รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2548

โครงการวิจัยรหัส ศ-ข(วศ) 4.48

ชื่อโครงการภาษาไทย โครงการนำร่องการใช้เทคโนโลยีทันสมัยในโครงการชลประทาน ในโครงการความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กับกรมชลประทาน

ชื่อโครงการภาษาอังกฤษ Pilot Project on Application of Modern Technology in Irrigation Project as a Part of Kasetsart University-Royal Irrigation Department Research Cooperation

ชื่อผู้วิจัยภาษาไทย รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์ [1] และ นายวิชญ์ ศรีวงษา [2]

ชื่อผู้วิจัยภาษาอังกฤษ Assoc.Prof.Dr.Varawoot Vudhivanich [1] and Mr.Vich Sriwongsa [2

คำสำคัญ: ระบบคลองอัตโนมัติ ประตูยนต์

Key words: canal automation

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมสาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

[2] นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมสาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ชลประทานเกือบ 25 ล้านไร่ ส่วนใหญ่ส่งน้ำแบบ Gravity โดยมีระบบคลองชลประทานและระบบคูน้ำช่วยส่งและกระจายน้ำจากแหล่งน้ำไปยังพื้นที่เพาะปลูก มี ปตร.ปากคลอง (Discharge Regulator) เพื่อควบคุมปริมาณน้ำให้ไหลเข้าคลองตามที่กำหนด และปตร.ปากคลอง(Water Level Regulator) เพื่อควบคุมระดับน้ำในคลองให้อยู่ที่ FSL ตามหลักการส่งน้ำแบบควบคุมเหนือน้ำ (Upstream Control) มีพนักงานส่งน้ำทำหน้าที่ปิด-เปิด-ปรับ ปตร. ทั้ง 2 แบบ เพื่อควบคุมการส่งน้ำให้เป็นไปตามแผน

หัวใจสำคัญของการจัดสรรน้ำคือ การวางแผน การควบคุมและการติดตามประเมินผลการส่งน้ำ ปัจจุบันจะได้มีความพยายามพัฒนาวิธีการและเครื่องมือช่วยในการวางแผนจัดสรรน้ำโดยใช้คอมพิวเตอร์ เช่น มีการพัฒนาโปรแกรม WASAM(วราวุธ และวัชระ. 2533 ; วราวุธ และลำจวน. 2539 ; ภราดา และวราวุธ. 2542) มีการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ระดับต่างๆ เกี่ยวกับการใช้ WASAM ในการจัดสรรน้ำของโครงการชลประทาน แต่เครื่องมืออุปกรณ์และเทคนิคในการควบคุมการส่งน้ำในสนมายังไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร การควบคุมน้ำในคลองยังคงเป็นระบบ Manual ซึ่งต้องใช้พนักงานส่งน้ำจำนวนมาก และปัญหาที่ทุกโครงการชลประทานประสบอยู่คือขาดอัตรากำลังด้านส่งน้ำ ถึงแม้ว่าจะมีการนำเอาประตูน้ำอัตโนมัติแบบ Hydraulic มาใช้ แต่การใช้งานยังจำกัดเฉพาะบางคลองในบางโครงการเท่านั้น เช่น โครงการคลองตรอนและโครงการสองพี่น้อง

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

นอกจากนี้ วราวุธและวิชญ์(2547) ได้เริ่มพัฒนาระบบควบคุมการส่งน้ำในคลองแบบอัตโนมัติ(Canal Automation System) โดยเริ่มการพัฒนาต้นแบบประตูยนต์(Robogate) เพื่อควบคุมระดับน้ำในคลองชลประทานในโมดควบคุมเหนือน้ำ (Upstream Control) เพื่อให้ทำงานร่วมกับระบบ SCADA ซึ่งทำงานในโมดควบคุมท้ายน้ำ (Downstream Control) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนบุคคลากรด้านการส่งน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพ-ประสิทธิผลในการควบคุมการส่งน้ำในโครงการชลประทาน โดยในเบื้องต้นได้พัฒนาและทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งสามารถควบคุมระดับน้ำในคลองได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ จึงควรที่จะมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจวัดและควบคุมการส่งน้ำในคลองอย่างจริงจังต่อไป เพื่อให้ได้เทคโนโลยีที่เหมาะที่จะนำไปใช้ในโครงการชลประทานต่อไป โครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เกี่ยวกับระบบควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติ ที่เหมาะสมกับสภาพโครงการชลประทานในประเทศไทย และ พัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำและระบบควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติโดยใช้ประตูยนต์(Robogate)

วิธีวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติ ที่เหมาะสมกับสภาพโครงการชลประทานในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบถึงข้อดี-ข้อเสีย ของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมน้ำในโครงการชลประทาน โดยคำนึงถึงการนำไปใช้ได้จริง ประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการควบคุมการส่งน้ำ การยอมรับของเจ้าหน้าที่โครงการและเกษตรกร และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจเป็นหลัก
2. พัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำและระบบควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติโดยใช้ประตูยนต์(Robogate) โดยเน้นการใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ในท้องตลาด และมีราคาไม่แพง
3. ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมน้ำในห้องปฏิบัติการ และนำอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้งานในสนาม
4. คัดเลือกโครงการนำร่องการใช้เทคโนโลยีระบบคลองแบบอัตโนมัติ สำหรับการวิจัยและพัฒนาในขั้นถัดไป
5. สรุปผลและจัดทำรายงาน

ผลและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองส่งน้ำชลประทาน และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

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.) แบแระยะไกล 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 คือ แบบ Computerized Centralized Control (CCC) ซึ่งมีคอมพิวเตอร์ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ควบคุม (Operation Center) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากระบบโทรมาตรต่างๆ เก็บบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล (Data Base) มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถพยากรณ์ (Forecast) และจำลอง (Simulate) สถานการณ์ล่วงหน้า ก่อนตัดสินใจและสั่งการควบคุม ปตร. ระยะไกลแบบอัตโนมัติในช่วงเวลาปกติ แต่ในช่วงเวลาวิกฤติ จำเป็นต้องใช้คนตัดสินใจและสั่งการ ระบบคลองอัตโนมัติแบบหลังนี้ ต่อไปจะเรียกย่อๆ ว่าระบบ CAS(CCC)

เทคโนโลยีการควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติทั้ง 3 แบบ แต่ละแบบมีข้อดี-ข้อเสีย ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อดี-ข้อเสีย ของระบบการควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติ

ระบบควบคุมน้ำ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ระบบโทรมาตร	- ราคาถูกกว่าแบบอื่น	- ไม่สามารถควบคุมน้ำระยะไกลได้ ต้องใช้คนขี่มอเตอร์ไซด์ไปปิด-เปิด ปตร.
2. ระบบ SCADA	- สามารถควบคุม ปตร. ระยะไกล	- ราคาแพงกว่าระบบโทรมาตร - ต้องมีกระแสไฟฟ้าหรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าไปควบคุมมอเตอร์ได้ - 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

การนำเทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติไปใช้ จำเป็นที่จะต้องรู้และเข้าใจลักษณะของระบบคลอง ความรู้ความสามารถของเจ้าหน้าที่ เพื่อจะได้เลือกใช้ระดับเทคโนโลยีได้อย่างเหมาะสม

ระบบโทรมาตร ใช้เทคโนโลยีต่ำกว่าระบบอื่น สามารถนำไปใช้ได้กับทุกระบบคลอง โดยเจ้าหน้าที่ไม่ต้องมีความเข้าใจหรือมีความรู้เกี่ยวกับฮาร์ทแวร์และซอฟท์แวร์มากนัก การใช้งานไม่ยุ่งยาก แต่ต้องมีระบบตรวจความถูกต้องของข้อมูล

ระบบ SCADA ซึ่งมีระบบควบคุมระยะไกล การใช้งานในช่วงแรกๆต้องมีความระมัดระวัง มีการตรวจสอบในสนามว่าการควบคุมระยะไกลให้ผลตามที่สั่งการหรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามที่สั่งการไว้ต้องปรับแก้ระบบ จนแน่ใจว่าระบบทำตามที่สั่งการไป

ระบบคลองอัตโนมัติแบบ CAS (Robogate) คือ การแปลง ปตร. ธรรมดา ให้เป็นประตูยนต์ ทำการควบคุมระดับน้ำด้านเหนือน้ำหรือด้านท้ายน้ำตามที่กำหนดไว้ เนื่องจากประตูยนต์ทำการควบคุมระดับน้ำเฉพาะจุด ผลการควบคุมเฉพาะจุดจะส่งผลกระทบต่อระดับน้ำด้านเหนือและท้ายประตู และมีผลต่อการทำงานของประตูยนต์ด้านเหนือและท้ายน้ำ เช่น ประตูยนต์แบบควบคุมเหนือน้ำจะพยายามควบคุมระดับน้ำหน้าประตู โดยไม่คำนึงถึงปริมาณน้ำที่ส่งให้ท้ายน้ำ ถ้าน้ำที่ส่งเข้าคลองมีน้อยกว่าความต้องการ ประตูท้ายน้ำอาจไม่ได้รับน้ำก็ได้ จึงต้องมีระบบช่วยปรับแก้กรณีที Supply ไม่เท่ากับ Demand จะเพิ่มหรือลด Supply ได้ทันทีหรือไม่ หรือหาทาง กระจาย Shortage หรือ Excess ถ้าไม่สามารถปรับ Supply ได้ ระบบนี้อาจตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้ไม่เร็ว แต่จะทำงานได้ดีในช่วงภาวะปกติ แต่ค่าลงทุนไม่สูงมากนัก และไม่ต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ในการจำลองระบบซึ่งหาค่อนข้างยากในโครงการชลประทาน

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

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

1.2 การเลือกระบบสื่อสาร

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติจำเป็นต้องมีระบบสื่อสารที่ดี โดยอาจเป็นระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF หรือ UHF หรือ ระบบโทรศัพท์ซึ่งอาจเป็นแบบมีสายหรือไร้สาย ระบบ GPRS หรือระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมก็ได้ ระบบสื่อสารแต่ละระบบมีข้อดี-ข้อเสียต่างกันดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของระบบสื่อสารสำหรับระบบควบคุมน้ำในคลองอัตโนมัติ

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

1.3 **อุปกรณ์สำหรับวัดระดับน้ำ** (Water Level Sensor)

อุปกรณ์วัดระดับน้ำในคลอง หรือ Sensor ซึ่งสามารถทำขึ้นเองโดยใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่มีราคาไม่แพง สามารถหาซื้อได้ในประเทศ และสามารถวัดระดับน้ำในแบบจำลองคลองได้ถูกต้องแม่นยำพอสมควร แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

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

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

(3) อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบอินฟาเรด (Infrared) (ดูรูปที่ 3)

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

รูปที่ 1 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้

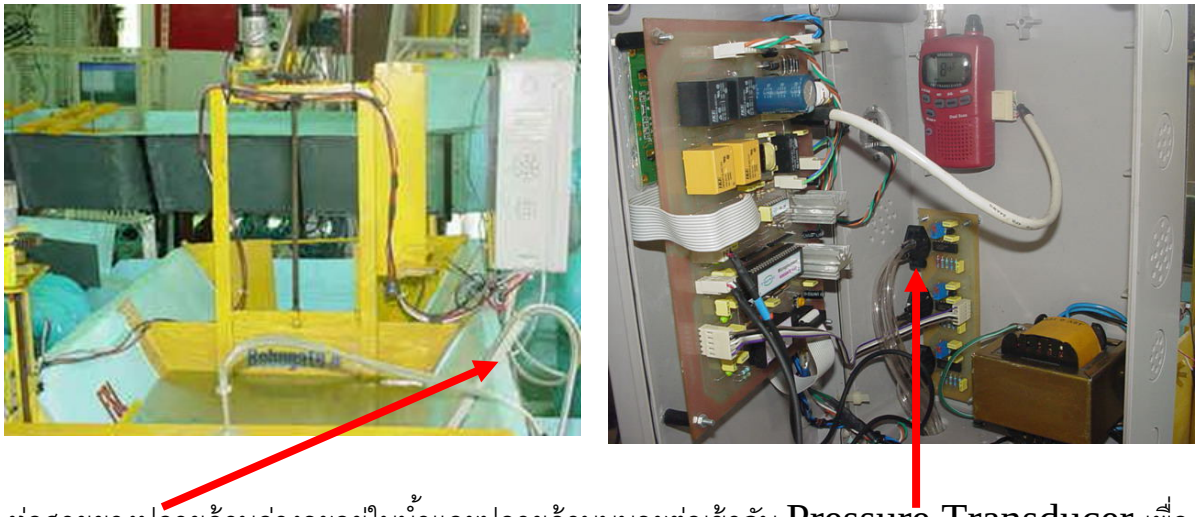
ลูกลอยจะยึดติดกับปลายโซ่ซึ่งจะขยับขึ้นลงตามระดับน้ำในบ่อน้ำนิ่ง

Potensiometer

รูปที่ 2 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ Potentiometer แบบกลม

Sensor แบบ Infrared จะทำหน้าที่วัดระยะทางของลูกลอยซึ่งขยับขึ้นลงตามระดับน้ำในบ่อน้ำนิ่ง

รูปที่ 3 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบอินฟาเรด (Infrared)



ท่อสายยางปลายด้านล่างจะอยู่ในน้ำและปลายด้านบนจะต่อเข้ากับ Pressure Transducer เพื่อวัดความดันในท่อแล้วแปลงเป็นระดับน้ำ

รูปที่ 4 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบวัดความดันน้ำ (Pressure Transducer)

อุปกรณ์วัดระดับน้ำแต่ละแบบมีข้อดี-ข้อเสียต่างกันดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อดี-ข้อเสียของอุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบต่างๆ

อุปกรณ์วัดระดับน้ำ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Slide) ขนาด 10 KΩ ความยาว 4-8 ซม. ราคา 30-200บาท	● ไม่ต้อง Reset เหมือน Encoder ● ราคาถูก ● ไม่อันตราย	● ไม่ Linear (Approximately Linear) ● ช่วงวัด 0-5 V ● มี Error ทั้งทางกล และ ทางไฟฟ้า ● Contact สกปรกง่าย ทำให้เกิด Error ในการส่งสัญญาณไฟฟ้า
อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้ Potentiometer แบบกลม ขนาด 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

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

(7) อุปกรณ์ต่างๆมีอายุการใช้งาน อาจเสียหายเมื่อไรก็ได้ ต้องมีอุปกรณ์สำรอง

2. พัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำและระบบควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติ

2.1 แบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation Model)

แบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ ถูกพัฒนาขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อใช้ทดสอบการทำงานของประตูยนต์ (Robogate) อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ อุปกรณ์วัดระยะการเปิดบานและตัวโปรแกรมควบคุมการทำงานระบบคลอง ในห้องปฏิบัติการ ก่อนที่จะนำไปทดสอบการใช้งานในสนามต่อไป แบบจำลองมีลักษณะทั่วไปดังรูปที่ 5 และมีรายละเอียดขณะทดลองดังภาพถ่ายในรูปที่ 6 แบบจำลองมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

(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 7 สถานีควบคุมหลักประกอบด้วย

- คอมพิวเตอร์ 1 ชุด
- Canal Automation Interface 1 ชุด ซึ่งทำหน้าที่ติดต่อกับระบบโทรมาตรและประตูยนต์ ผ่านวิทยุสื่อสารย่าน CB ดังรูปที่ 8

(5) ประตูยนต์ (Robogate) รุ่น 4.0 ซึ่งพัฒนาต่อจากรุ่น 3.0 จำนวน 4 ตัว ดังรูปที่ 9 เพื่อทำหน้าที่ควบคุมน้ำระดับน้ำในคลองส่งน้ำจำลอง ส่วนประกอบหลักของประตูยนต์ ประกอบไปด้วย

- ประตูระบายน้ำขนาดกว้าง 15 ซม.

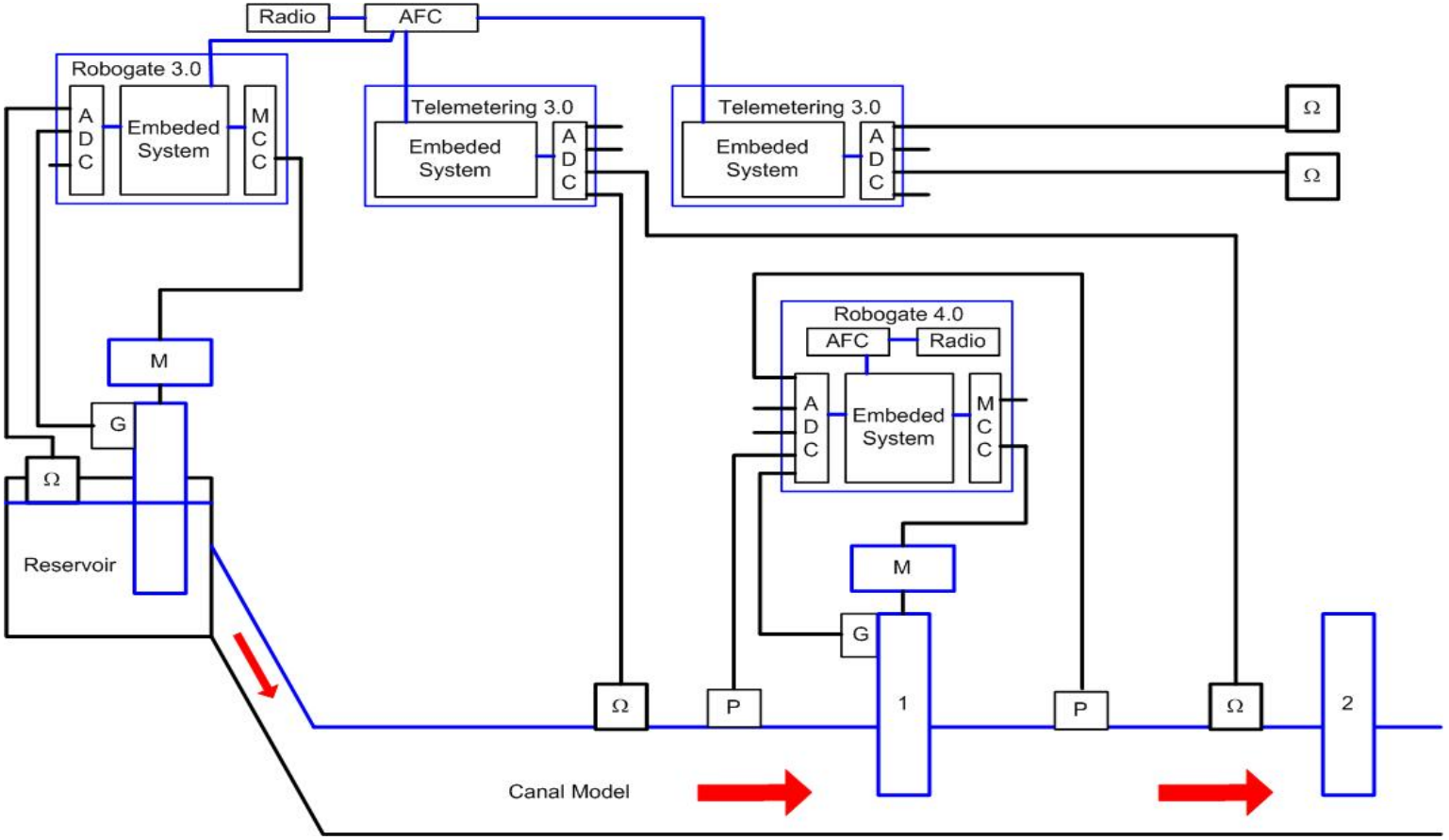
- กล่องระบบควบคุม ซึ่งประกอบด้วย Embeded System ที่ใช้ชิพขนาด14 bit-core มี ADC(Analog to Digital Convertor) 5 พอร์ต MCC(Motor Control Circuit) 2 พอร์ต พร้อม Sensor วัดระดับน้ำแบบวัดความดันน้ำ(Pressure Transducer) และวิทยุสื่อสารย่าน CB(Citizen Band) ขนาด 0.5 วัตต์ จำนวน 1 เครื่อง สำหรับสื่อสารข้อมูลกับสถานีควบคุมหลัก (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 10

(7) ระบบโทรมาตร (Telemetering) รุ่น 3.0 จำนวน 2 ชุด ดังรูปที่ 10(1) ระบบโทรมาตรรุ่นนี้ใช้ระบบควบคุมแบบ Embeded System ขนาด 14 bit-core มี ADC 4 พอร์ต ซึ่งรองรับ Sensor วัดระดับน้ำแบบลูกลอย 4 ตัว ดังรูปที่ 11 ระบบโทรมาตรรุ่นนี้จะมี AFC เพื่อต่อกับวิทยุสื่อสาร ตามที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ (6)

(8) Sensor วัดระดับน้ำแบบลูกลอย ซึ่งใช้ Potentiometer ขนาด 5 Ω เชื่อมต่อกับแกนเพลา ซึ่งปลายอีกด้านหนึ่งของแกนเพลาจะมีเฟืองสำหรับคล้องโซ่ ซึ่งต่อไปยังลูกลอยอีกทีหนึ่ง ดังรูปที่ 11 ในแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ ประกอบด้วย Sensor จำนวน 5 ชุด

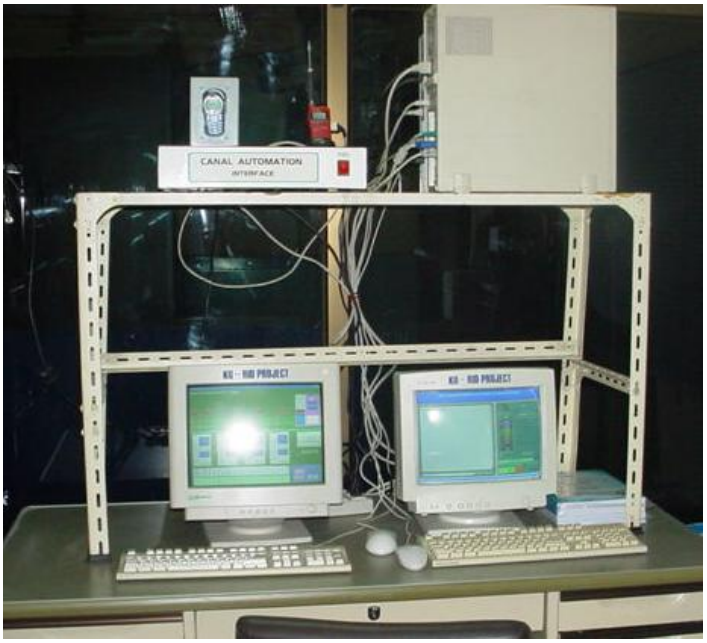
(9) วิทยุสื่อสาร ย่าน CB(Citizen Band) ขนาด 0.5 วัตต์ จำนวน 6 ตัว เพื่อใช้สื่อสารระหว่างสถานีควบคุมหลัก (Master Station) กับ ประตูยนต์และระบบโทรมาตร



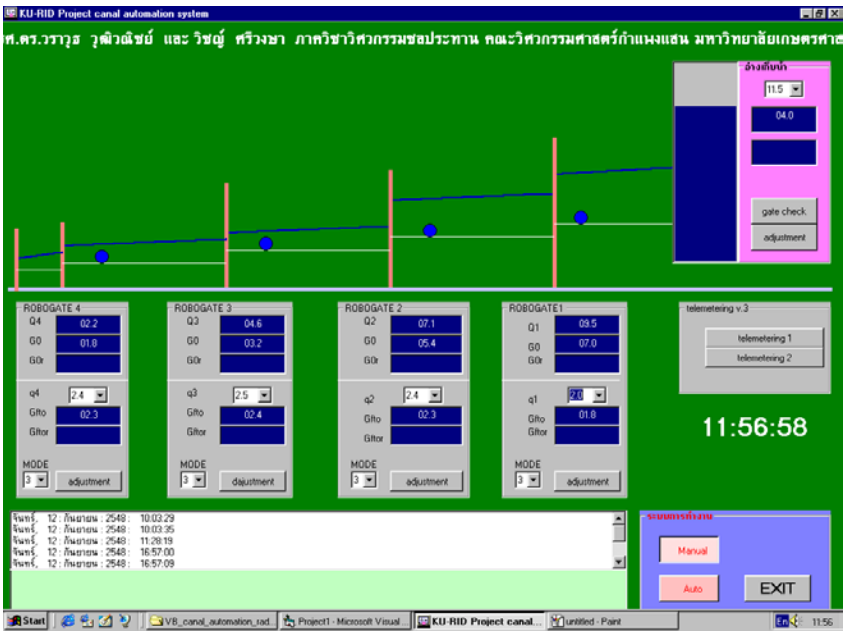
ADC = Analog to Digital Converter, MCC = Motor Control Circuit, AFC = Analog to Frequency Converter, M = Motor, G = Gate Positioning Sensor, Ω = Floating Type Water Level Sensor, P = Pressure Type Water Level Sensor

รูปที่ 5 ผังแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation Model)

รูปที่ 6 ภาพแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation Model) ขณะทดลอง

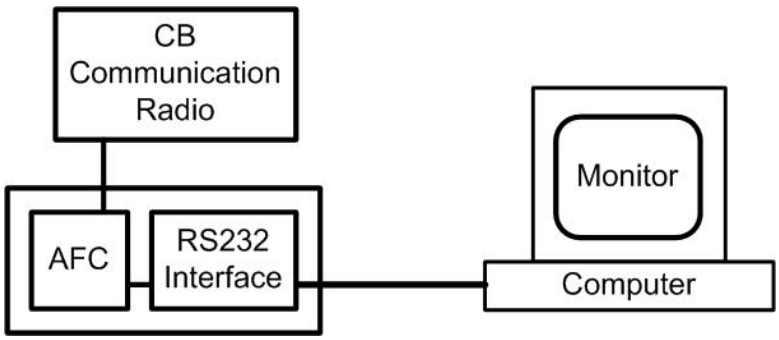


(1) Canal Automation Interface ซึ่งทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างแบบจำลองคลองและคอมพิวเตอร์ผ่านวิทยุสื่อสารย่าน CB

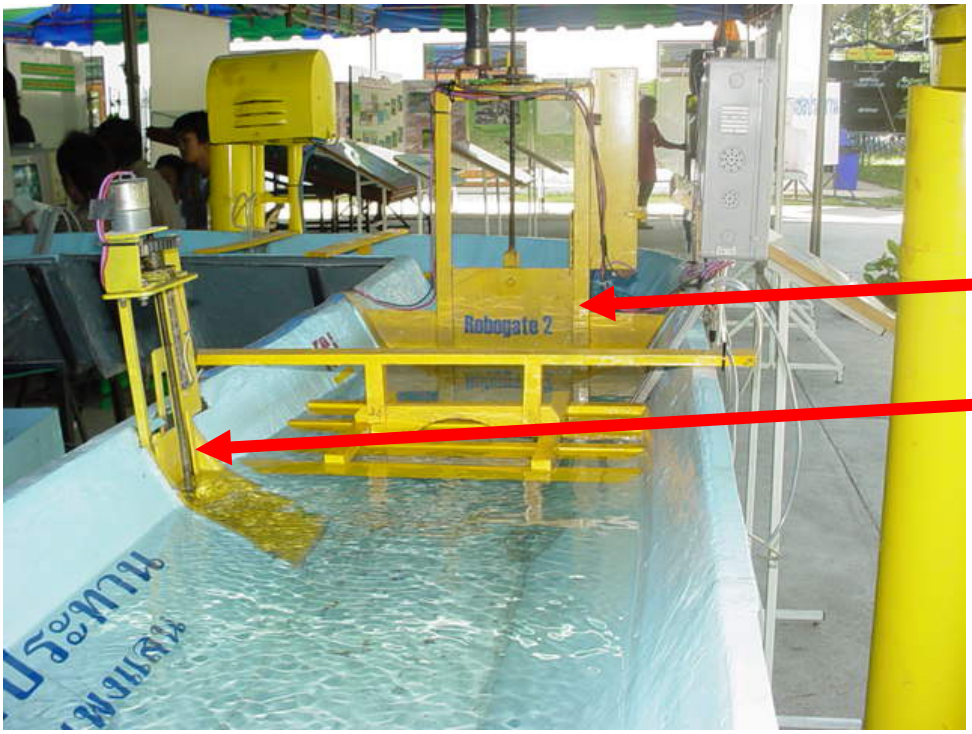


(2) Monitor แสดงผลการตรวจวัดน้ำในแบบจำลอง

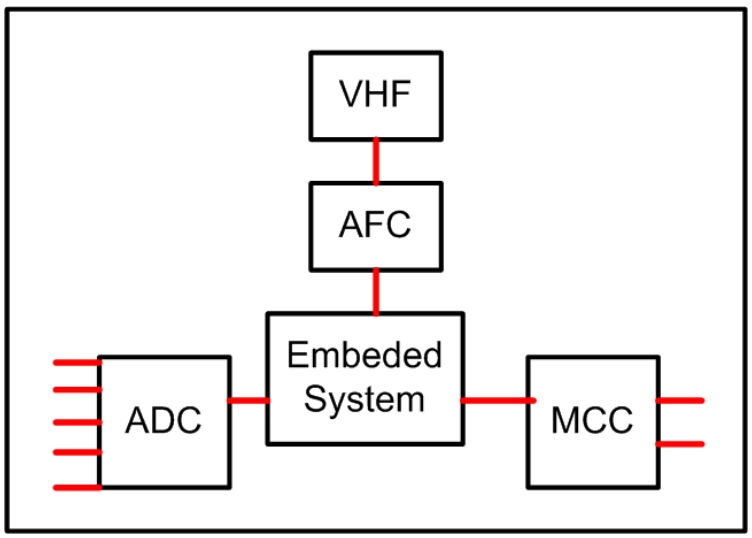
รูปที่ 7 สถานีควบคุมหลัก (Master Station)



รูปที่ 8 ผังรายละเอียด Canal Automation Interface



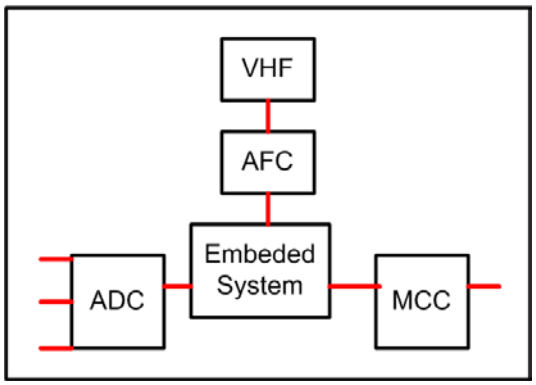
(1) ประตุยนต์รุ่น 4.0 ขณะทดลอง



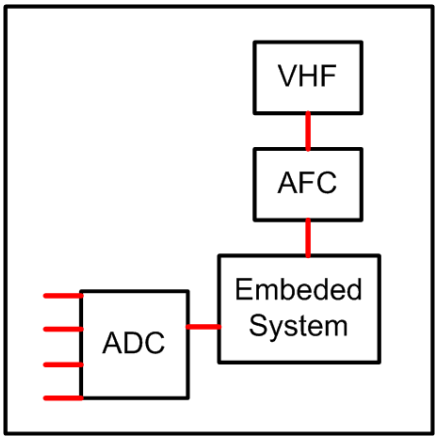
(2) รายละเอียดผังประตูยนต์รุ่น 4.0

รูปที่ 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 10 สถานีลูกข่าย (Remote Terminal Unit)

(1) การติดตั้ง Sensor วัดระดับน้ำแบบลูกลอยในแบบจำลองคลอง

(2) ระบบเฟืองและโซ่ซึ่งเชื่อมต่อลูกลอยกับ Potentiometer

รูปที่ 11 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอย

2.2 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 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

2.3 Upstream Volume Control Algorithm **สำหรับประตูยนต์รุ่น 4.0 ในโมด** Auto

เมื่อตั้งโปรแกรมที่โมด 1 (Auto) หรือ เปิดสวิทช์ที่ประตูยนต์รุ่น 4.0 ไปที่ Auto ระบบคลองอัตโนมัติจะทำงาน ในโมด Upstream Control (ดูรูปที่ 12) โดยมีหลักการทำงานดังนี้

(1) วัดระดับน้ำด้นหน้า (y) และหลังประตูยนต์ในคลองทุกๆ 5 วินาที หลังปรับบาน

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

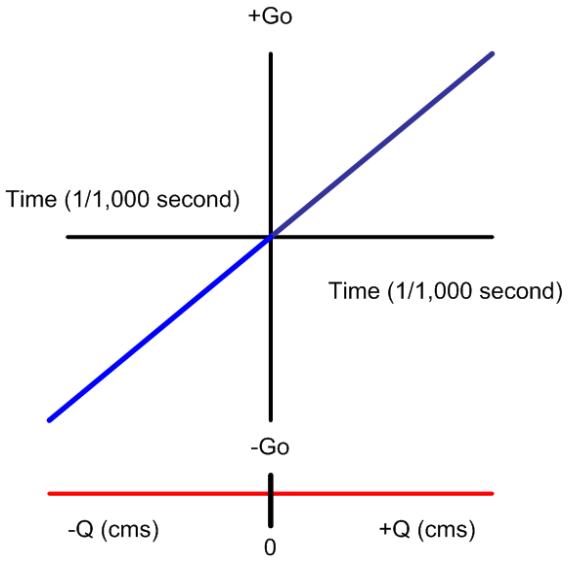
(3) คำนวณหาปริมาตรน้ำในช่วงคลองจากสูตร V=A.L เมื่อ L = ความยาวช่วงคลอง

(4) คำนวณหาผลต่างปริมาตรน้ำในช่วงคลองจากเป้าหมาย ΔV= Target V – V

(5) คำนวณหาอัตราการระบายน้ำของประตูยนต์ Q = ΔV/5

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

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



รูปที่ 12 Upstream Volume Control Algorithm

3. ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมน้ำ

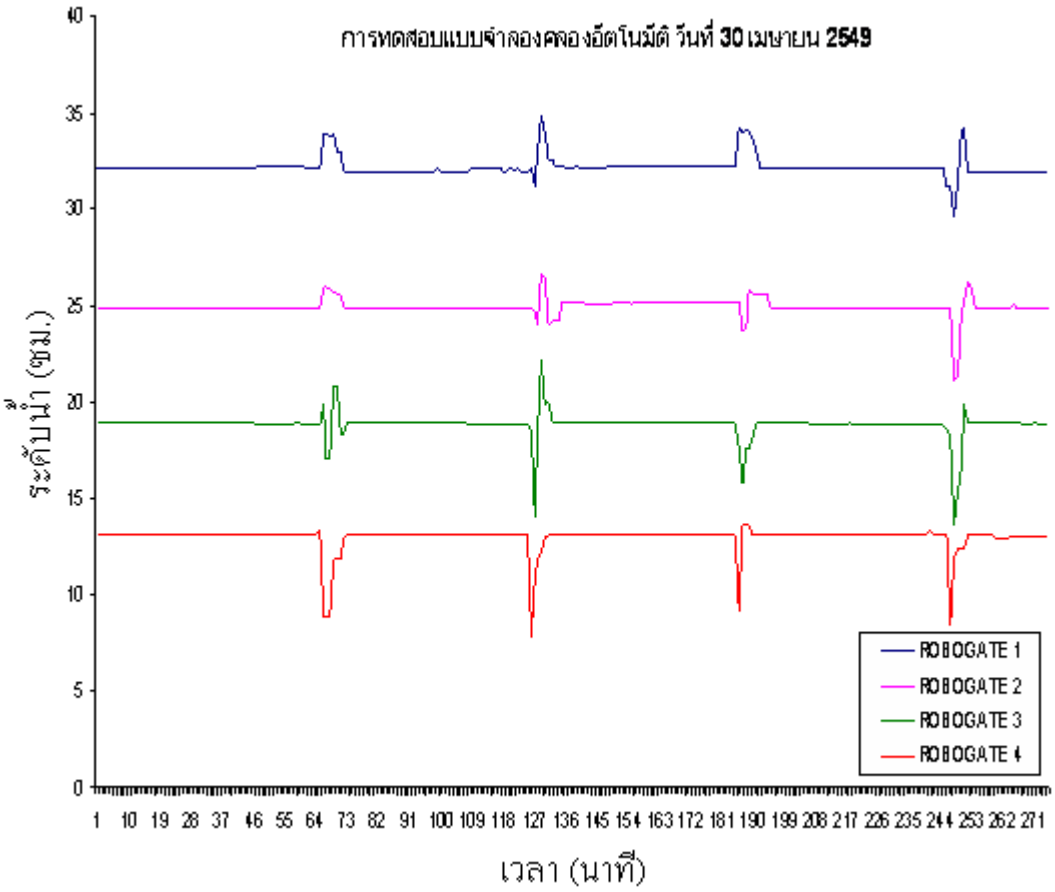
3.1 ผลการทดสอบแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติในห้องปฏิบัติการ

จากกการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมน้ำโดยใช้ประตูยนต์ และระบบโทรมาตรในแบบจำลองระบบคลองอัตโนมัติ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในช่วงเดือนธันวาคม 2548 และ เดือนเมษายน 2549 โดยกำหนดระดับน้ำใช้การเป้าหมาย (Target Full Supply Level) หน้าประตูยนต์ (Robogate) ในแบบจำลองคลอง ดังตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดระดับน้ำโดยระบบโทรมาตรได้ผลดังแสดงในรูปผนวกที่ 1-9 ของภาคผนวก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบคลองอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมปริมาณน้ำในคลองจำลองได้ใกล้เคียงกับระดับน้ำใช้การเป้าหมาย ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแต่ละการทดลองแสดงอยู่ในตารางผนวกที่ 1-9 ของภาคผนวก ซึ่งผลสรุปค่าความคาดเคลื่อนของทุกการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 0.08-8.06 % และค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำด้านเหนือน้ำของประตูยนต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.04 % ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในการทดสอบ 9 ครั้ง มีค่าสูงสุดไม่เกิน 10 % และมีค่าเความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย เพียงประมาณ 2 % เท่านั้น

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้น้ำในระบบคลองจำลองแบบกระทันหัน เนื่องจากการทดลองปิด-เปิด FTO ประตูยนต์สามารถปรับระดับน้ำเข้าสู่สภาวะ Steady State ได้อย่างรวดเร็ว ภายในเวลาไม่เกิน 10 นาที ดังตัวอย่างในรูปที่ 15

ตารางที่ 4 ระดับน้ำใช้การเป้าหมายในแบบจำลองคลอง

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



รูปที่ 15 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 30 เมษายน 2549

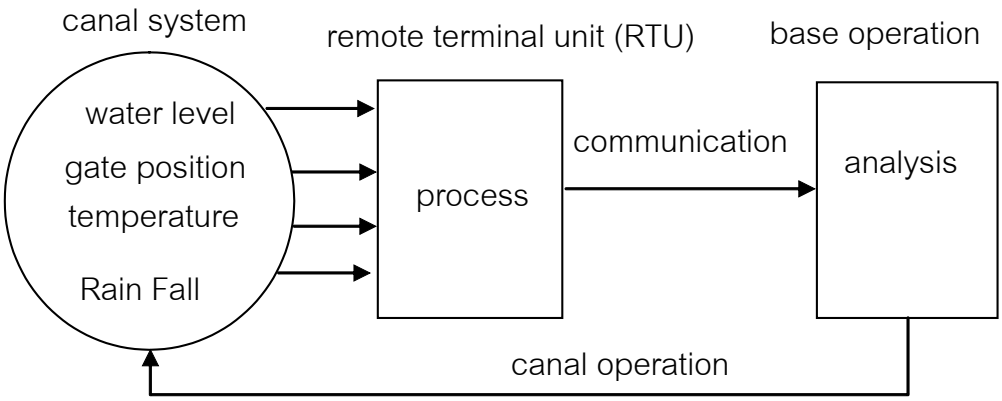
ตารางที่ 5 สรุปค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำที่จุดต่างๆในแบบจำลอง

หน้าประตูยนต์	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการควบคุมน้ำ									
	# 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

3.2 การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำและการทดสอบการทำงานในสนาม

3.2.1 การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำระยะไกลอัตโนมัติเพื่อใช้งานในสนาม

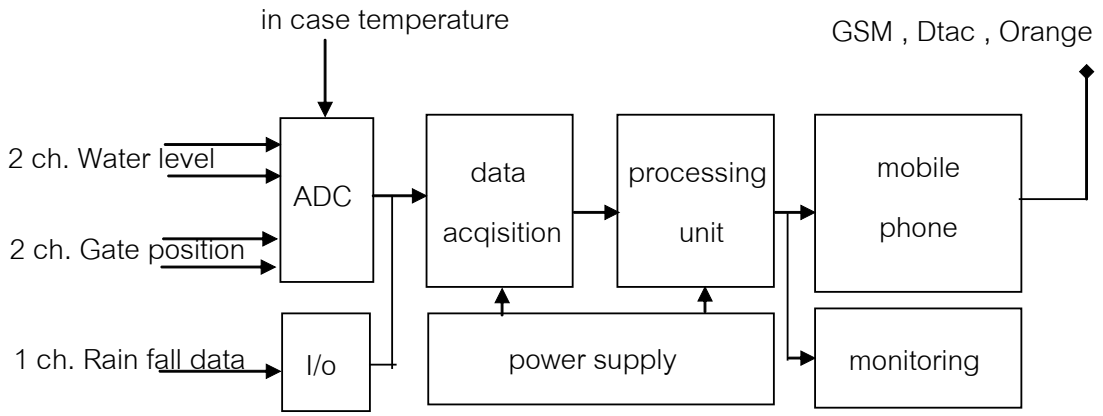
อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำแบบลูกลอยและระยะเปิดบานซึ่งพัฒนาขึ้นในห้องทดลอง ได้ถูกปรับปรุงเพื่อการนำไปทดลองใช้ในสนาม ที่ประตูระบายกลางคลอง 2L กม. 22.700 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ตัวระบบหลักถูกออกแบบโดยพิจารณาแยกลำดับขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 ส่วนแสดงใน รูปที่ 22 และ Remote Terminal Unit (RTU) มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 22 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำแบบลูกลอยและระยะเปิดบาน

หลักการทำงานของระบบคือ ลำดับแรกเป็นการรับข้อมูลทางกายภาพโดยใช้ sensor คือระดับน้ำ ระยะการเปิดบานประตูระบายน้ำ อุณหภูมิภายในเครื่อง และปริมาณฝนที่ตก ลำดับที่สองคือ

กระบวนการแปลงค่าการตรวจวัดทางกายภาพเป็นข้อมูลแบบดิจิตอล และส่งข้อมูลผ่านระบบการสื่อสารต่าง ๆ ไปที่แม่ข่ายหรือสถานีควบคุมที่อยู่ห่างไกลประมวลผลจากข้อมูลที่รับและทำการควบคุมประตูระบายน้ำโดยใช้คนต่อไป



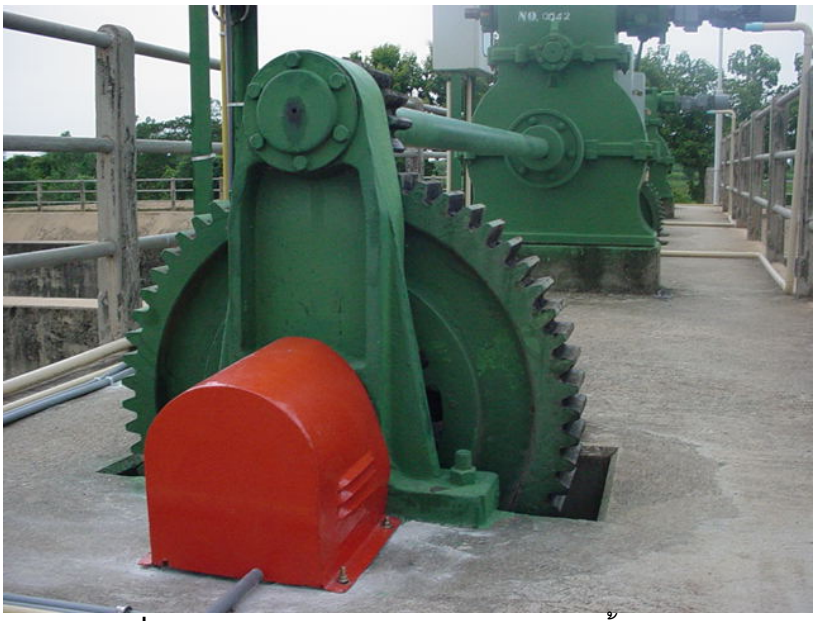
รูปที่ 23 รายละเอียด RTU ของระบบโทรมาตร

เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในรูปที่ 23 จะทำงานตามลำดับที่กล่าวแล้วซึ่งรายละเอียดการทำงานคือ sensors วัดระดับน้ำหน้า-ท้ายอาคารใช้ลูกลอยและเฟืองโซ่ต่อร่วมกับตัวต้านทานปรับค่าได้ชนิด potensiometer แปลงค่าระดับน้ำที่ขึ้น-ลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้า 0-5V. เพื่อส่งต่อให้วงจร ADC ระยะการเปิดบานประตูระบายน้ำ(gate position) ตรวจวัดโดยใช้ตัวต้านทานแบบเดียวกัน โดยติดตั้งไว้ที่แกนเพลาเครื่องกว้านบานระบาย ที่บนต่อม่อของประตูระบายน้ำได้ติดตั้ง sensor วัดปริมาณฝนตกที่ทำเองแบบ triping bucket วัดความละเอียดของน้ำฝนที่ตกได้ 0.5 mm./ครั้ง การรับข้อมูลใช้ส่วน interupth ของไมโครคอนโทลเลอร์นับจำนวนครั้งของ triping bucket แปลงเป็นข้อมูลดิจิตอล ภายในกล่องควบคุมได้ติดตั้ง sensor วัดอุณหภูมิเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิเครื่องขณะทำงานว่ามีความร้อนผิดปกติหรือไม่แต่ที่ผ่านมาเครื่องทำงานปกติดี ส่วนRTU(remote terminal unit) ประกอบด้วย embeded systemที่มีไมโครคอนโทลเลอร์ จำนวน 2 ตัว ทำงานช่วยกัน รับข้อมูลดิจิตอลที่แปลงแล้วจากวงจร fillter และ ADC ทำการปรับแก้และประมวลผลเบื้องต้น แสดงผลในตัวผ่าน LCD มีระบบรวบรวมข้อมูลและบันทึกใน data logger ทุกชั่วโมงสามารถบันทึกสำรองข้อมูลอย่างต่อเนื่อง 40 วันสามารถจัดการลบบันทึกซ้ำได้เองอัตโนมัติเมื่อข้อมูลเต็มการบันทึกควบคุมโดยใช้วงจร RTC(real time clock) ใช้วิธีส่งข้อมูลเข้ารหัสแบบ dual tone multi frequency encoder data (DTMFED) สามารถส่งข้อมูล real timeหรือการแจ้งเตือนผ่าน SMS ให้โทรศัพท์มือถือ อุปกรณ์ได้ติดตั้งและทดลองใช้งานที่ประตูระบายน้ำกลางคลอง(ปตร.)

กม.22+700 คลอง 2L โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง สุพรรณบุรี รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์แสดงในรูปที่ 24 - 32

รูปที่ 24 sensors วัดระดับน้ำแบบลูกลอย

รูปที่ 25 การต่อแกน sensors วัดระยะเปิดประตูระบายน้ำ



รูปที่ 26 sensors วัดระยะเปิดประตูระบายน้ำ

รูปที่ 27 sensors วัดปริมาณฝนตก

รูปที่ 28 triping bucket

รูปที่ 29 Installation RTU and sensors หน้าประตูระบายน้ำ

รูปที่ 30 การติดตั้งสายอากาศและแผ่นวัดระดับน้ำหน้าประตูระบายน้ำ

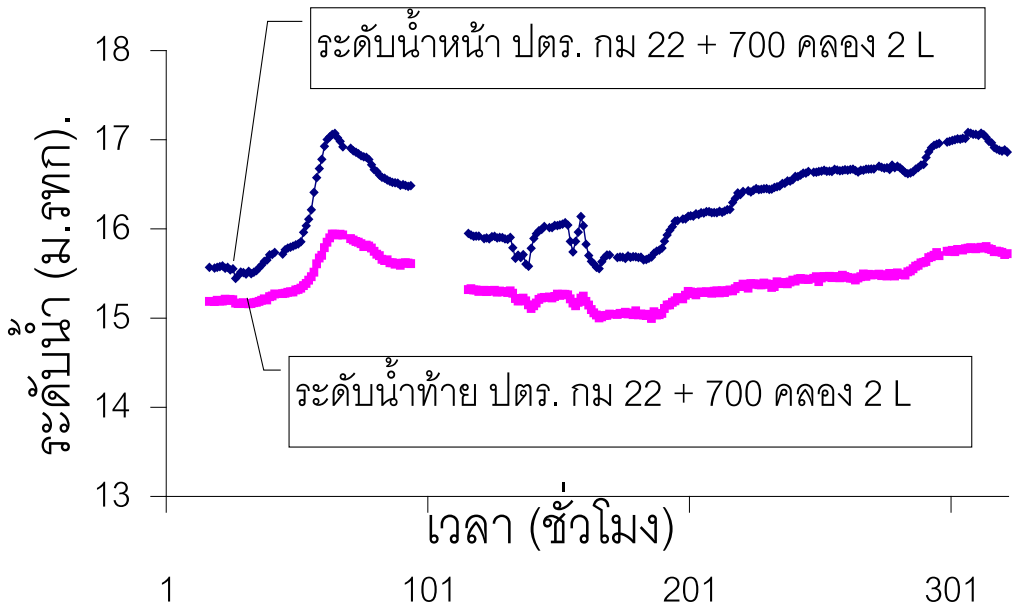
รูปที่ 31 ตรวจวัดระดับน้ำท้ายประตูระบายน้ำ

รูปที่ 32 PC interface ที่สถานีแม่ข่าย

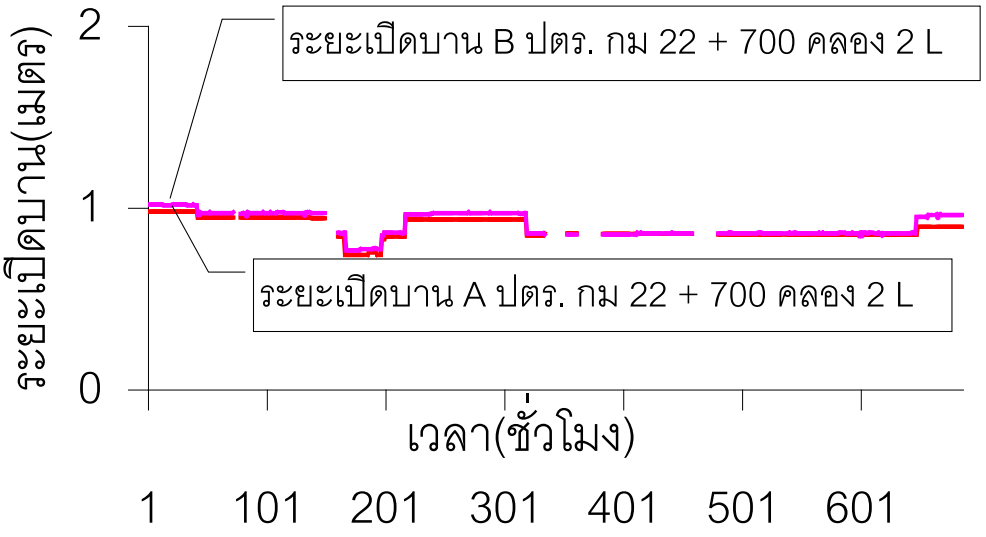
สถานีแม่ข่าย (base operation) เรียกรับสัญญาณจากโทรศัพท์มือถือ(เรียกแบบอัตโนมัติทุกวัน) ถอดรหัสและส่งข้อมูลให้ PC ฐานข้อมูลแบบ text โปรแกรมการทำงานเขียนเองและอยู่ระหว่างพัฒนาเป็นระบบคลองอัตโนมัติ

3.2.2 ผลการทดสอบการใช้งานในสนาม

สถานีแม่ข่ายสามารถเรียกเก็บข้อมูลระดับน้ำและระยะเปิดบาน ปตร. ได้ต่อเนื่อง มีข้อมูลขาดช่วงเนื่องจากไฟฟ้าดับ(ไม่มีระบบไฟฟ้าสำรอง) RTU ทำงานได้ตามเดิมถ้าไฟฟ้าปกติโดยไม่ต้องตั้งค่าเครื่องอีก ไม่มีข้อความ SMS แจ้งเตือนเนื่องจากระดับน้ำอยู่ในเกณฑ์ปกติ ข้อมูลอุณหภูมิภายในตัวเครื่อง RTU ที่อยู่กลางแจ้งมีค่าระหว่าง 24 – 40°C แสดงว่าระบบระบายความร้อนทำงานดี กราฟระดับน้ำหน้า-ท้าย และระยะเปิดบาน ปตร.แสดงใน รูปที่ 33-34

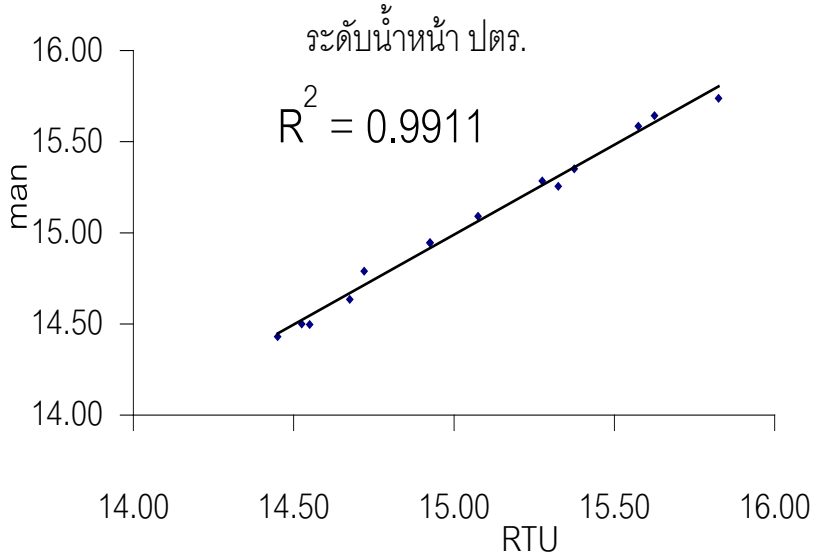


รูปที่ 33 Water level at km 22+700 2L canal regulator



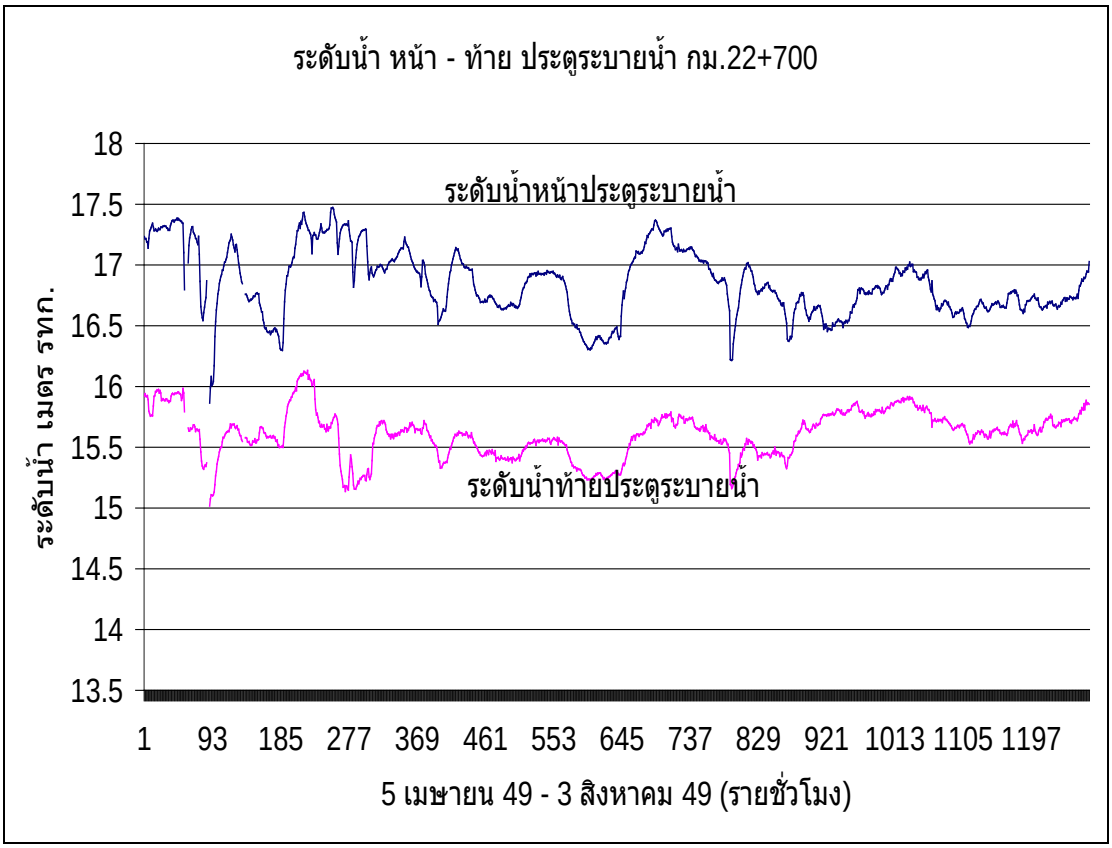
รูปที่ 34 Gate positions at km 22+700 2L canal regulator

การสอบเทียบอ่านค่าระดับน้ำหน้า ปตร.ระหว่างคนและRTU ได้ค่า R^2 = 0.9911 (รูปที่ 35)

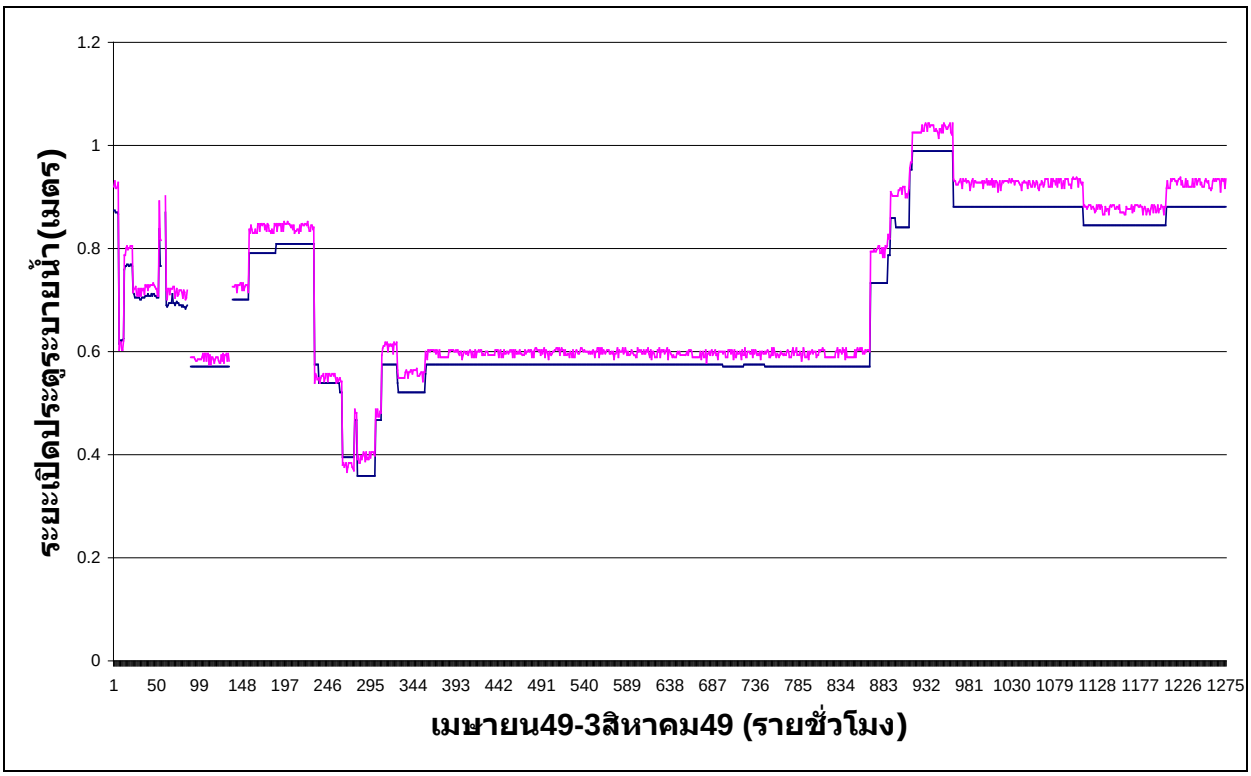


รูปที่ 35 Calibration curve of upstream water level

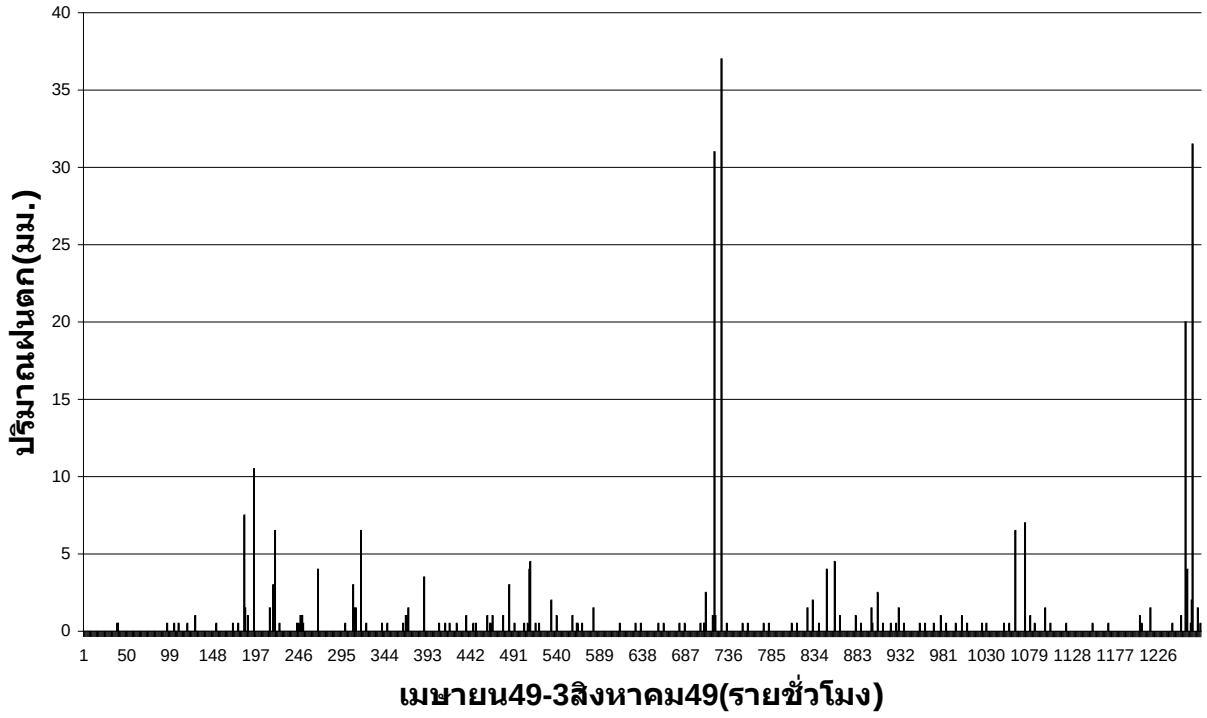
จากปัญหาดังกล่าวในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2548 – มีนาคม 2549 ได้ปรับปรุงเครื่องมือครั้งใหญ่ โดยพิจารณาปรับภาคจ่ายไฟใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่และใช้วงจรชาร์ทแบตเตอรี่ควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทลเลอร์จากตัว RTU การทดสอบพบว่าไม่เกิดปัญหาเรื่องไฟฟ้าดับหรือติดขัด ระบบการสื่อสารเพิ่มสายอากาศแบบยากิ 900 MHz 15E เกณฑ์ขยาย 9 db. ทำให้การสื่อสารติดต่อดีขึ้น ในส่วน data logger ใช้ EEPROM บันทึกข้อมูลเป็น page สามารถเรียกส่งข้อมูลย้อนหลังได้ 40 วันข้อมูลที่บันทึกหลังจากปรับปรุงเครื่องแล้วระหว่าง เมษายน 2549 – 3 สิงหาคม 2549 แสดงในรูปที่ 36-39



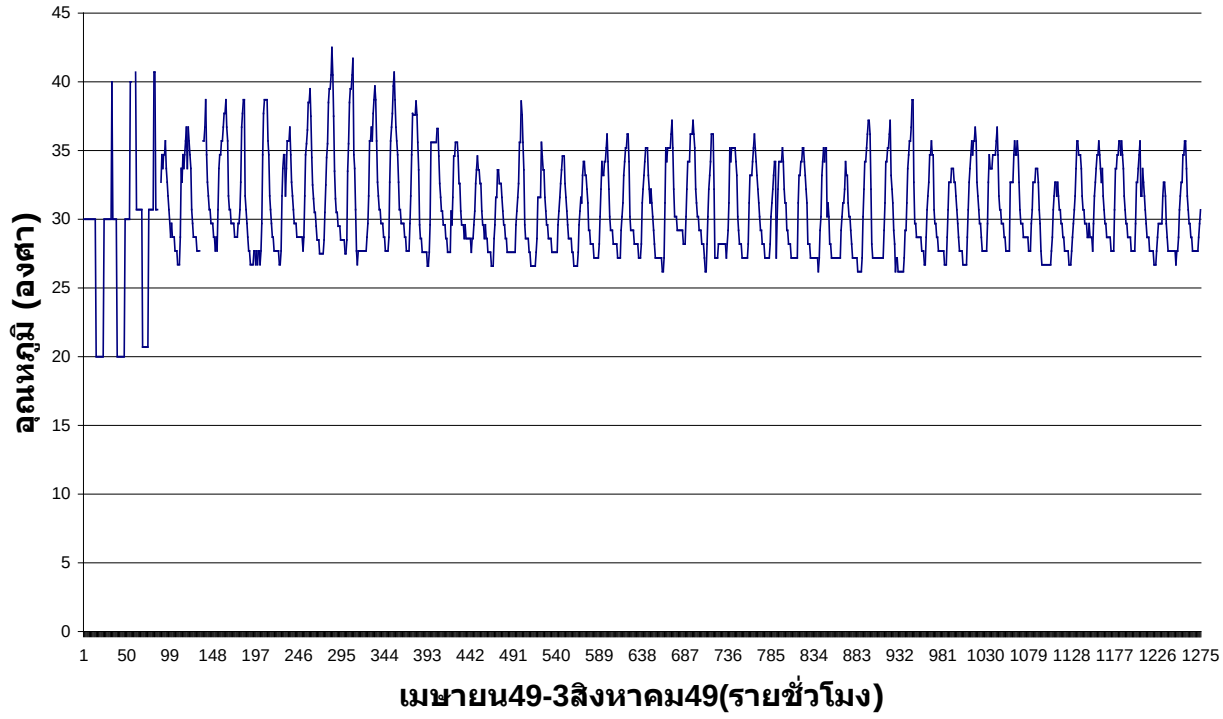
รูปที่ 36 Water level at km 22+700 2L canal regulator



รูปที่ 37 Gate positions at km 22+700 2L canal regulator



รูปที่ 38 ปริมาณฝนตกที่ km 22+700 2L



รูปที่ 39 อุณหภูมิภายในเครื่อง

4. การคัดเลือกโครงการนำร่องการใช้เทคโนโลยีระบบคลองแบบอัตโนมัติ

(จะรายงานในรายงานฉบับสมบูรณ์)

สรุปและเสนอแนะ

สรุปการทดลอง

ข้อสรุปจะอยู่ในรายงานฉบับสมบูรณ์

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจะอยู่ในรายงานฉบับสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

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

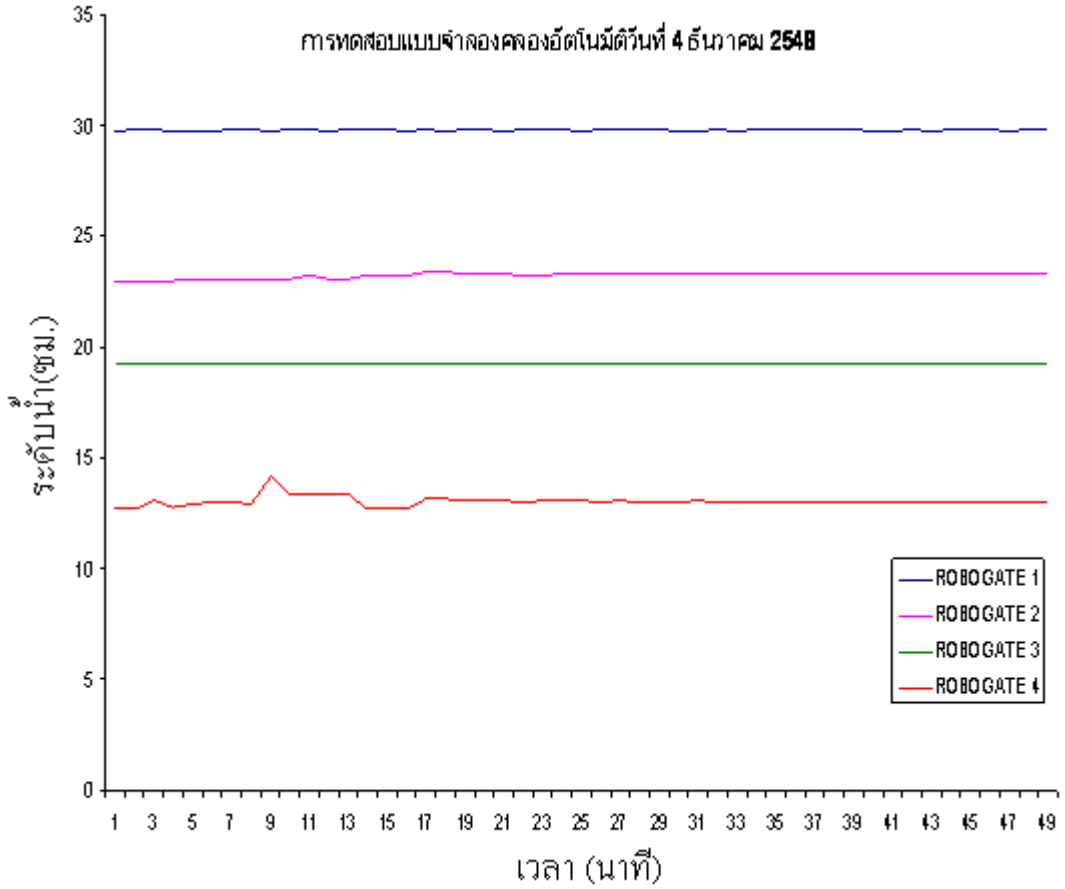
วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวัชระ เสือดี. 2538. การพัฒนาโปรแกรม WASAM version 2 วิศวกรรมสาร มก. 25:98-115.

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

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

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

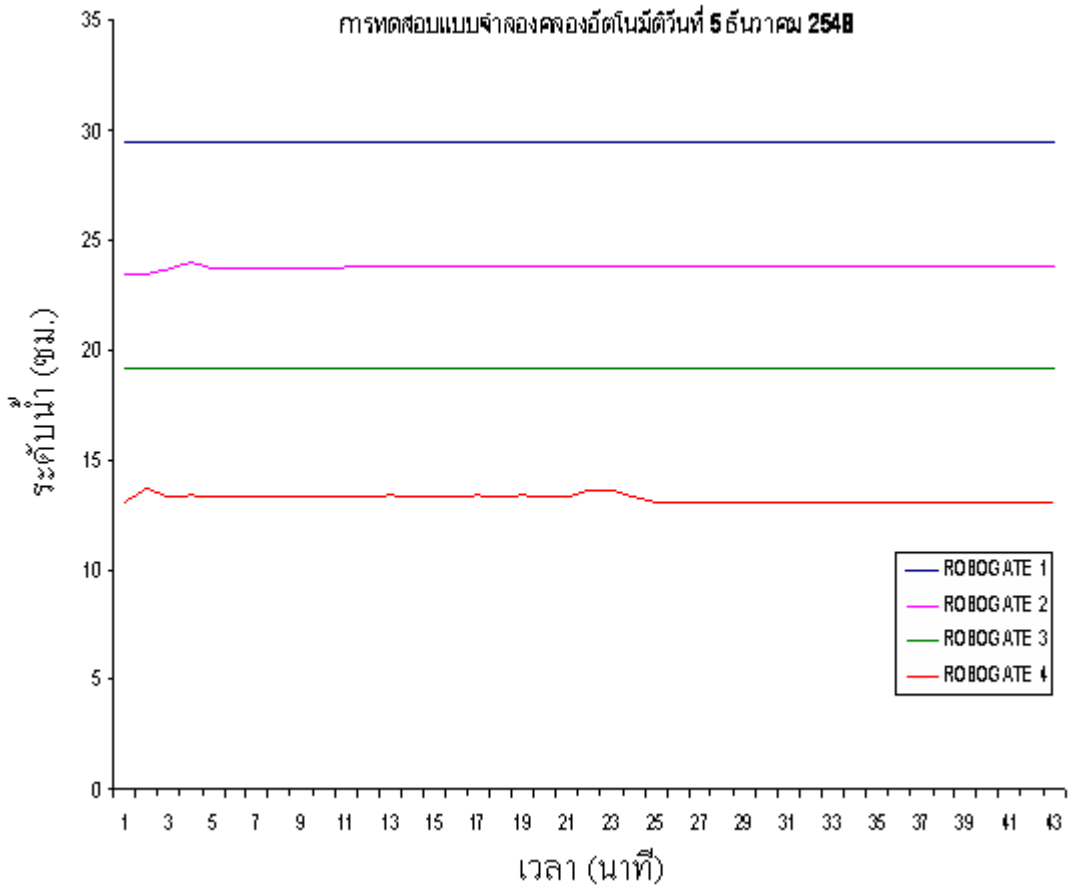
ภาคผนวก



รูปผนวกที่ 1 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 4 ธันวาคม 2548

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2548)

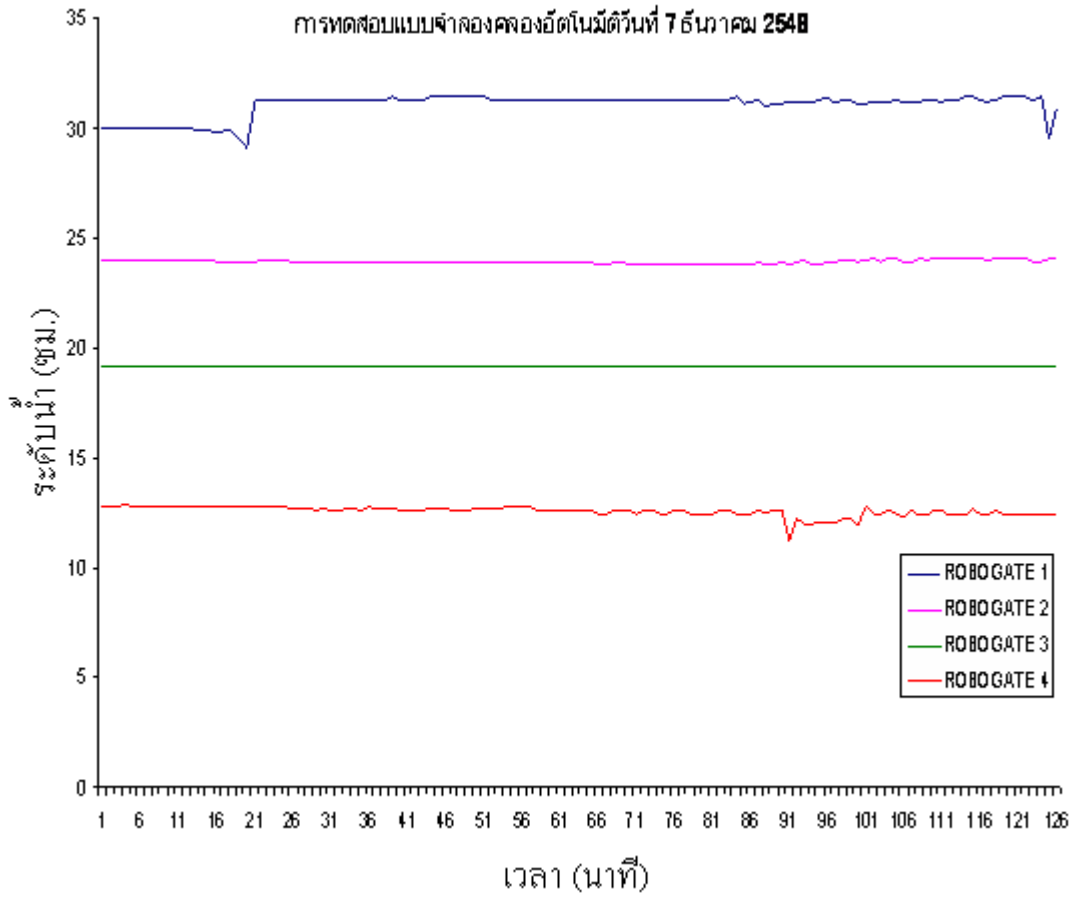
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	29.80	29.70	29.77	0.05	6.97
2	23.40	22.90	23.22	0.13	7.12
3	19.20	19.20	19.20	0.00	1.05
4	14.20	12.70	13.05	0.23	0.38



รูปผนวกที่ 2 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 5 ธันวาคม 2548

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 5 ธันวาคม พ.ศ. 2548)

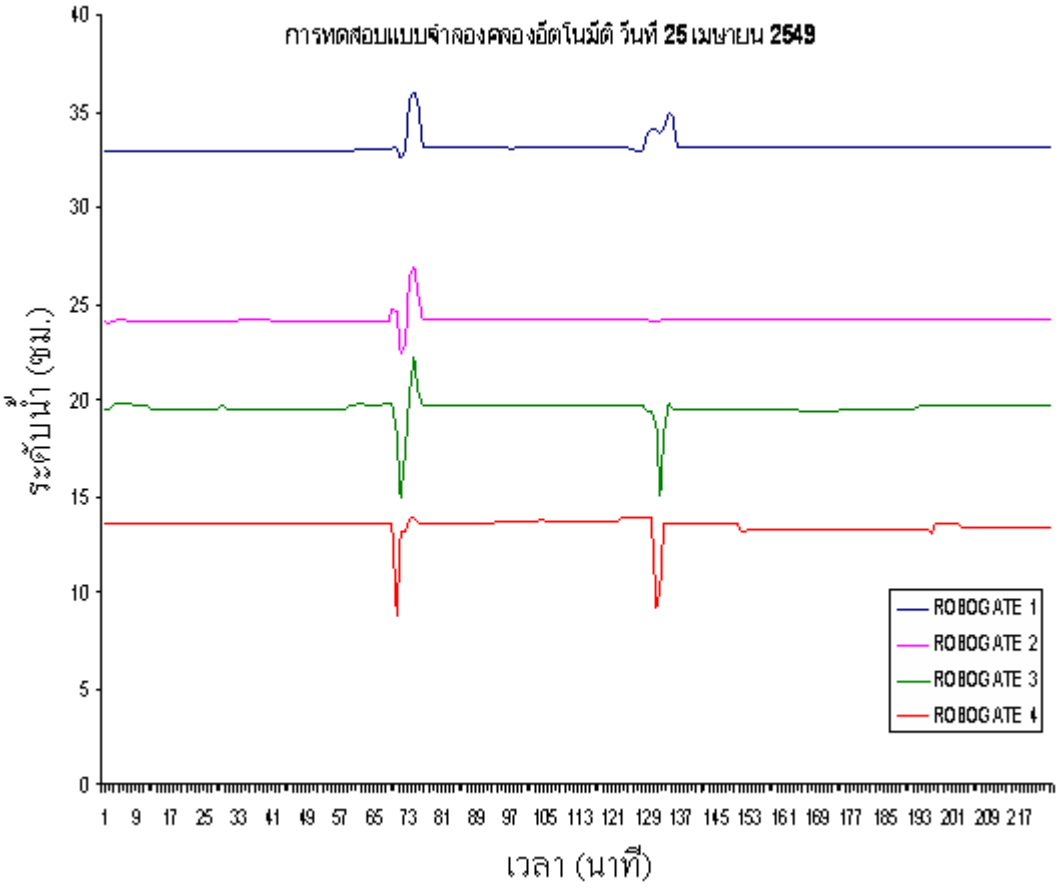
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	29.50	29.40	29.42	0.04	8.06
2	24.00	23.50	23.77	0.08	4.92
3	19.20	19.20	19.20	0.00	1.05
4	13.70	13.10	13.24	0.16	1.85



รูปผนวกที่ 3 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 7 ธันวาคม 2548

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2548)

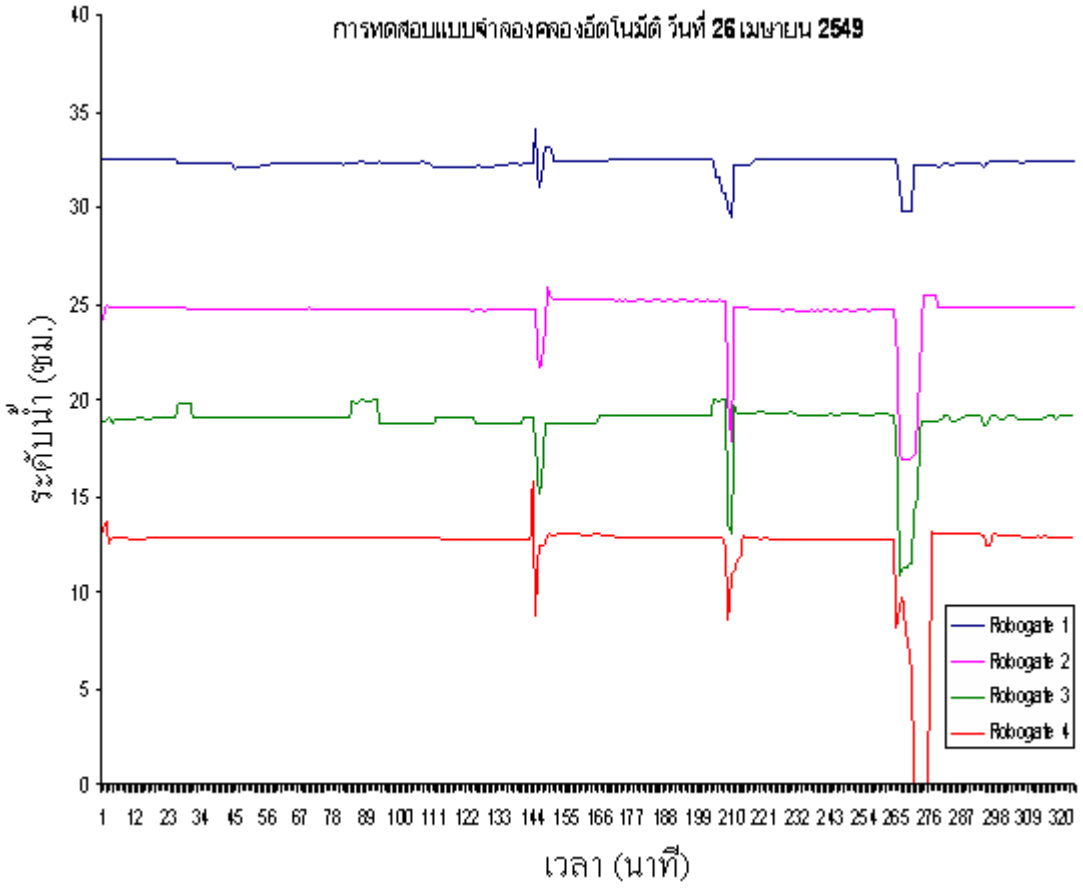
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	31.40	29.10	31.05	0.54	2.97
2	24.10	23.80	23.93	0.09	4.28
3	19.20	19.20	19.20	0.00	1.05
4	12.90	11.20	12.58	0.23	3.23



รูปผนวกที่ 4 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 25 เมษายน 2549

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2549)

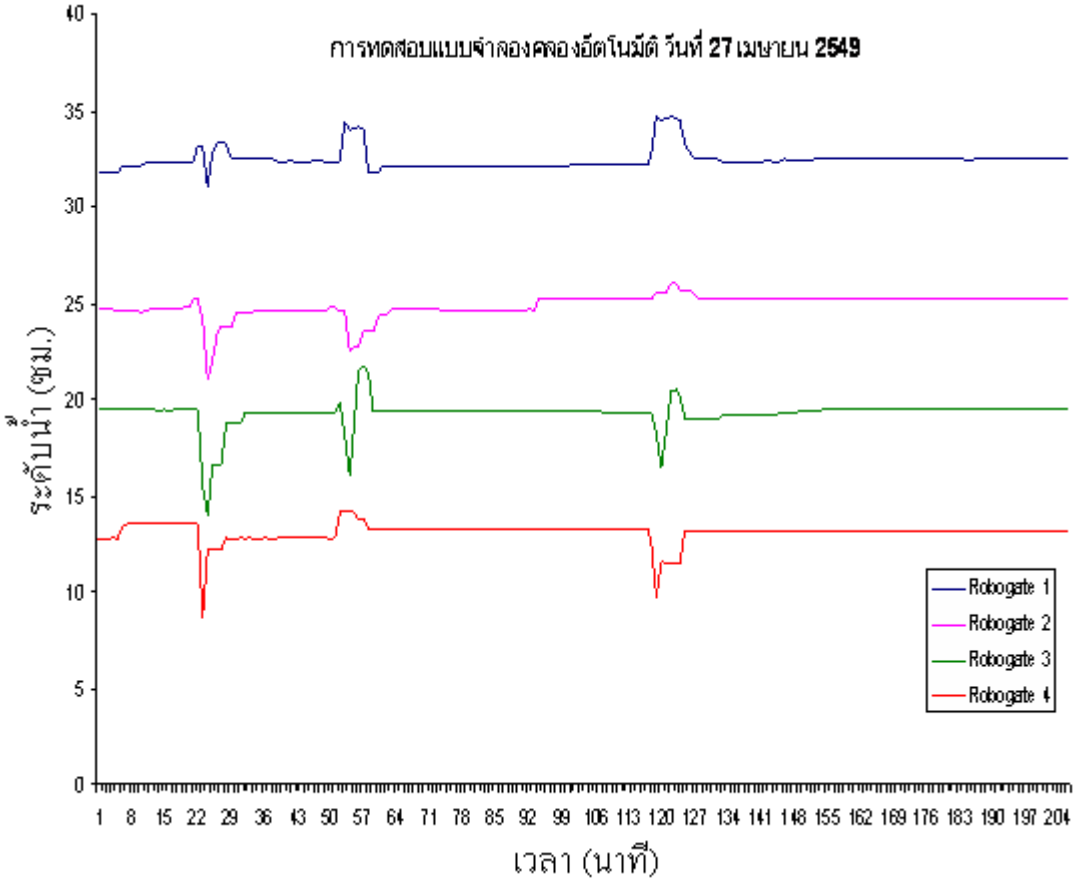
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	36.00	32.60	33.14	0.39	3.56
2	26.90	22.40	24.19	0.30	3.23
3	22.20	14.90	19.58	0.53	3.06
4	13.90	8.80	13.48	0.51	3.72



รูปผนวกที่ 5 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 26 เมษายน 2549

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2549)

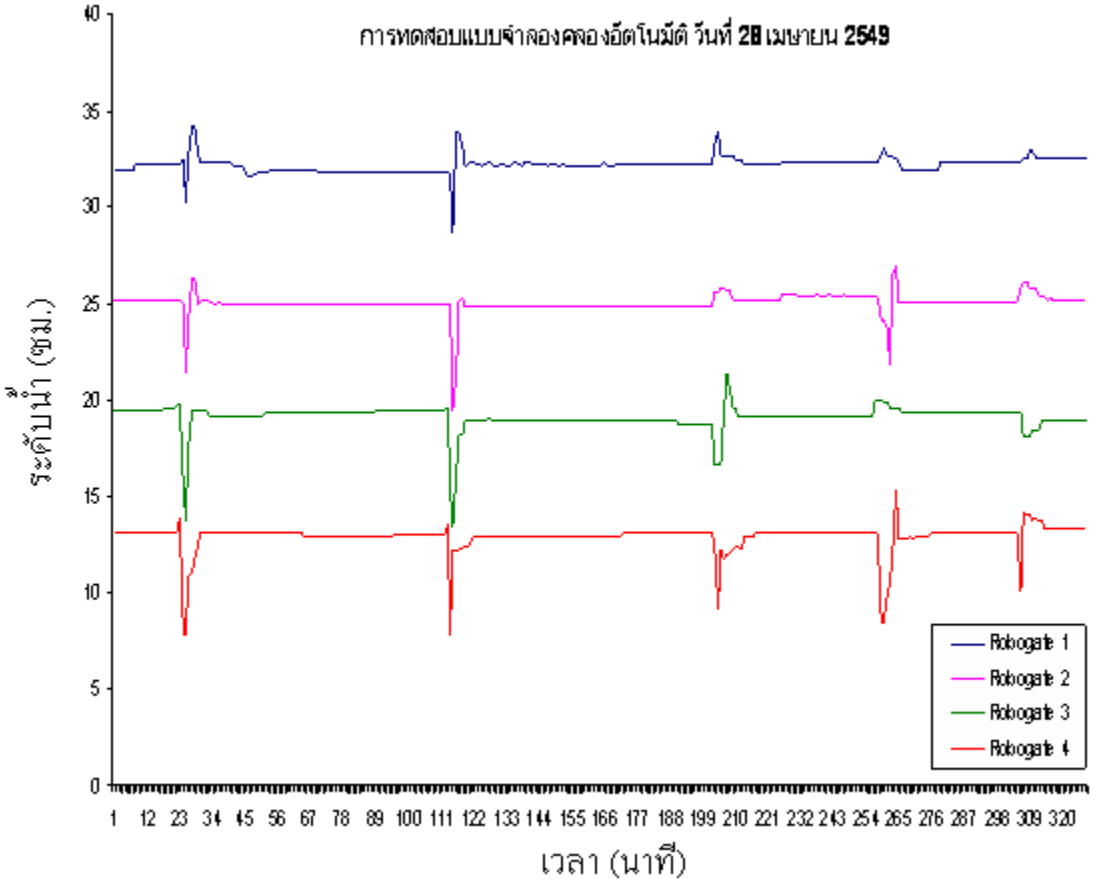
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	34.10	29.50	32.31	0.44	0.97
2	25.80	16.90	24.59	1.24	1.64
3	20.10	10.90	18.91	1.19	0.47
4	15.80	0.00	12.46	1.80	4.15



รูปผนวกที่ 6 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 27 เมษายน 2549

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2549)

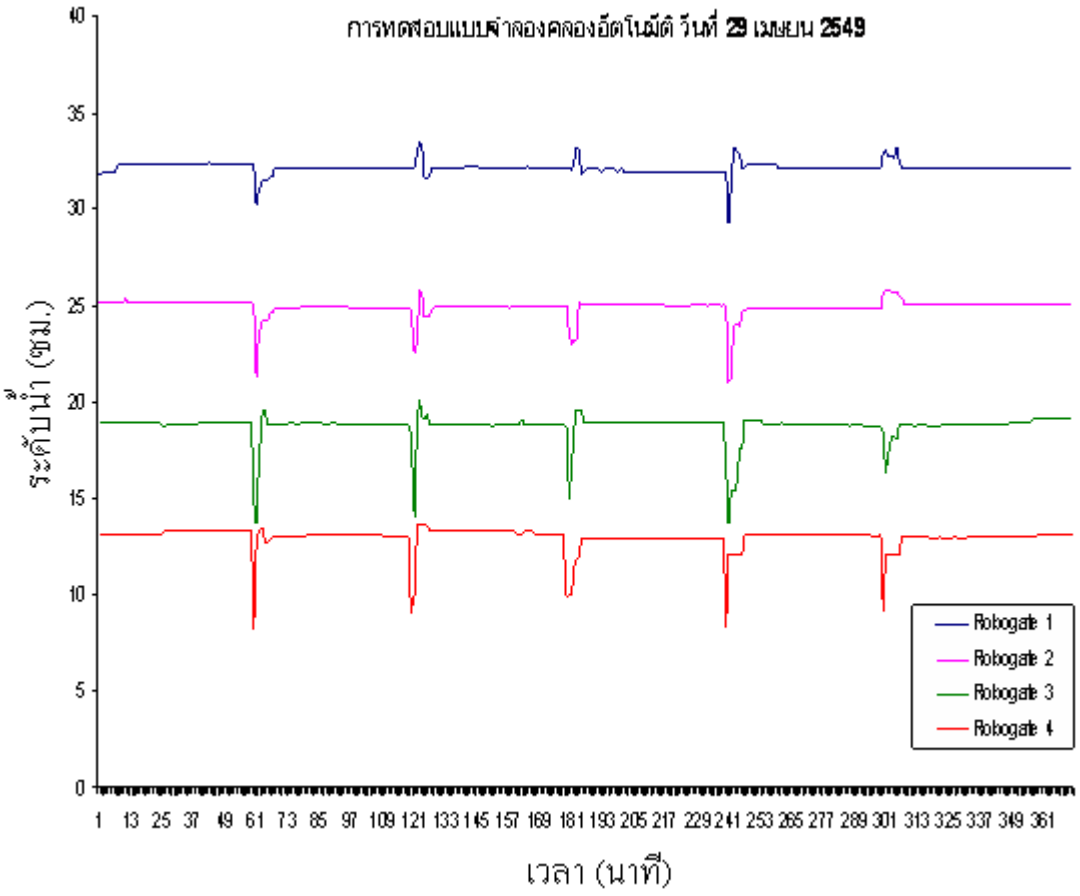
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	34.70	31.10	32.45	0.54	1.41
2	26.00	21.10	24.87	0.59	0.52
3	21.80	14.00	19.29	0.74	1.53
4	14.20	8.70	13.11	0.55	0.85



รูปผนวกที่ 7 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 28 เมษายน 2549

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2549)

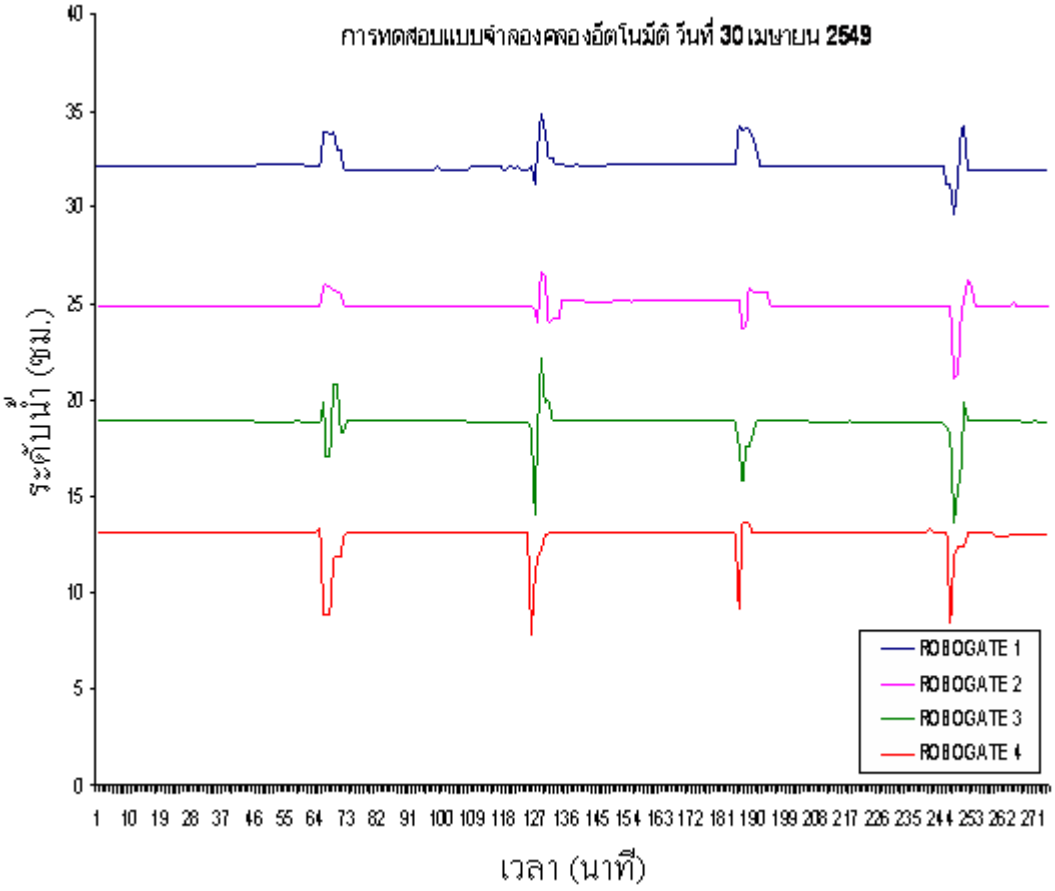
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	34.30	28.70	32.18	0.41	0.56
2	26.90	19.40	25.02	0.55	0.08
3	21.40	13.40	19.08	0.68	0.42
4	15.30	7.90	12.92	0.77	0.62



รูปผนวกที่ 8 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 29 เมษายน 2549

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2549)

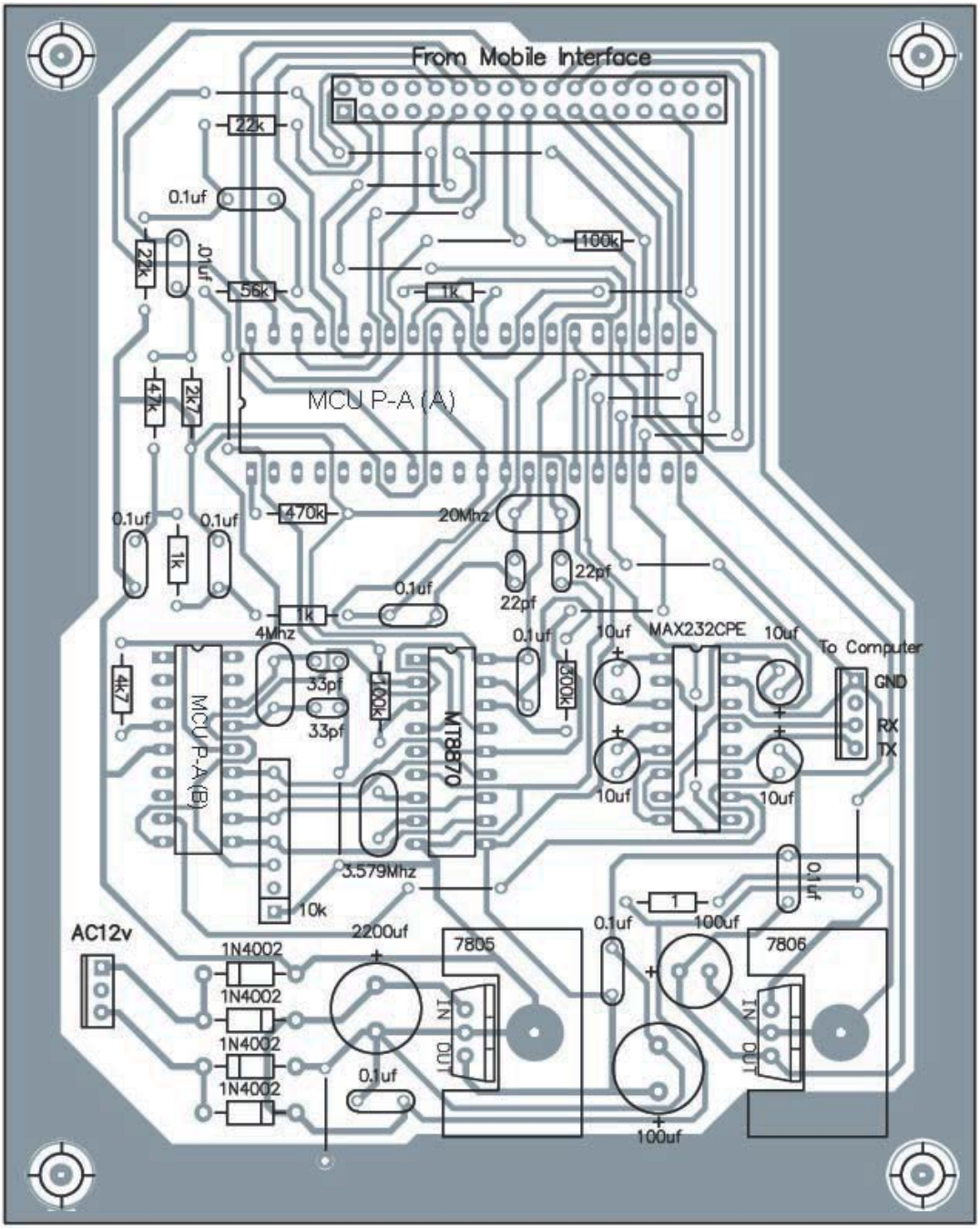
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	33.50	29.30	32.13	0.29	0.41
2	25.80	21.00	24.95	0.48	0.20
3	20.10	13.70	18.75	0.69	1.32
4	13.70	8.20	12.98	0.61	0.15



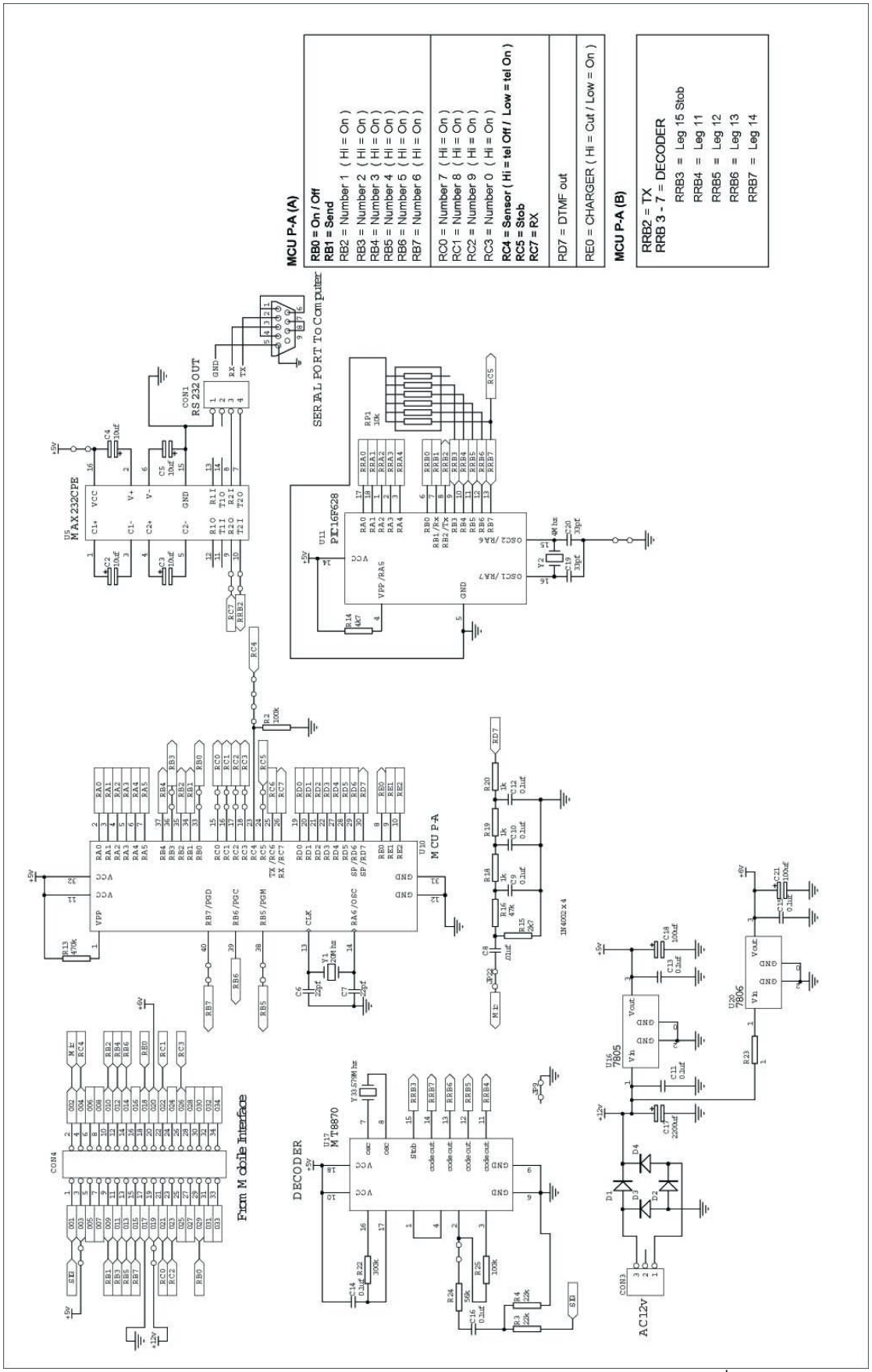
รูปผนวกที่ 9 ระดับน้ำหน้าประตูยนต์จากผลการทดสอบแบบจำลองวันที่ 30 เมษายน 2549

ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ค่าความคาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำในแบบจำลองคลอง (วันที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2549)

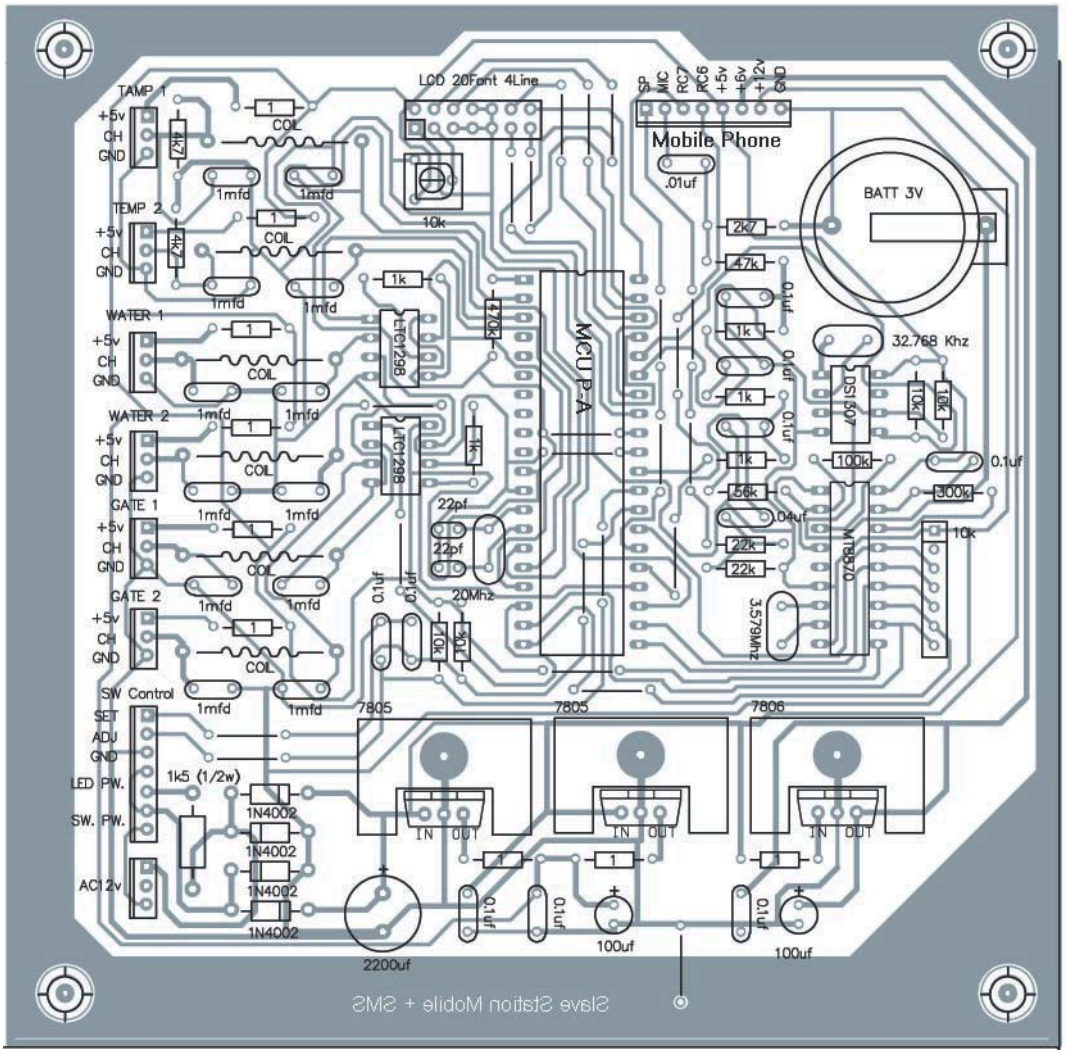
ประตูยนต์	ระดับน้ำสูงสุด (ซม.)	ระดับน้ำต่ำสุด (ซม.)	ระดับน้ำเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	34.90	29.60	32.18	0.48	0.56
2	26.70	21.10	24.96	0.44	0.16
3	22.20	13.60	18.81	0.65	1.00
4	13.60	7.90	13.01	0.70	0.08



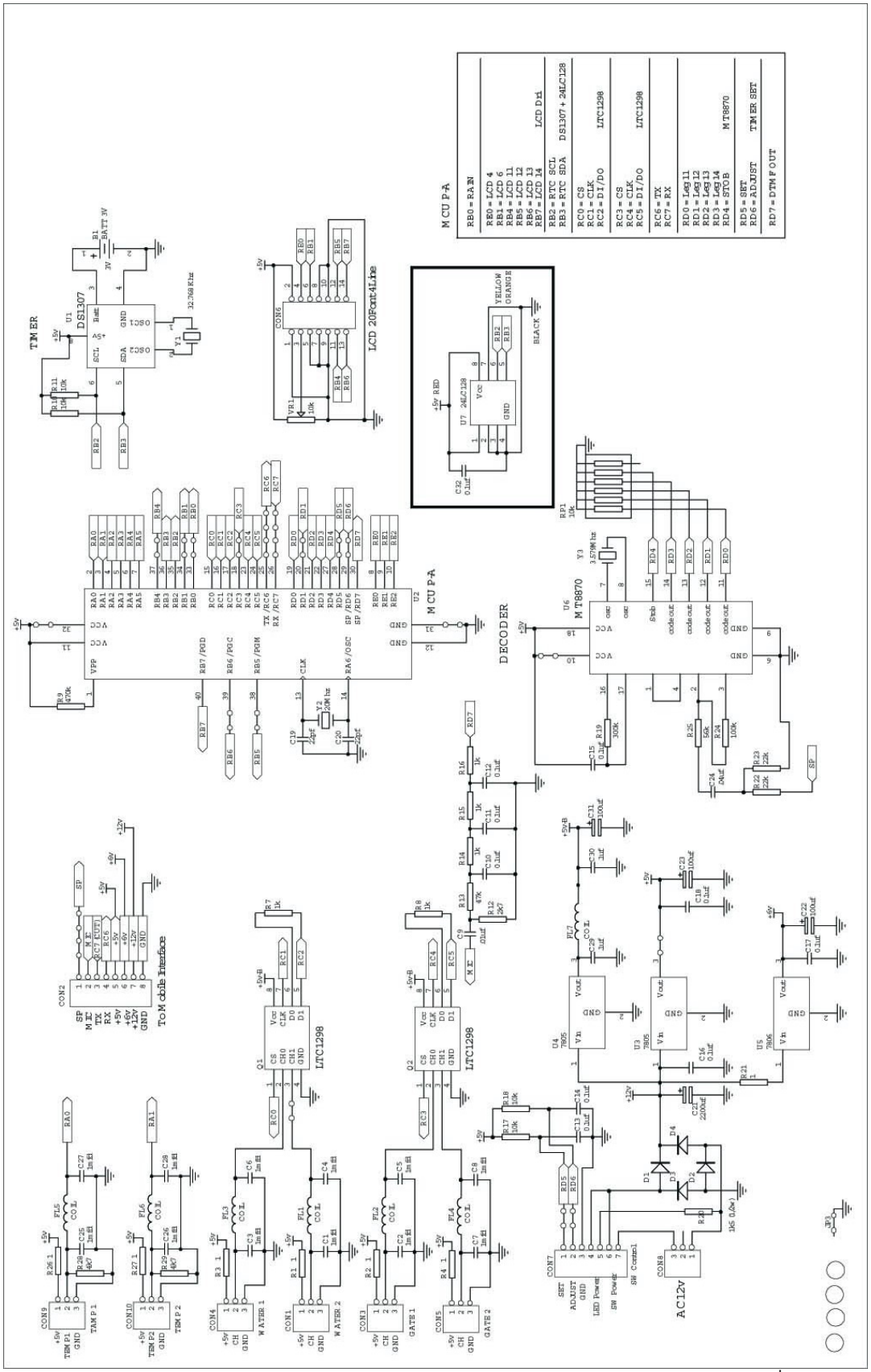
รูปผนวกที่ 1 Printed Circuit Board (PCB) ของ Master Station ของระบบโทรมาตรสองพี่น้อง



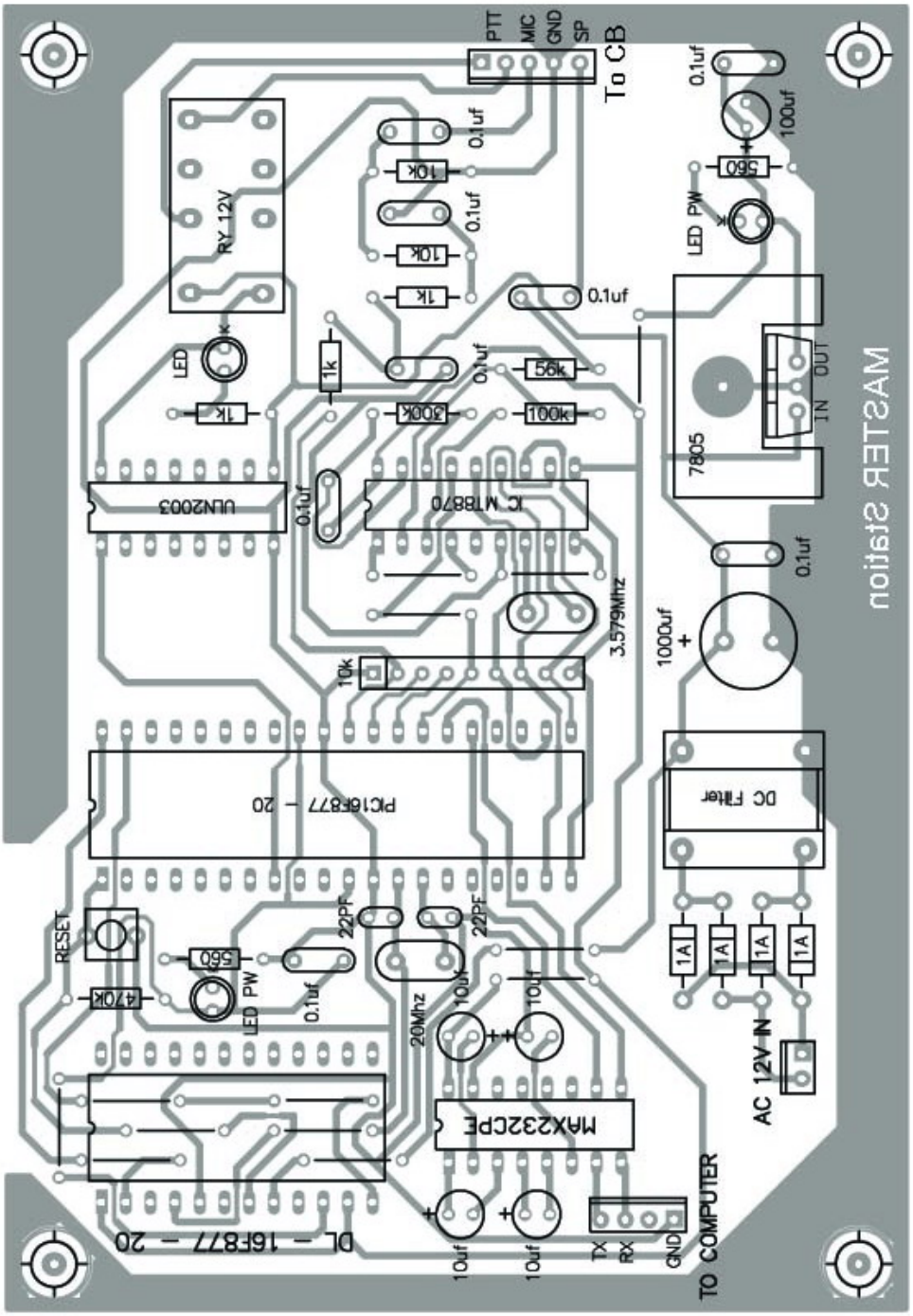
รูปผนวกที่ 2 แผงวงจร ของ Master Station ของระบบโทรมาตรสองพี่น้อง



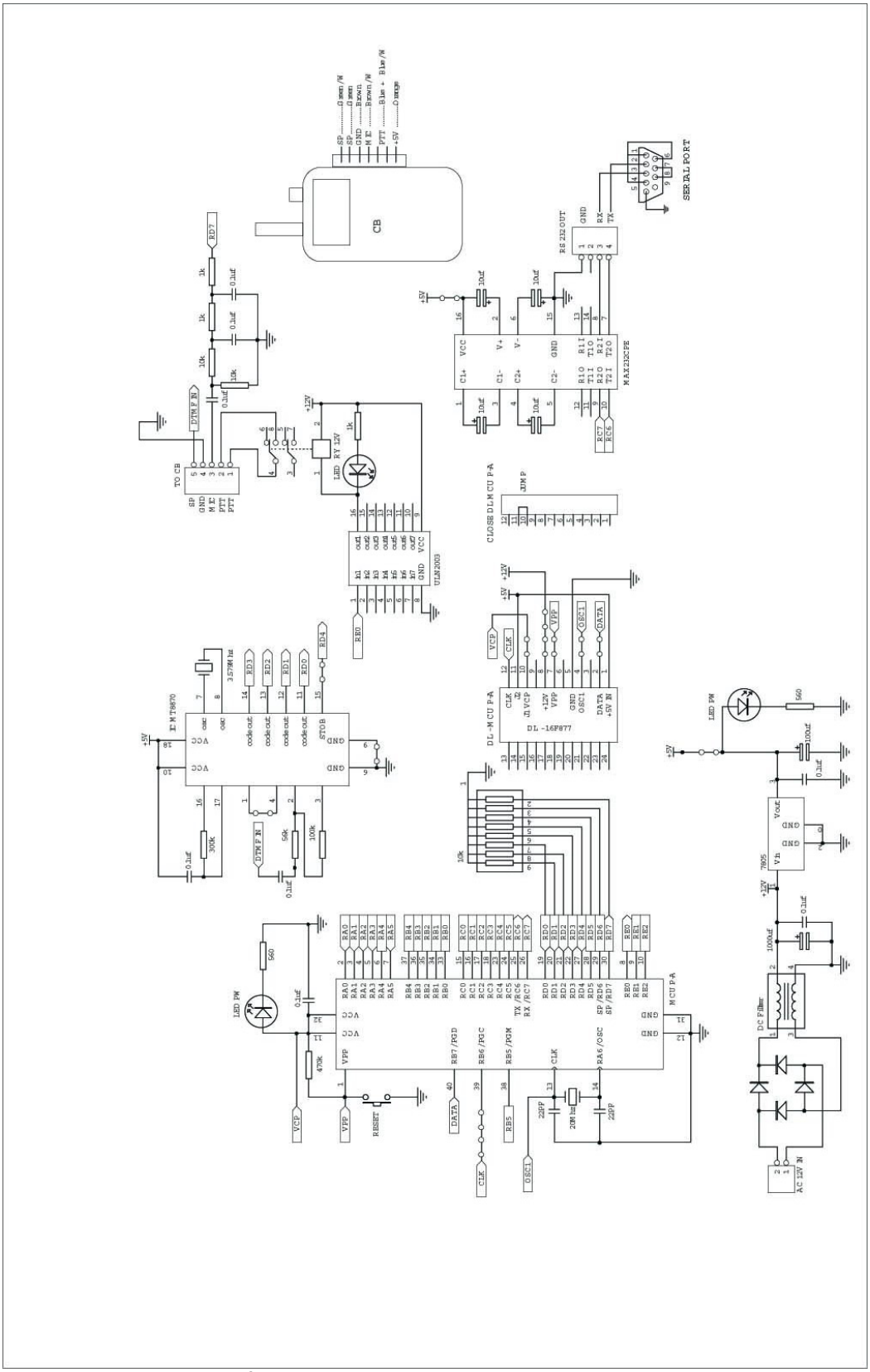
รูปผนวกที่ 3 Printed Circuit Board (PCB) ของ RTU(Mobile Telephone) ของระบบโทรมาตรสองพี่น้อง



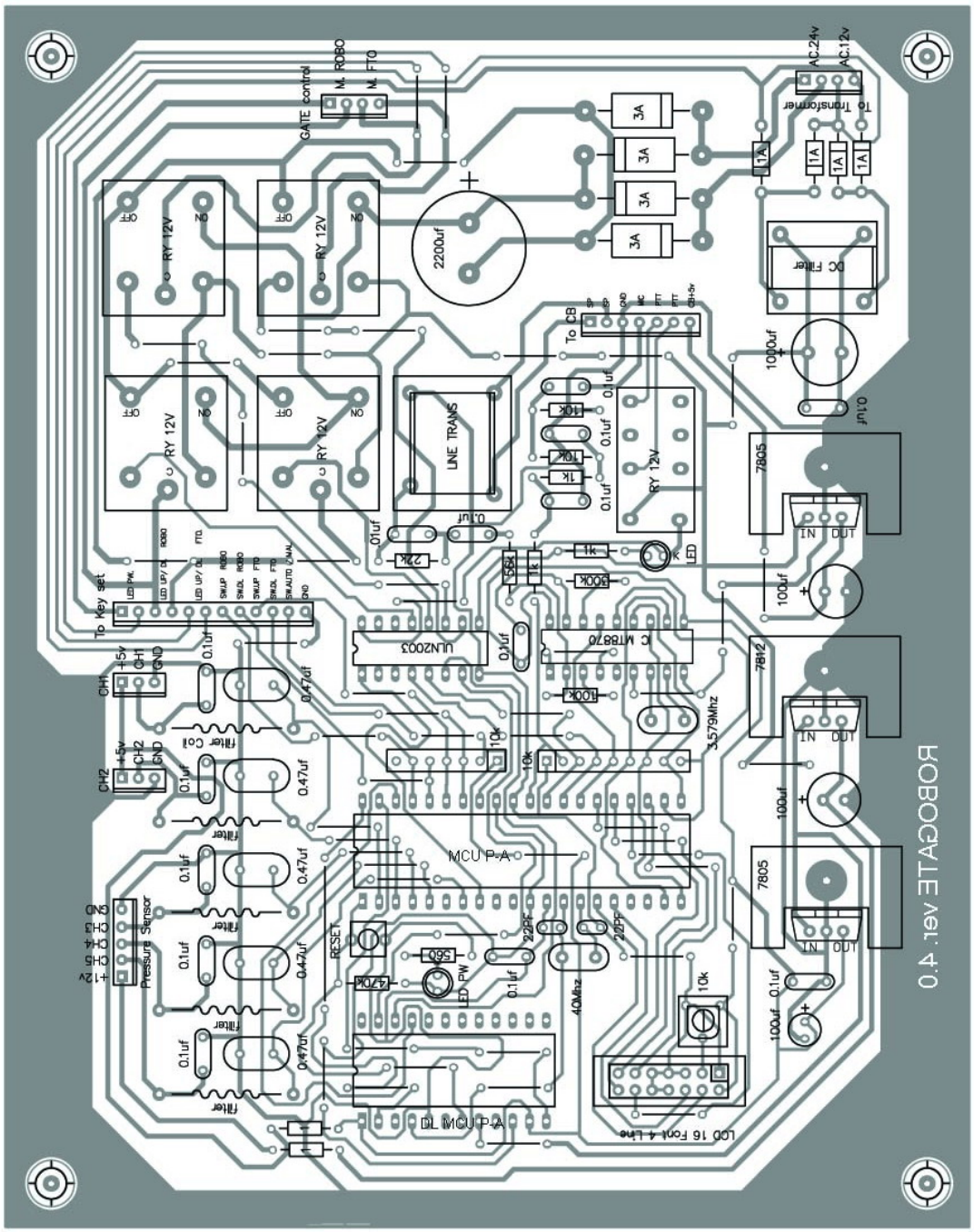
รูปผนวกที่ 4 แผงวงจร ของ RTU(Mobile telephone) ของระบบโทรมาตรสองพี่น้อง



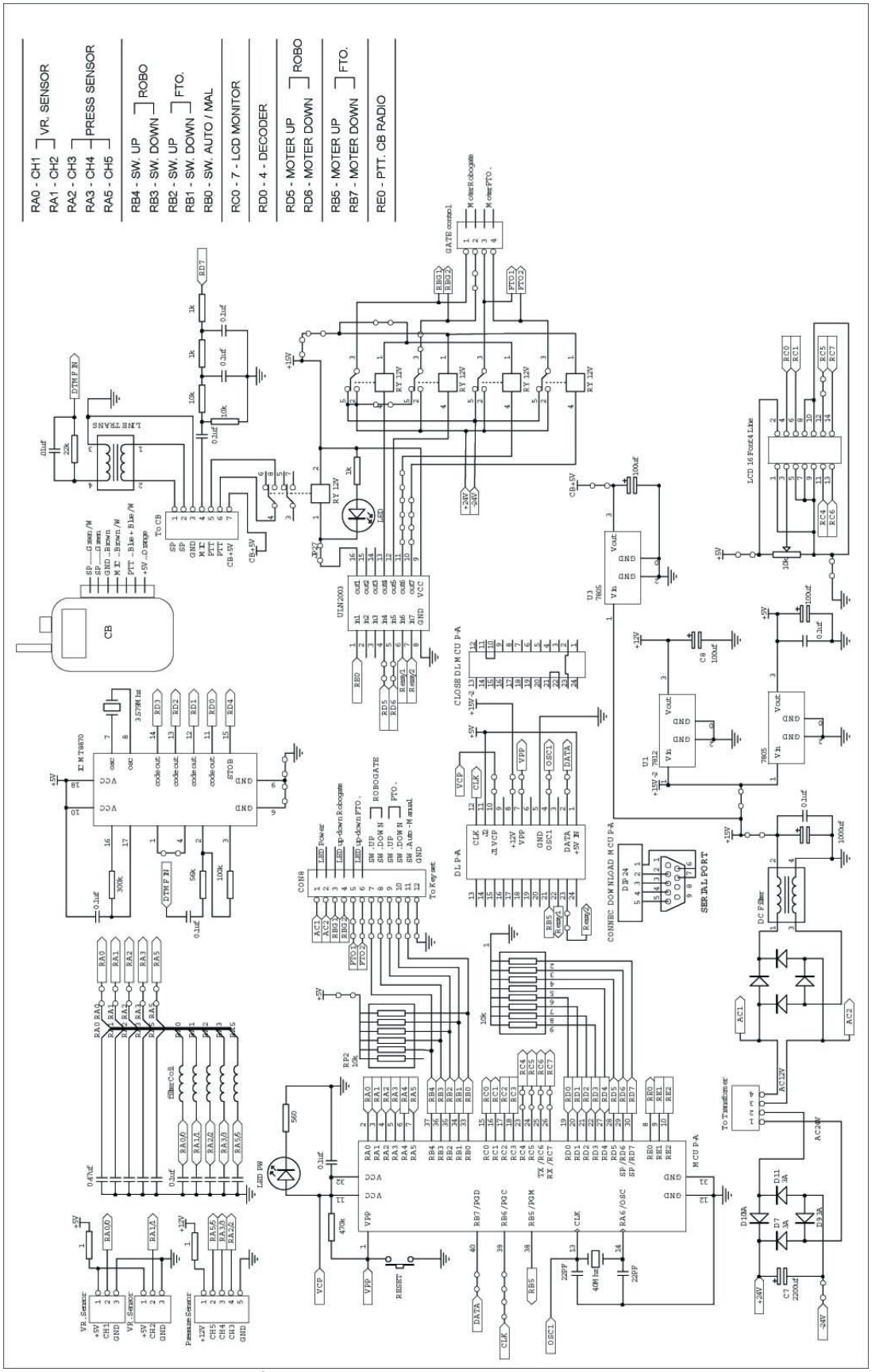
รูปผนวกที่ 5 Printed Circuit Board (PCB) ของ Master Station ของแบบจำลอง



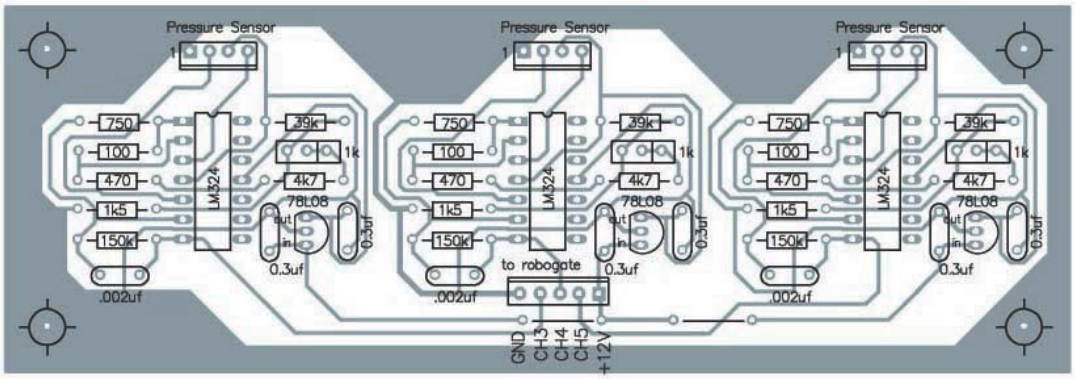
รูปผนวกที่ 6 แผงวงจร ของ Master Station ของแบบจำลอง



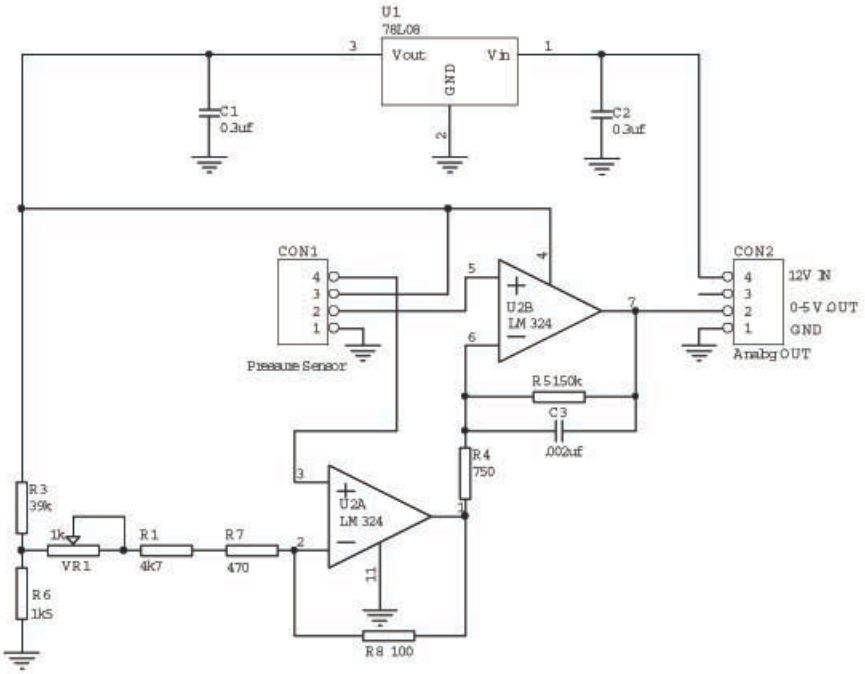
รูปผนวกที่ 7 Printed Circuit Board (PCB) ของ Robogate 4.0 ของแบบจำลอง



รูปผนวกที่ 8 แผงวงจร ของ Robogate 4.0 ของแบบจำลอง



รูปผนวกที่ 9 Printed Circuit Board (PCB) ของ Pressure Sensor ของแบบจำลอง



รูปผนวกที่ 10 แผงวงจร ของ Pressure Sensor ของแบบจำลอง