manual) เพื่อให้พนักงานส่งน้ำและผู้รักษาอาคารเกิดความคุ้นเคยกับระบบคลองอัตโนมัติก่อนจะทำการปรับระบบการควบคุมเป็นการควบคุมระยะไกล และพัฒนาเป็นระบบคลองอัตโนมัติแบบ CAS(Computerized Centralized Control,CCC) ที่สมบูรณ์ต่อไป

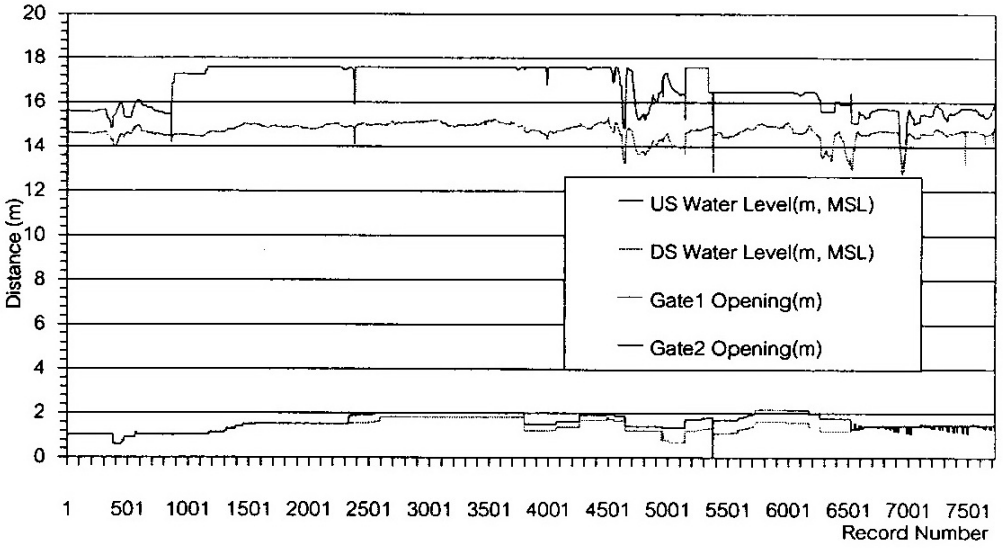


Figure 5 Water level and gate opening of cross regulator at 5L-2L Km.3+650 (Sta.901) recorded every 30 minutes during 4 January 2007 - 8 August 2007

ที่สถานี 901 กม. 3+650 คลอง 5L-2L ระดับน้ำหน้าประตูระบายน้ำเฉลี่ย +16.726 ม.รทก. ระดับน้ำท้ายประตูระบายน้ำเฉลี่ย + 14.699 ม.รทก. ระยะเปิดประตูระบายน้ำทั้งสองบานเฉลี่ย 1.412 เมตร และ 1.588 เมตร ตามลำดับ

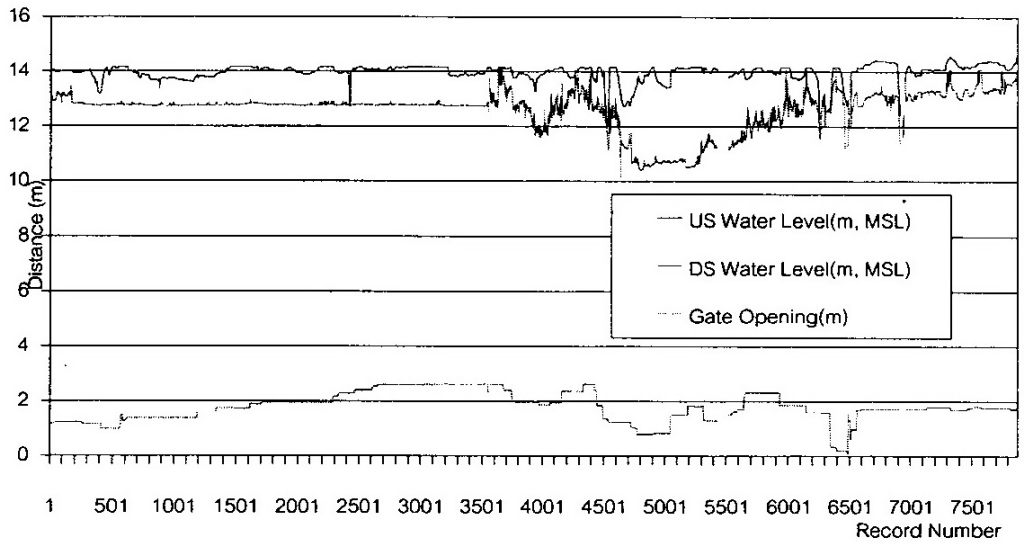


Figure 6 Water level and gate opening of cross regulator at 5L-2L Km. 9+813 (Sta.902) recorded every 30 minutes during 4 January 2007 - 8 August 20

ที่สถานี 902 กม. 9+813 คลอง 5L-2L ระดับน้ำหน้า - ท้ายประตูระบายน้ำเฉลี่ย +13.963 ม.รทก. และ + 12.618 ม.รทก. ตามลำดับ ระยะเปิดประตูระบายน้ำเฉลี่ย 1.792 เมตร

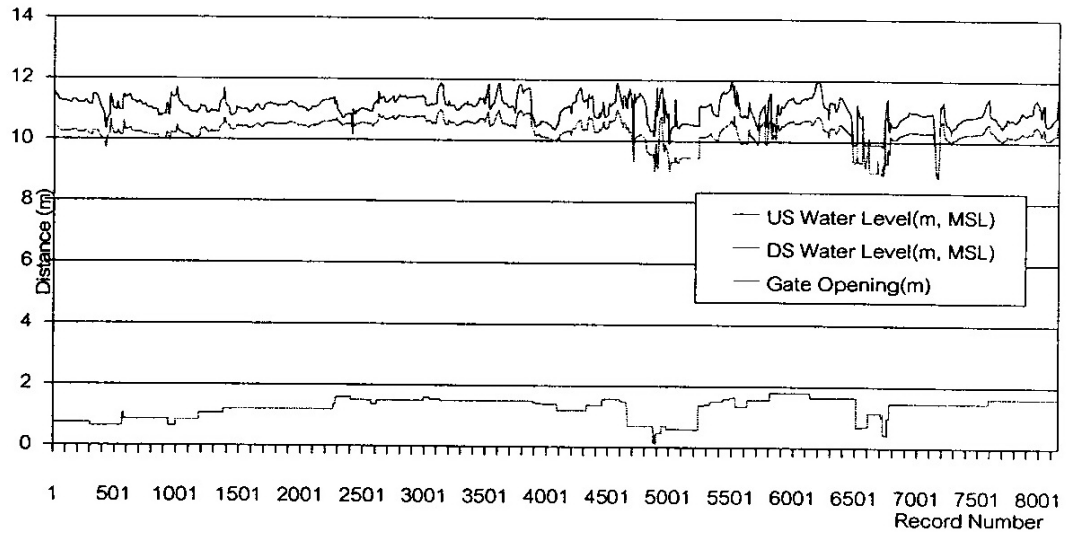


Figure 7 Water level and gate opening of cross regulator at 5L-2L Km. 20+300 (Sta.903) recorded every 30 minutes during 4 January 2007 - 8 August 2007

ที่สถานี 903 กม. 20+300 คลอง 5L-2L ระดับน้ำหน้า - ท้ายประตูระบายน้ำเฉลี่ย +11.039 ม.รทก. และ + 10.306 ม.รทก. ตามลำดับ ระยะเปิดประตูระบายน้ำเฉลี่ย 1.277 เมตร

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ช่วยยกระดับศึกษาและได้พัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการควบคุมน้ำในคลองส่งน้ำแบบอัตโนมัติให้ใช้งานได้จริงระดับโครงการชลประทานของไทย โดยเน้นการใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ในประเทศ และมีต้นทุนต่ำ ซึ่งในระยะที่ 1 นี้สามารถสรุปได้ว่าระดับน้ำหน้าประตูระบายน้ำทั้งสามแห่งมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับ FSL. การวัดระดับน้ำที่ใช้ระบบลูกลอย เลือกระบบวิทยุสื่อสารที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการรับ-ส่งข้อมูล มีความเหมาะสมเพราะแม่ข่ายเรียกสถานีลูกข่ายได้ทุกเวลาตามต้องการ อย่างไรก็ตามการสร้างบ่อน้ำนิ่งในคลองขนาดใหญ่อาจมีปัญหาเฉพาะกรณีที่ไม่สามารถปิดน้ำเพื่อทำการก่อสร้าง ได้ศึกษาการติดตั้งประตูยนต์ อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ อุปกรณ์ตรวจวัดระยะการเปิดบานประตูระบายน้ำในคลอง การใช้แสงแดดแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับสถานีลูกข่าย 3 สถานี และระบบสื่อสารกับสถานีแม่ข่าย ตลอดจนซอฟท์แวร์ควบคุมการทำงาน และ โปรแกรมสำหรับการ Upload ข้อมูล และแสดงผลข้อมูลแบบ Real Time บน Internet สำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ซึ่งผลการทดสอบอุปกรณ์ในช่วงแรกพบว่าพบว่าประตูยนต์ และ อุปกรณ์ต่างๆ ทำงานได้ดียกเว้นระบบ DC เกียร์มอเตอร์ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องค่าดำเนินงานระยะแรกนี้จึงเลือกใช้มอเตอร์ราคาถูกคุณภาพไม่ดีนักมีอายุการใช้งานสั้น แต่การเปิด-ปิดประตูระบายน้ำอุปกรณ์ทำงานได้ผลดีพอสมควร

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปี 2549 โครงการวิจัยและพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ ทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม กรมชลประทาน และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้อย่างดี

เอกสารอ้างอิง

วิชญ์ ศรีวงษา และ วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2546. การพัฒนาระบบวัดระดับน้ำและควบคุมการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำระยะไกล. **การประชุมวิชาการประจำปี 2546 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวิชญ์ ศรีวงษา. 2547. ต้นแบบประตูยนต์ (Robogate). **ชลกร.** ฉบับวันเสาร์ที่ 4 มกราคม 2547. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์. กรุงเทพฯ.

วิชญ์ ศรีวงษา และ วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2548. การพัฒนาโทรมาตรต้นทุนต่ำ Development of low cost telemetering. **การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 2** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐมฯ.

วิชญ์ ศรีวงษา และ วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2549. ระบบคลองอัตโนมัติกำแพงแสน KPS CAS . **การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่** 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐมฯ

Ankum, P., 1994. **Automation of Flow Control in Irrigation Systems.** Delft University of technology. Delft. Netherland.

Clemrnens A.J., Feuer L. and Strand R.J.. 1998. **Plug and Play Canal Automation.** Research Hydraulic Engineer, U.S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, AZ, USA.

Sohag M.A.and Mahessar A.A. 2004. **Telemetry System in the Irrigation Network.** Sindh Irrigation & Drainage Authority, Hyderabad, Pakistan.

บทความที่ 2

ทิศทางและเทคโนโลยีการควบคุมอาคารชลประทานแบบอัตโนมัติของไทย

Direction of Local Automation Control Structure and Technology Development in Thailand

รศ.ดร. วราวุธ วุฒิวณิชย์[4] และ นายวิชญ์ ศรีวงษา[5]

คำนำ

ปัจจุบัน ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ต้องปฏิบัติงานควบคุมการส่งน้ำในโครงการชลประทาน ต้องการข้อมูลแบบ real time และการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว-แม่นยำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมน้ำชลประทานให้ทันต่อสถานการณ์ ลดปัญหาการขาดแคลนบุคลากรสนามในการเก็บ บันทึก วิเคราะห์ข้อมูล และการควบคุมการปิด-เปิด ปตร. จึงมีการนำใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่สำหรับการควบคุมการส่งน้ำในคลองชลประทานมาใช้มากขึ้น เช่น**ระบบโทรมาตร (Telemetering)** ซึ่งใช้ตรวจวัดน้ำในระยะไกลให้ข้อมูลแบบ Real Time แต่การควบคุมอาคารชลประทานยังต้องใช้พนักงาน หรือ**ระบบ SCADA** (Supervisory Control and Data Acquisition) ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดระดับน้ำและควบคุมการเปิด – ปิด ประตูระบายน้ำระยะไกลแบบอัตโนมัติ มีองค์ประกอบสำคัญ 4 ส่วนคือ (1) ระบบตรวจวัด (2) ระบบสื่อสาร (3) ระบบตัดสินใจ และ (4) ระบบควบคุมระยะไกลโดย Supervisor อย่างไรก็ตาม ทั้งระบบโทรมาตร และ ระบบ SCADA ในปัจจุบันยังมีราคาสูง ประกอบกับโครงการชลประทานยังขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้ความเข้าใจในการใช้งาน และดูแลบำรุงรักษาระบบ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และกรมชลประทานจึงได้ร่วมมือทำการวิจัย **“โครงการนำร่องการใช้เทคโนโลยีทันสมัยในการชลประทาน”** ซึ่งเริ่มต้นใน ปี พ.ศ. 2547 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัดน้ำและควบคุมน้ำที่ทันสมัย มีประสิทธิภาพ เหมาะกับสภาพโครงการชลประทานในประเทศไทย ใช้วัสดุ-อุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศ ราคาไม่แพง และสามารถปรับปรุงและพัฒนาต่อไปได้ เป้าหมายในการวิจัยและพัฒนาคือเพื่อพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการควบคุมน้ำในคลอง ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า **“ระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System)”**

การวิจัยและพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมน้ำในคลองชลประทาน ซึ่งเกี่ยวข้องกับ **โครงการนำร่องการใช้เทคโนโลยีทันสมัยในการชลประทาน** พอจะแบ่งออกเป็นช่วง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

- **ช่วงก่อนเริ่มโครงการความร่วมมือ**

---

[4] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

[5] นิสิตปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

- 2546 - การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำและควบคุมระยะไกล ผ่านระบบวิทยุสื่อสาร ซึ่งได้ทดสอบการทำงานที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน จ.นครปฐม (เป็นโครงการวิจัยระดับวิทยานิพนธ์)
- 2547 - สร้างแบบจำลองขนาด 4 x 8 $ม^2$ เพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์และระบบควบคุม ปตร. ที่ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

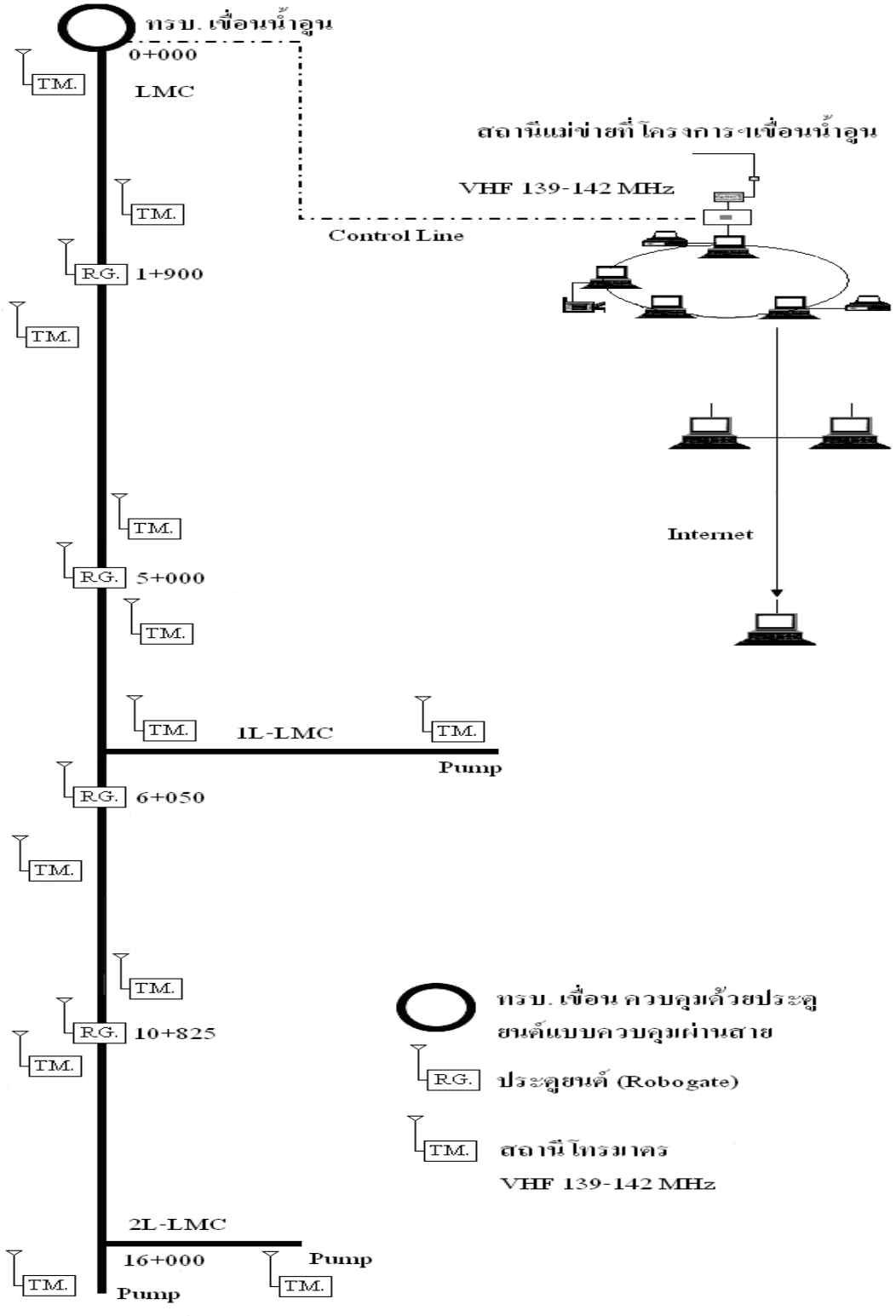
- **ช่วงหลังเริ่มโครงการความร่วมมือ**
  - 2548 – การพัฒนาระบบ SCADA สำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน
  - 2549 – การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ สำหรับระบบคลองส่งน้ำของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (ติดตั้งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว กำลังอยู่ระหว่างการทดสอบและปรับปรุง Software)
  - 2549 - การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ. สุพรรณบุรี (ออกแบบ-สร้างอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว กำลังอยู่ระหว่างการติดตั้งอุปกรณ์ระยะแรกที่โครงการ)

ต่อไปจะได้กล่าวถึงการผลการวิจัยและพัฒนาที่สำคัญ เพื่อให้เห็นภาพทิศทางและเทคโนโลยีการควบคุมอาคารชลประทานแบบอัตโนมัติของไทยในปัจจุบัน

ระบบ SCADA น้ำอูน
(NAM-OON SCADA)

ระบบ SCADA นำร่องของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน ซึ่งต่อไปจะเรียกสั้นๆว่า ระบบ NAM – OON SCADA ประกอบด้วยสถานีโทรมาตร (Telemetering Station) 13 สถานี ประตูยนต์รุ่นที่ 4 (Robogate v.4) 5 ตัว และสถานีคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ดังแสดงในรูปที่ 1 สถานีโทรมาตรและประตูยนต์ จะติดต่อสื่อสารกับสถานีแม่ข่ายผ่านระบบวิทยุสื่อสาร VHF ความถี่ 139 MHz ของกรมชลประทาน ซึ่งมีรัศมีทำการประมาณ 30 กม. ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสื่อสารข้อมูล Hardware และ Software ของระบบ SCADAได้รับการออกแบบและพัฒนาขึ้นเองทั้งหมด โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศและมีราคาไม่แพง สถานีโทรมาตรตรวจวัดน้ำโดยใช้ลูกลอยติดตั้งในบ่อน้ำนิ่ง ดังรูปที่ 2 ลูกลอยจะเชื่อมต่อกับเฟืองและเพลาด้วยโซ่ และเพลาจะเชื่อมต่อกับตัวต้านทานแบบ Potentiometer เพื่อส่งสัญญาณแบบแอนนาลอกเข้าสู่แพงควบคุม ซึ่งเป็นกลไกแบบง่ายๆ สามารถสร้างเองได้และมีความแม่นยำสูง และราคาไม่แพง (วิชญ์และ วราวุธ. 2546 ; วราวุธและวิชญ์.2548) ประตูยนต์ (Robogate) หรือประตูน้ำควบคุมระยะไกลแบบอัตโนมัติ (วราวุธและวิชญ์.2547) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมระบบเกียร์มอเตอร์เพื่อ เปิด-ปิด ประตูระบายน้ำ โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ สามารถ

เขียนโปรแกรมสั่งให้ทำงานได้ ทั้งในโหมดของการควบคุมอัตราการไหล (Discharge Control) และการควบคุมระดับน้ำ (Water Level Control) และสามารถโปรแกรมให้ทำงานทั้งในแบบควบคุมจากศูนย์ด้วยคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Centralized Computerized Control) และแบบทำงานอิสระแบบอัตโนมัติ (Automatic Localized Control) (ดูรูปที่ 3) ประตูยนต์แต่ละตัวจะติดตั้งอุปกรณ์วัดระยะการเปิดบาน เพื่อใช้คำนวณหาอัตราการไหลของน้ำผ่านประตูระบาย หลักการควบคุมน้ำในคลอง LMC ของโครงการน้ำอูน คือใช้ประตูยนต์ 4 ตัว ติดตั้งที่ ปตร. กลางคลอง กม. 1+900, 5+000, 6+050 และ 10+885 ซึ่งถูกโปรแกรมให้ทำงานแบบควบคุมเหนือน้ำ (Upstream Control) เพื่อควบคุมระดับน้ำหน้า ปตร.ให้คงที่ ที่ระดับใช้การ สถานีโทรมาตรทั้ง 13 แห่ง จะรายงานระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและในคลองให้สถานีคอมพิวเตอร์แม่ข่ายทราบตามระยะเวลาที่ถูกโปรแกรมไว้ เช่น ทุกชั่วโมง คอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะมวลผลว่าปริมาณน้ำในคลองสูงหรือต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และสั่งประตูยนต์ที่อ่างเก็บน้ำให้ปล่อยน้ำเข้าสู่คลอง LMC เพื่อป้องกันการขาดแคลนน้ำบริเวณท้ายคลอง แนวคิดดังกล่าวคือการนำระบบควบคุมทั้งแบบเหนือน้ำและแบบท้ายน้ำมาใช้ร่วมกันเพื่อให้การควบคุมน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น (ดูรูปที่ 4 ประกอบ) NAM –OON SCADA นับเป็นระบบ SCADA ที่พัฒนาขึ้นเองภายในโครงการความร่วมวิจัยระหว่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และกรมชลประทาน โดยมีภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน สถาบันพัฒนาการชลประทาน และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูนร่วมกัน ถือเป็นต้นแบบ SCADA ต้นทุนต่ำระบบแรก ที่พัฒนาขึ้นเองเพื่อควบคุมน้ำทั้งคลองสายใหญ่ ตัวระบบกำลังอยู่ระหว่างการทดสอบการใช้งานจริงในสนาม เพื่อนำข้อบกพร่องต่างๆกลับมาพัฒนาให้ระบบ SCADA มีความสมบูรณ์เหมาะสมกับสภาพของโครงการชลประทานในประเทศและถือเป็นก้าวแรกในอันที่จะพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation) (วราวุธและวิชญ์. 2548) เพื่อเป็นเครื่องมือให้โครงการชลประทานใช้ในการควบการส่งน้ำน้ำชลประทานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป



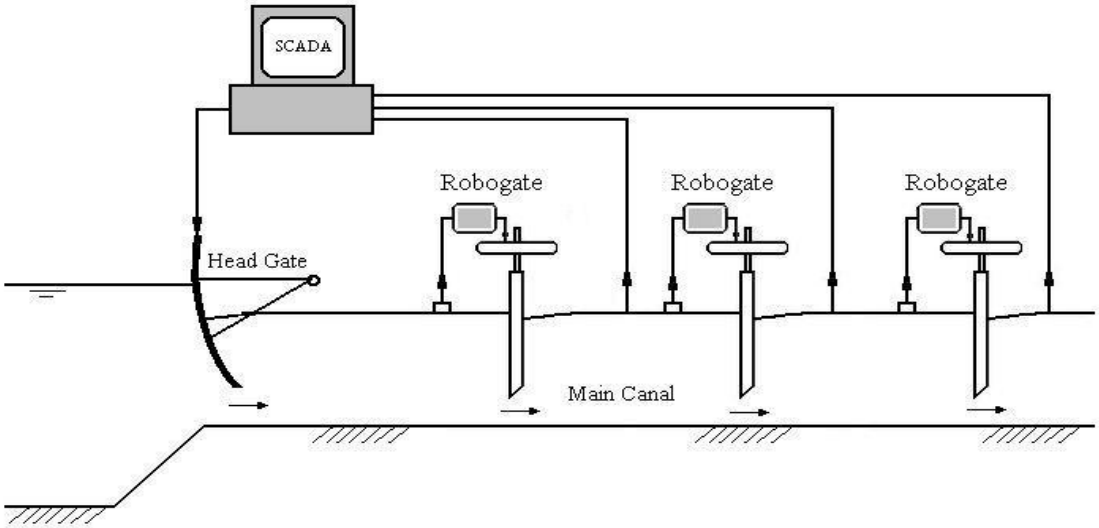
รูปที่ 1 ผังการติดตั้งอุปกรณ์ระบบ SCADA น้ำอูน

ระบบเฟืองและเพลาซึ่งเชื่อม
ลูกลอยเข้ากับ Potentiometer

รูปที่ 2.1 สถานีโทรมาตรท้ายประตูระบายน้ำหน้างานส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2

รูปที่ 2.2 สถานีโทรมาตรหน้าสถานีสูบน้ำ บ้านอุ่มเหม้า

รูปที่ 3 ประตูยนต์ควบคุมประตูระบายน้ำหน้างานส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2

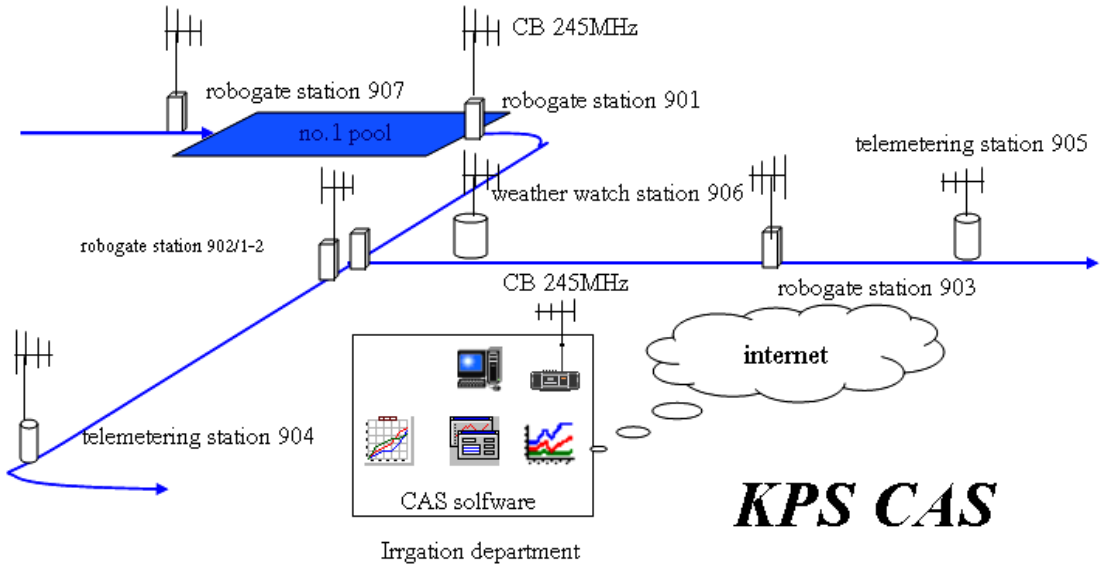


รูปที่ 4 การประยุกต์ประตูยนต์กับระบบ SCADA ในการควบคุมน้ำในคลองทั้งในแบบการควบคุมท้ายน้ำและแบบการควบคุมเหนือน้ำ

ระบบคลองอัตโนมัติ วิทยาเขตกำแพงแสน

(Kamphaengsaen Canal Automation System, KPS CAS)

การทดสอบใช้งาน NAM–OON SCADA ยังไม่จบลงเพียงการทดสอบใช้งานแต่ที่สำคัญคือต้องเขียนโปรแกรม NAM-OON CAS เพื่อ upgrade ให้เป็น NAM-OON CAS ซึ่งเครื่องมือได้ออกแบบรองรับการ upgrade ไว้แล้วรอเพียงโปรแกรม NAM-OON CAS เท่านั้น การเขียนโปรแกรมให้ทำงานดีต้องอาศัยข้อมูลจากการทดสอบใช้งาน และการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นร่วมกับอุปกรณ์ของจริงอย่างใกล้ชิดตลอดเวลาอีกทั้งต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญหลายท่านร่วมกันทำงานพร้อมกัน ซึ่งเป็นการยากที่จะมีเวลาพร้อมกันดังนั้นเพื่อให้งานพัฒนา CAS ทำได้ต่อเนื่องและนำเทคโนโลยีส่งไปใช้กับ NAM-OON CAS หรือโครงการชลประทานแห่งอื่นที่อยู่ห่างไกล ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน จึงได้พัฒนา KPS CAS (Kamphaengsaen Canal Automation System) ซึ่งได้ติดตั้งทดสอบการใช้งานที่คลองส่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม แนวคิดการออกแบบยังคงให้เป็นระบบที่ใช้ต้นทุนต่ำ รูปที่ 5 ข้อมูลจากสนามส่งผ่านคลื่นวิทยุ CB(citizen band) 245MHz ใช้กำลังส่งต่ำเพียง 0.5 W. รัศมีการใช้งานครอบคลุมคลองส่งน้ำทั้งหมด คัดแยกช่องความถี่ย่อยโดยใช้ CTCSS tone รับ-ส่งข้อมูลเข้ารหัส DTMF encoder/decoder ที่พัฒนาขึ้น การนำเสนอข้อมูลแบบ upload อัตโนมัติที่หน้า Webpageพร้อมกับใช้ host ของ internet เป็น data logger



รูปที่ 5 แนวคิดการออกแบบ KPS CAS

การทำงานโดยทั่วไปประกอบด้วย การ ใช้เทคโนโลยีหุ่นยนต์ทำงานแบบอัตโนมัติ(Robogate) ควบคุมปริมาณน้ำภายในคลองส่งน้ำ สามารถติดตามวิเคราะห์ละเอียดและส่งคำสั่งการทำงานผ่านคลื่นวิทยุ CB 245

MHz ใช้พลังงานแสงแดดสำหรับเครื่องมือที่ติดตั้งบริเวณที่ไม่มีกระแสไฟฟ้า ในปัจจุบัน Robogate ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้การใช้งานสามารถรองรับโปรแกรมขั้นสูง การสื่อสารกับสถานีแม่ข่ายในทุกเวลาที่ต้องการ Robogate v.5 ที่พัฒนาขึ้นใช้ ระบบฝังตัวประกอบด้วยไมโครคอนโทลเลอร์หลักทำงานแบบคู่กัน 2 ตัว โดยตัวแรกทำหน้าที่ควบคุมการตรวจวัด การควบคุมปรับประตูระบายน้ำ บันทึกข้อมูล ควบคุมจากฐานเวลาจริง ส่วนตัวที่สองทำหน้าที่ด้านการสื่อสารทั้งหมดรายละเอียดการติดตั้งเครื่องมือมีดังต่อไปนี้

1. Robogate ที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ กม. 0 + 000 (รูปที่6) ควบคุมปริมาณน้ำไหลผ่านประตูแบบ down stream volume control อุปกรณ์วัดระดับน้ำชนิดลูกลอย วัดระดับน้ำในบ่อ 1 และทางท้ายน้ำที่ กม. 0 + 050 ส่งข้อมูลให้ Robogate ทำงานตามโปรแกรมวิเคราะห์และควบคุมการเปิด – ปิด ประตูระบายน้ำโดย DC เกียร์มอเตอร์ ที่สถานีแม่ข่ายควบคุมจะรับข้อมูลระดับน้ำและการทำงานผ่านคลื่นวิทยุ CB ทำการวิเคราะห์ละเอียดสามารถส่งคำสั่งพิเศษให้ Robogate ทำงานตามต้องการ

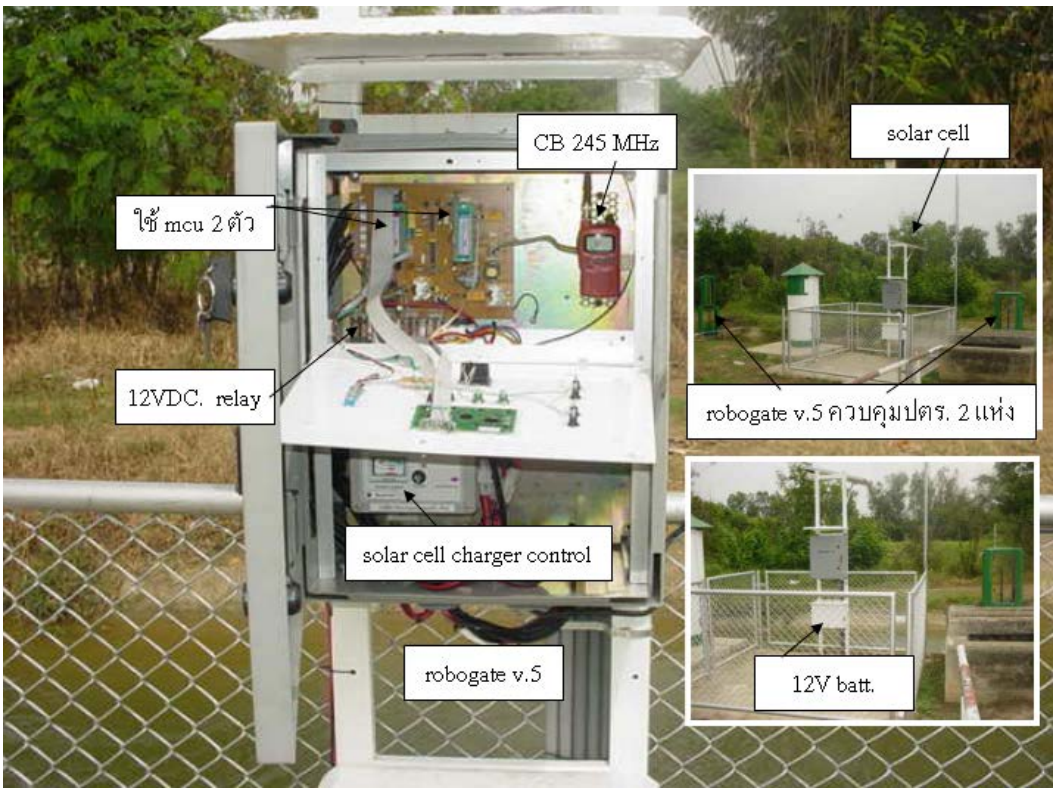
รูปที่ 6 Robogate v.5 ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ กม. 0 + 000

2. Robogate คลองส่งน้ำสายใหญ่ กม. 1 + 150 และปากคลองซอย กม. 0 + 000 (รูปที่7 -8) ควบคุมปริมาณน้ำไหลผ่านประตูแบบ Upstream water level control อุปกรณ์วัดระดับน้ำชนิดลูกลอย วัดระดับ น้ำด้านเหนือน้ำ-ท้ายน้ำ ส่งข้อมูลให้ Robogate วิเคราะห์และควบคุมการเปิด – ปิด ประตูระบายน้ำจำนวน 2 แห่งโดย DC เกียร์มอเตอร์ ที่สถานีแม่ข่ายควบคุมจะรับข้อมูลระดับน้ำและการทำงานผ่านคลื่นวิทยุ CB รูปที่ 9

บริเวณที่ตั้งแห่งนี้ไม่มีกระแสไฟฟ้าต้องใช้พลังงานแสงแดดแปลงเป็นไฟฟ้ามีแบบเตอรี่สำรองทำงานได้ตลอด 5 วันโดยไม่หยุดพักการทำงาน

รูปที่ 7 Robogate คลองส่งน้ำสายใหญ่ กม. 1 + 150 และปากคลองซอย กม. 0 + 000

รูปที่ 8 ส่วนประกอบของ Robogate v.5



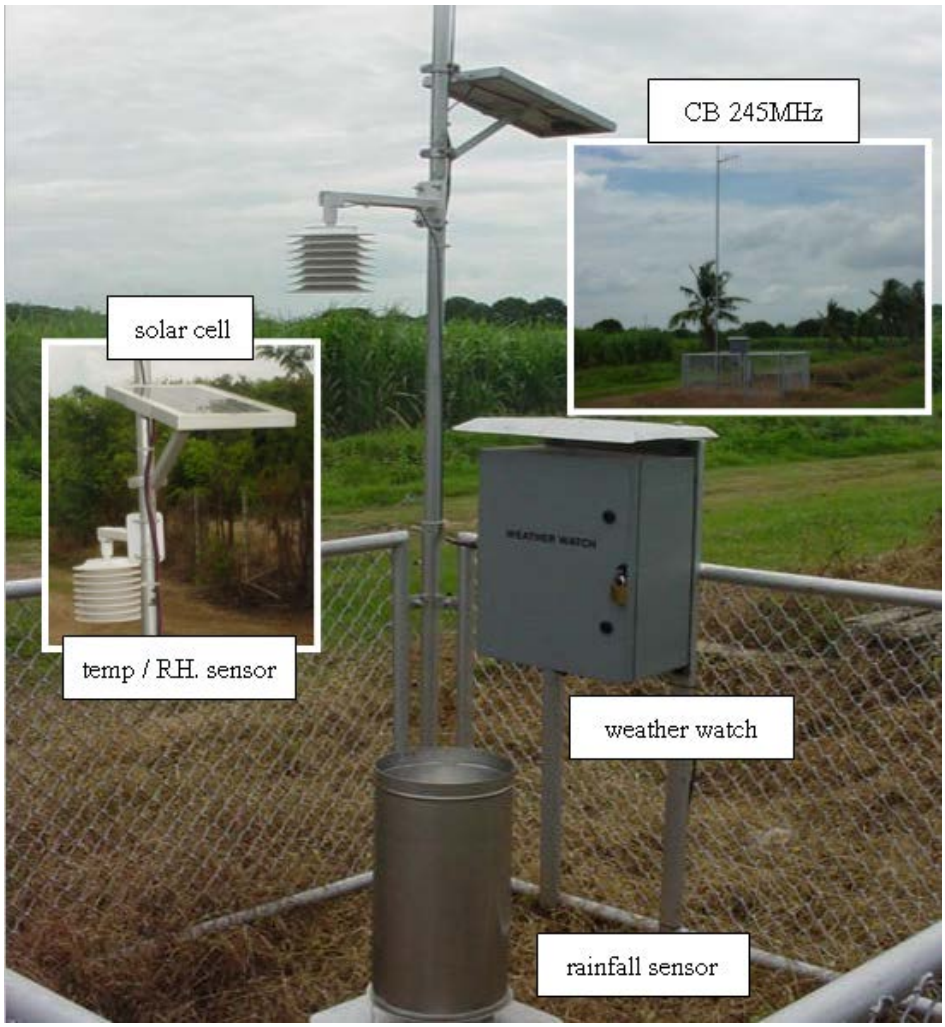
รูปที่ 9 การใช้ CB 245MHz

3. Robogateกลางคลองซอยหน้าศูนย์วิจัยการใช้น้ำของอ้อยควบคุมปริมาณน้ำไหลผ่านประตูแบบ up stream water level control อุปกรณ์วัดระดับน้ำชนิดลูกลอย วัดระดับน้ำด้านเหนือน้ำ-ท้ายน้ำ

4. สถานีวัดระดับน้ำแบบอัตโนมัติ(Telemetering)จำนวน 2 แห่งติดตั้งที่คลองส่งน้ำสายใหญ่ ข้างคอกวัวสัตว์บาล และ คลองซอยที่หน้าสถานีวิจัยคณะประมง ใช้อุปกรณ์วัดระดับน้ำชนิดลูกลอย วัดระดับน้ำส่งข้อมูลแบบเข้ารหัสผ่านคลื่นวิทยุ CB (รูปที่10)

รูปที่10 สถานีวัดระดับน้ำแบบอัตโนมัติ(Telemetering)

5. สถานีตรวจวัดอากาศชลประทานจำนวน 1 แห่ง(รูปที่ 11) ประกอบด้วยเครื่องวัดน้ำฝนชนิดถ้วยกระดก sensorวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศแบบอัตโนมัติติดตั้งที่แปลงรับน้ำชลประทาน ส่งข้อมูลแบบเข้ารหัสผ่านคลื่นวิทยุ CB สถานีนี้ใช้พลังงานจากแสงแดดดังนั้นจึงสามารถเคลื่อนย้ายไปติดตั้งในบริเวณอื่นที่ต้องการได้



รูปที่ 12 สถานีตรวจวัดอากาศชลประทาน

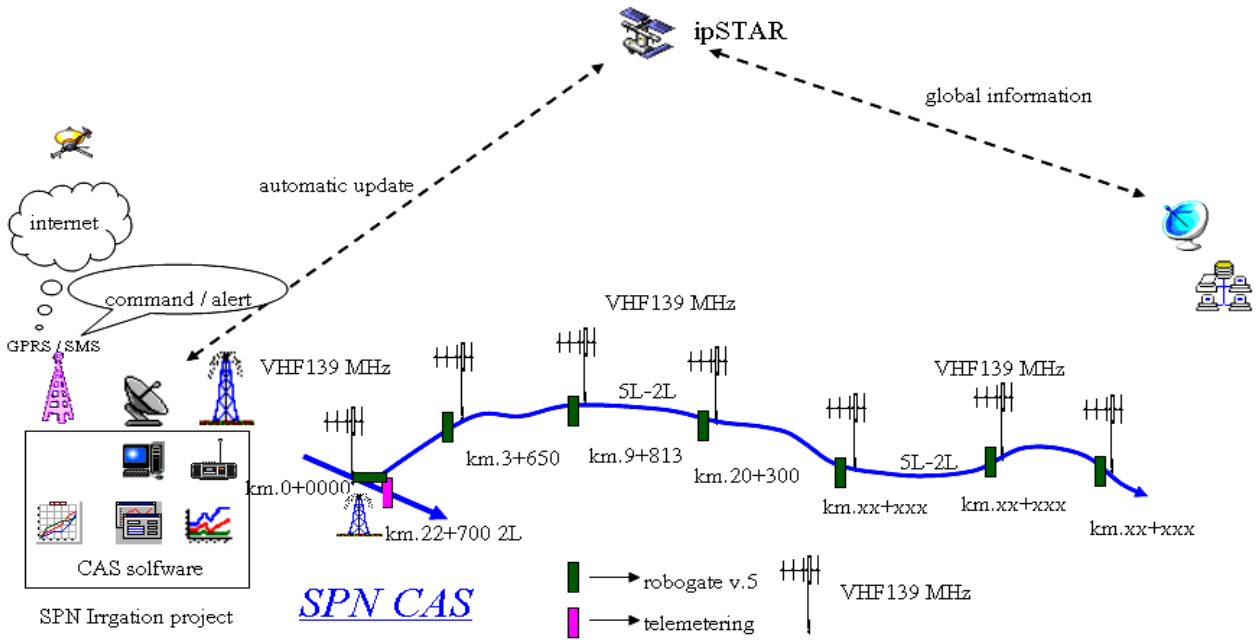
6. สถานีแม่ข่ายควบคุมประกอบด้วยอุปกรณ์เชื่อมต่อ PC ผ่าน serial port เขียนโปรแกรม KPS CAS เรียกรับข้อมูลจาก Robogate สถานีวัดระดับน้ำ(Telemetering) และ สถานีตรวจวัดอากาศชลประทานแบบอัตโนมัติ ผ่านคลื่นวิทยุ CB ข้อมูลเก็บลงในฮาร์ทดิสของ PC และ upload ข้อมูลเพื่อนำเสนอทาง Internet แบบอัตโนมัติทุก ½ ชั่วโมง ผู้สนใจสามารถเข้าชมได้ที่ http://pirun.ku.ac.th/~g4785009

ระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้อง

(Song Phi Nong Canal Automation System, SPN CAS)

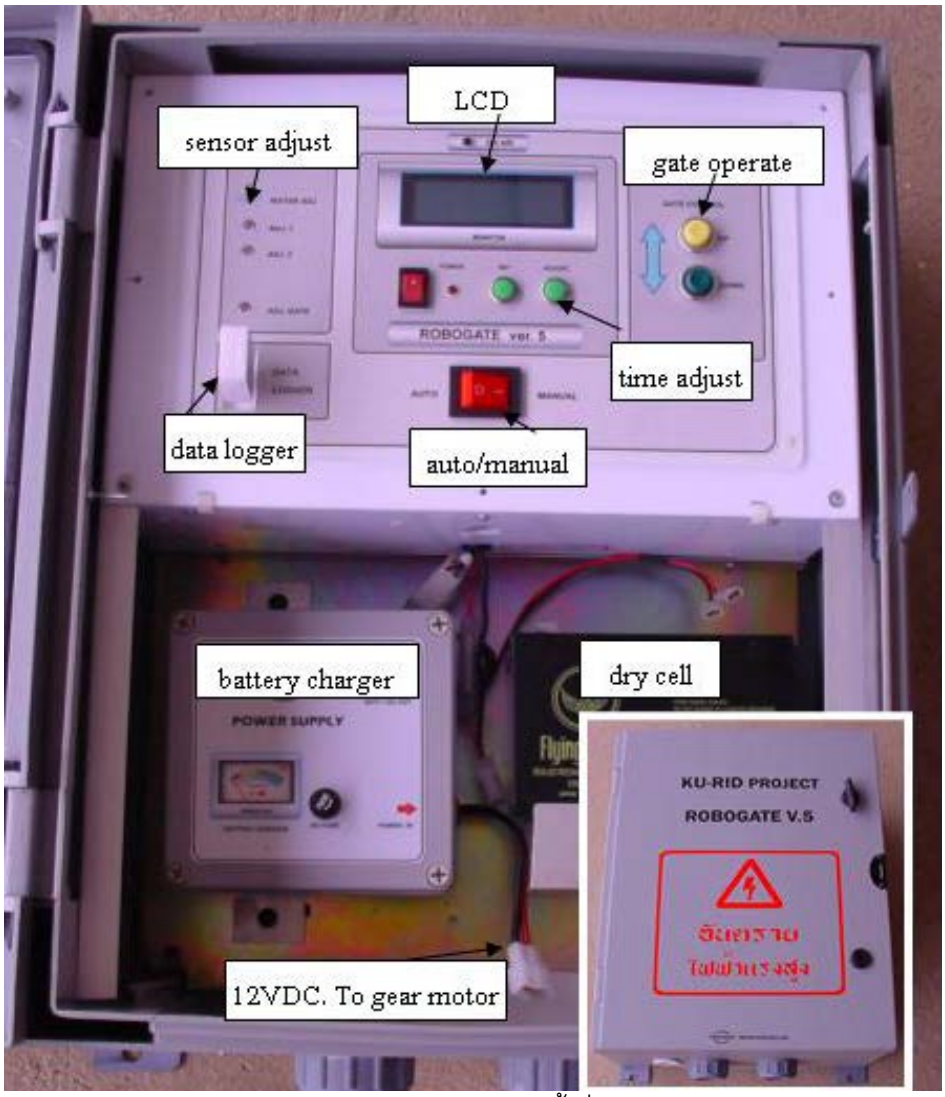
การนำเทคโนโลยีที่พัฒนาได้ไปทดสอบในสนามในลักษณะของโครงการนำร่อง เพื่อให้แน่ใจว่าเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและอุปนิสัยของคนไทย คณะทำงานโครงการวิจัยร่วมระหว่างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และกรมชลประทาน เลือกโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี เพื่อติดตั้งทดสอบการใช้งานเครื่องมือ SPN CAS แนวคิดการออกแบบ SPN CAS คล้ายกับ KPS CAS มีส่วนที่

เพิ่มเติมคือการนำเสนอข้อมูลแบบ automatic upload ผ่าน internet เลือกใช้การสื่อสารผ่านดาวเทียม ipSTAR ของ TOT ที่ครอบคลุมการใช้งาน internet ความเร็วสูงในปัจจุบันมีค่าใช้จ่ายรวมติดตั้งจานดาวเทียมที่ไม่แพง ภายในโครงการสามารถร่วมใช้งาน internet และ IP-Phone พร้อมกันได้ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายมาก การส่งข้อความเตือนหรือคำสั่งพิเศษแบบอัตโนมัติจากแม่ข่ายโดยส่งSMS ไปที่โทรศัพท์มือถือของพนักงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 13 แนวคิดการออกแบบ SPN CAS

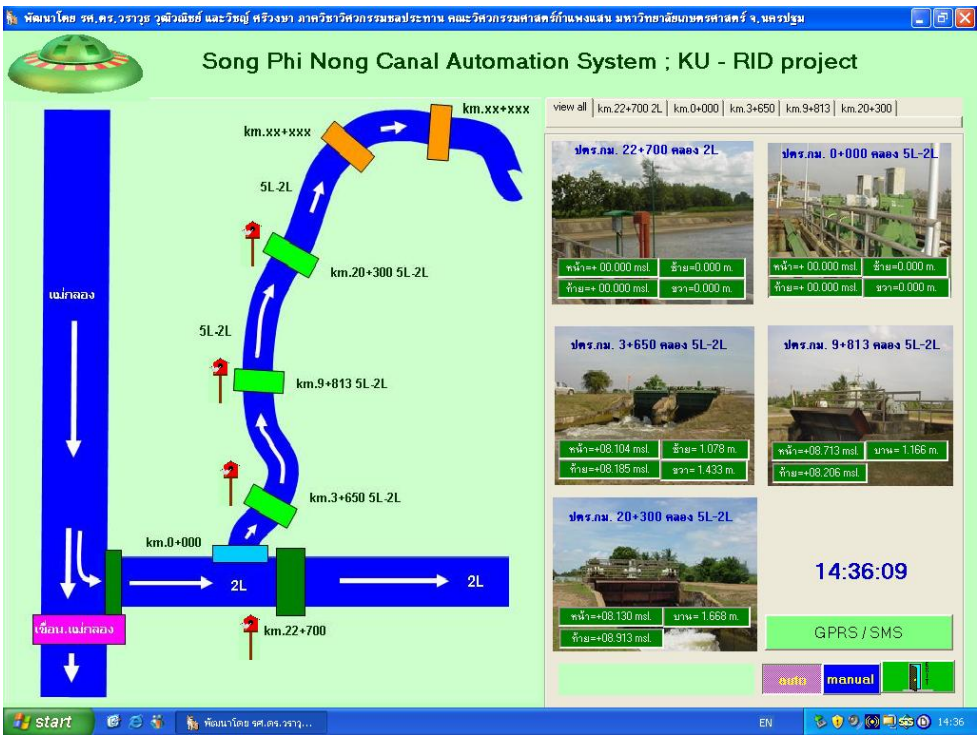
การทำงานโดยทั่วไป Robogate v.5 (รูปที่ 14) สามารถรองรับโปรแกรมขั้นสูง ควบคุมปริมาณน้ำภายในคลองส่งน้ำ รับ-ส่งข้อมูล ผ่านคลื่นวิทยุ VHF 139MHz เนื่องจากบริเวณติดตั้งไม่มีกระแสไฟฟ้าต้องใช้พลังงานจากแสงแดดชาร์ตแบตเตอรี่ Robogate v.5 ใช้ ระบบฝังตัวประกอบด้วยไมโครคอนโทลเลอร์หลักทำงานแบบคู่กัน 2 ตัวโดยตัวแรกทำหน้าที่ควบคุมการตรวจวัด การควบคุมปรับประตูระบายน้ำ บันทึกข้อมูลควบคุมจากฐานเวลาจริง ส่วนตัวที่สองทำหน้าที่ด้านการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุมี port เผื่อไว้สำหรับ GPRS นอกจากนี้ยังสามารถวัดปริมาณฝนตกไปพร้อมกันได้โดยต่อเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบถ้วยกระดก การติดตั้งเครื่องมือในระยะแรกเลือกคลองส่งน้ำ 5L -2Lติดตั้ง Robogate v.5 ที่ประตูระบายน้ำกลางคลอง กม. 3+650 กม. 9+813 และ กม. 20+300 รายละเอียดเครื่องมือซึ่งขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างติดตั้งแสดงอยู่ในรูปที่ 14-16 โปรแกรมควบคุมและแสดงผล แสดงอยู่ในรูปที่ 17 ตัวอย่างกราฟแสดงผลแสดงอยู่ในรูปที่ 18



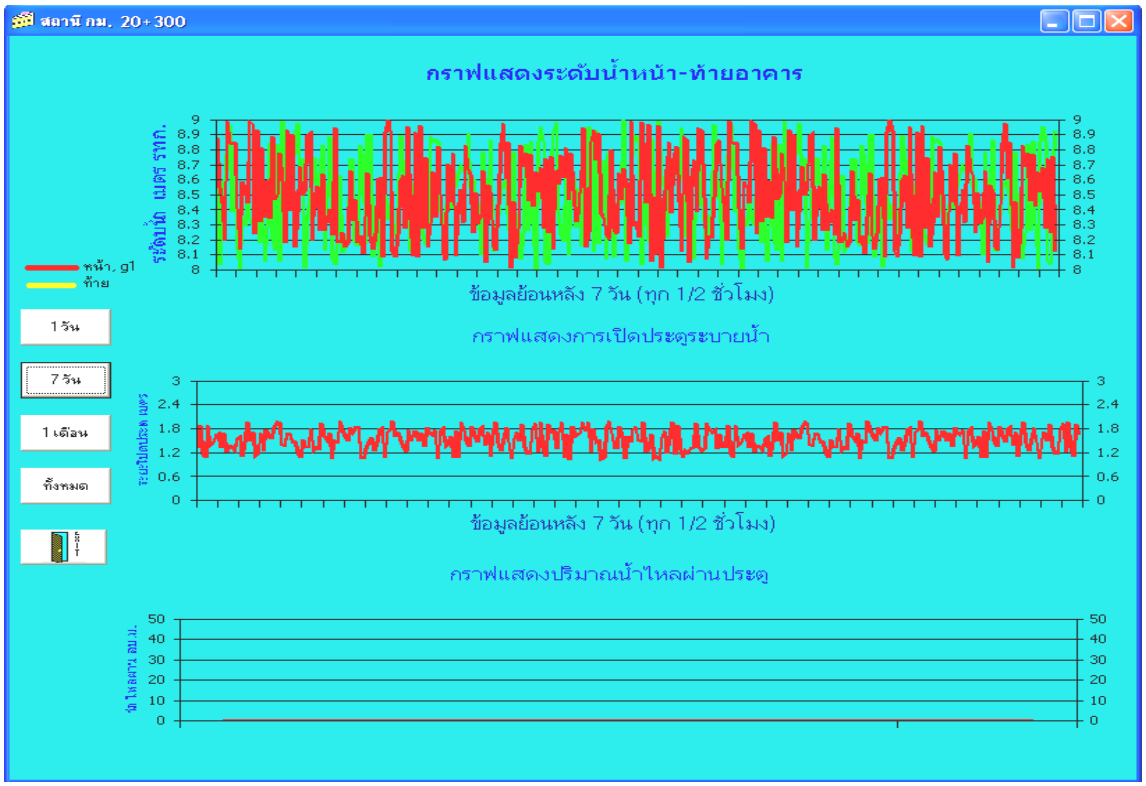
รูปที่ 14 Robogate v.5 ติดตั้งที่ SP CAS

รูปที่ 15 data logger

รูปที่ 16 แนวคิดการออกแบบ SPN CAS



รูปที่ 17 GUI(Graphic user interface)



รูปที่ 18 ตัวอย่างกราฟแสดงผล

สรุป

การบริหารจัดการน้ำปัจจุบันต้องการความรวดเร็วและข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจที่ถูกต้อง และเป็นเวลาปัจจุบัน ประกอบกับอัตรากำลังคนในปัจจุบันลดน้อยลงทุกปี เนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายลดจำนวนคนในหน่วยราชการ จึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีที่ทันสมัยทดแทนการทำงานของคน การพัฒนาเครื่องมือ NAM-OON SCADA , KPS CAS และ SPN CAS ติดตั้งใช้งานจริงในโครงการชลประทาน เพื่อทดลองปฏิบัติงานจริง และพัฒนาระบบช่วยในการตัดสินใจ (DSS- Decision Support System) ในการบริหารจัดการน้ำทั้งระบบ จะเป็นตัวอย่างของทิศทางและเทคโนโลยีการควบคุมอาคารชลประทานแบบอัตโนมัติของไทย

เอกสารอ้างอิง

1. วิชญ์ ศรีวงษา และ วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2546. การพัฒนาระบบวัดระดับน้ำและควบคุมการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำระยะไกล. การประชุมวิชาการประจำปี 2546. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. น.549-559.

2. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวิชญ์ ศรีวงษา. 2547. ต้นแบบประตูยนต์. หนังสือ วันชูชาติ 4 มกราคม 2547. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์. นนทบุรี. น. 66-73.

3. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และ วิชญ์ ศรีวงษา. 2548. ระบบคลองอัตโนมัติ. หนังสือ วันชูชาติ 4 มกราคม 2548. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์. นนทบุรี. น. 61-70.

Website เกี่ยวกับการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ

รูปที่ ข-1 Website เกี่ยวกับการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ (http://pirun.ku.ac.th/~fengynt)

นำเสนอทางนิทรรศการเกี่ยวกับการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ

รูปที่ ข-2 ภาพจัดนิทรรศการในหัวข้อ “ระบบคลองอัตโนมัติวิทยาเขตกำแพงแสน” ในงานนิทรรศการในงานเกษตรกำแพงแสน เดือนธันวาคม 2549

รูปที่ ข-3(1) ภาพจัดนิทรรศการในหัวข้อ “การพัฒนาและประยุกต์ระบบคลองอัตโนมัติในประเทศไทย” ในงานนิทรรศการในงานเกษตรกำแพงแสน เดือนธันวาคม 2550

รูปที่ ข-3(2) ภาพจัดนิทรรศการในหัวข้อ “การพัฒนาและประยุกต์ระบบคลองอัตโนมัติในประเทศไทย” ในงานนิทรรศการในงานเกษตรกำแพงแสน เดือนธันวาคม 2550

รูปที่ ข-3(3) ภาพจัดนิทรรศการในหัวข้อ “การพัฒนาและประยุกต์ระบบคลองอัตโนมัติในประเทศไทย” ในงานนิทรรศการในงานเกษตรกำแพงแสน เดือนธันวาคม 2550

รูปที่ ข-3(4) ภาพจัดนิทรรศการในหัวข้อ “การพัฒนาและประยุกต์ระบบคลองอัตโนมัติในประเทศไทย” ในงานนิทรรศการในงานเกษตรกำแพงแสน เดือนธันวาคม 2550