

การพัฒนาระบบอ่านค่าระดับน้ำจากภาพของกล้องวงจรปิดแบบอัตโนมัติด้วย การวิเคราะห์ค่าเทรชโฮลด์ภาพระดับสีเทาและเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (ระยะนำร่อง) Development of an Automatic Water Level Measurement System from CCTV Pictures Using Gray Scale - Thresholding and Regression Analysis Techniques (Pilot Phase)

ทริศร์ ทิมทอง (Tharis Thimthong)* และ อุรินทร์ โสตรโยม (Urin Soteyome)**

Received : July 11, 2017
Revised : May 27, 2018
Accepted : July 18, 2018

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดและกระบวนการในการพัฒนาระบบอ่านค่าระดับน้ำจากภาพกล้องวงจรปิด (Closed-circuit Television : CCTV) โดยใช้เทคนิคการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา การวิเคราะห์ค่าเทรชโฮลด์ (Thresholding) ของจุดที่แสดงบนแผ่นวัดระดับน้ำ (Staff Gauge) ซึ่งเป็นการอ่านจากภาพ CCTV โดยตรง โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมจากภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิด จากสถานีสูบน้ำ 3 แห่ง (ประกอบด้วย สถานีคลอง 13 สถานีมหาสวัสดิ์ และสถานีประตูละบายน้ำจุฬาลงกรณ์) แล้วใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณค่าระดับน้ำของระบบ หลังจากนั้นได้มีการประเมินประสิทธิภาพของระบบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการอ่านด้วยสายตาจากแต่ละสถานีมากกว่า 250 ค่า ในช่วงเวลา 1 เดือนโดยประมาณ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 0.96 และ ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.94 ซึ่งแสดงว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพดี ฉะนั้นสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้สำหรับการบริหารจัดการน้ำของกรมชลประทานในสภาพแวดล้อมจริงได้

Abstract

This research article presents the concept and processes about the development of water level measurement system from Closed-Circuit Television Pictures (CCTV) using gray scale technique and thresholding analysis referring to the point shown on the staff gauge which was measured from the CCTV pictures from 3 pumping stations (consisting of Klong 13 Station, Mahasawat Station and Chulalongkorn Watergate Station). Then, the regression analysis technique has been used for creating the mathematical model operated inside the system, in order to determine the water level. After developing the system, its performance was evaluated comparing to the data obtained from visual inspection from each pumping stations more than 250 values within about 1 month. After evaluating, it has been found that the average correlation coefficient was more than 0.96 and the coefficient of determination (R-square) was about 0.94 which presented that the developed system has good performance. Therefore, it can be extended for water management by the Royal Irrigation Department in the real situation.

คำสำคัญ: ระดับน้ำ ภาพกล้องวงจรปิด เทรชโฮลด์

Keywords: Water level, CCTV Picture, Threshold.

* วิทยาลัยการบริหารรัฐกิจ มหาวิทยาลัยบูรพา

* Graduate School of Public Administration, Burapha University.

** สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

** Irrigation Development Institute, Royal Irrigation Department.

1. บทนำ

แม้ว่าในปัจจุบัน ภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ตลอดจนภาคบริการจะมีบทบาทขึ้นเป็นอย่างมากต่อเศรษฐกิจและสังคมไทยเมื่อเทียบกับอดีต แต่ก็ยังถือว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลักของประชากรโดยรวมทั้งประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกษตรกรรมข้าว ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเกษตรกรรมหลักของประเทศไทย [1] จากสถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2558 ที่รายงานว่ามีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวโดยรวมทั้งประเทศรวม 70 ล้านไร่ หรือคิดเป็น 47 % (โดยประมาณ) ของเนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรของประเทศไทยในปี 2554 ถึง 2557 [2] การบริหารจัดการน้ำที่ดีจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างมากต่อการเกษตรหลักของประเทศ

การติดตามสถานการณ์น้ำในลุ่มน้ำทั้ง 25 ลุ่มในประเทศไทยจึงกลายเป็นความจำเป็นที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการพยากรณ์น้ำเพื่อการตัดสินใจ ทำให้มีการติดตั้งระบบตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำและส่งข้อมูลผลการตรวจวัดแบบอัตโนมัติมายังคอมพิวเตอร์เครื่องแม่ข่ายของกรมชลประทานรวมกว่า 700 จุดทั่วประเทศจากการสำรวจในงานวิจัยนี้ ข้อมูลระดับน้ำเป็นข้อมูลหลักที่ใช้สำหรับการบริหารจัดการน้ำให้เพียงพอต่อภาคการเกษตรทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน (Wet and Dry Seasons) และป้องกันปัญหาอุทกภัยที่อาจส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน ตลอดจนเศรษฐกิจและการลงทุน ดังที่ได้เคยเกิดขึ้นครั้งใหญ่ในปี 2554 ซึ่งเกิดน้ำท่วมขึ้นเป็นบริเวณกว้างในพื้นที่หลายจังหวัดของประเทศไทย ทำให้มีผู้เสียชีวิตและสูญหายรวม 670 ราย เตือดรอนกว่า 4 ล้านครัวเรือน [3]

จากการสำรวจในงานวิจัยนี้พบว่า ระบบตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำและส่งข้อมูลผลการตรวจวัดแบบอัตโนมัตินั้นยังไม่สามารถนำมาใช้ในการบริหารได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากการไม่เห็นสภาพการณ์ ณ จุดตรวจวัดนั้นๆ จึงได้มีการติดตั้งระบบกล้องวงจรปิด (CCTV) ณ สถานีตรวจวัดหลักกว่า 134 กล้อง และจัดให้มีเจ้าหน้าที่ทำหน้าที่ตรวจวัดและรายงานค่าระดับน้ำตามจุดที่สำคัญต่างๆ เช่น เขื่อน อ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ ลำคลอง ประตูระบายน้ำ และสถานีสูบน้ำ เป็นต้น เพื่อประกอบการบริหารจัดการพร้อมกับการบันทึกภาพย้อนหลังเพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจ ดังนั้น

สำนักพัฒนาและวิจัย กรมชลประทาน จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเทคโนโลยีที่ทันสมัย ที่มีอยู่ในปัจจุบันมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาในเรื่องของแรงงานและความถูกต้องแม่นยำ จึงเป็นที่มาของการพัฒนาเครื่องมือเพื่อการตรวจสอบค่าระดับน้ำ ด้วยการประยุกต์ใช้กล้องวงจรปิด (CCTV) สำหรับการพัฒนาระบบอ่านค่าระดับน้ำแบบอัตโนมัติ โดยทำการวิเคราะห์ภาพนิ่งที่ได้รับโดยตรงจากกล้องวงจรปิดซึ่งถูกตั้งค่าให้ถ่ายภาพระดับน้ำเป็นช่วงๆ แบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ง่ายและสามารถตรวจสอบกับภาพที่แสดงในวันเวลานั้นได้โดยไม่ต้องสอบทานด้วยวิธีอื่นใด และมีความน่าเชื่อถือสูงกว่าเครื่องมือวัดชนิดอื่นๆ สามารถปรับใช้กับกล้องวงจรปิดมาตรฐานที่กรมชลประทานใช้งานอยู่ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการสอบทานความถูกต้องของข้อมูลน้ำ เพื่อช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของการรายงานข้อมูลน้ำของกรมชลประทาน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีหลักและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทความวิจัยนี้มีดังนี้

2.1 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ คือ การนำข้อมูลที่เป็นภาพมาประมวลผลโดยการแปลงให้เป็นค่าตัวเลขที่มีลักษณะเป็นจำนวนเต็ม (ค่าสัมบูรณ์) ในรูปเมตริกซ์ เช่น ภาพขนาด 256×256 พิกเซล จะถูกแทนด้วยฟังก์ชัน $f(x, y)$ ผ่านระบบคอมพิวเตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ แก้ไข หรือปรับแต่งภาพต่อไปได้โดยง่าย ซึ่งการแก้ไขหรือปรับแต่งภาพนั้นขึ้นอยู่กับหลายวิธี เช่น การให้แสดงเฉพาะสี การไม่ให้แสดงเฉพาะสี การแปลงภาพเป็นสีขาวดำ การแปลงภาพเป็นสีระดับเทา เป็นต้น ซึ่งเทคนิคต่างๆ จะทำได้ภายหลังจากการประมวลผลภาพในแต่ละจุดของพิกเซลให้เป็นค่าตัวเลขแล้ว โดยภาพที่ได้ในแต่ละพิกเซลจะประกอบไปด้วยข้อมูลสามสีประกอบกัน ประกอบไปด้วยภาพโทนสีแดง (R) ภาพโทนสีเขียว (G) และภาพโทนสีน้ำเงิน (B) ซึ่งในแต่ละสีจะมีค่าความเข้ม 256 ระดับ คือ ตั้งแต่ 0-255 ซึ่งกระบวนการในการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาที่ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถทำได้โดยใช้สมการ (1) [4-6]

$$Y = 0.3 \cdot R + 0.59 \cdot G + 0.11 \cdot B \quad (1)$$

2.2 การทำเทรชโฮลด์ (Thresholding)

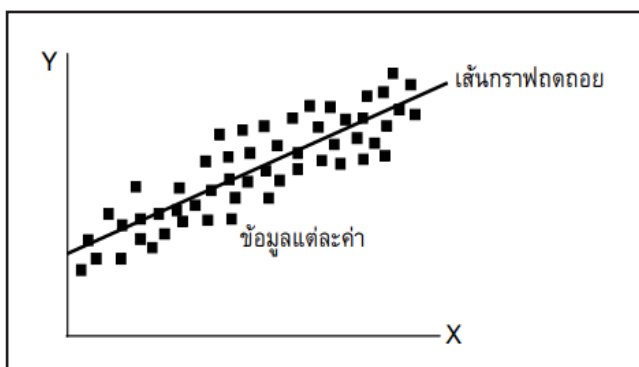
การทำเทรชโฮลด์ (Thresholding) เป็นเทคนิคพื้นฐานเทคนิคหนึ่งที่ใช้เพื่อจำแนกวัตถุหรือสิ่งที่กำลังพิจารณาในภาพ [7] ซึ่งเทคนิคดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านการประมวลผลภาพ (Image Processing) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์และกำหนดค่าเทรชโฮลด์ในบทความนี้ มุ่งเน้นการกำหนดค่าเพื่อแบ่งจุดพิกเซลของภาพแต่ละจุด เพื่อให้สามารถแยกแยะว่าจุดพิกเซลใดเป็นค่าสีของน้ำ และจุดพิกเซลใดไม่ใช่ค่าสีของน้ำ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าระดับน้ำตัวอย่างเช่น เมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าเทรชโฮลด์มาได้เท่ากับ 150 แล้วค่าพิกเซลในภาพที่มีค่าน้อยกว่า 150 จะถูกตีความว่าเป็นค่าของน้ำ ในทางกลับกันถ้าค่าจุดพิกเซลไหนมากกว่า 150 จะถูกตีความว่าไม่ใช่ค่าของน้ำ เป็นต้น

2.3 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยในบทความนี้เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงปริมาณ 2 ตัว (X และ Y) ซึ่งเป็นข้อมูลแบบต่อเนื่อง เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์หรือศึกษาอิทธิพลของปัจจัยนั้นๆ กับผลที่เกิดขึ้น แล้วนำสมการที่แสดงความสัมพันธ์นั้นๆ มาใช้ทำนายว่าปริมาณของตัวแปรตาม (Y) มีปริมาณเท่าใด ถ้าทราบค่าของปริมาณของตัวแปรอิสระ (X) โดยมีรูปแบบสมการอย่างง่ายดังแสดงในสมการที่ (2) ดังนี้ [8]

$$Y = a + bX \quad (2)$$

เมื่อ Y และ X เป็นตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ ตามลำดับ ส่วน a และ b เป็นค่าคงที่ ทั้งนี้สมการที่ได้สามารถแสดงในรูปของเส้นกราฟถดถอยได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟถดถอยที่สร้างจากข้อมูลแต่ละค่า

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพ

มีงานวิจัยและพัฒนามากมายที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการประมวลผลภาพ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้คัดเลือกมาเพียงบางส่วนที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีทั้งงานวิจัยของต่างประเทศและงานวิจัยในประเทศ [9-17] ถึงแม้จะมีหลายงานวิจัยที่น่าสนใจ แต่มีเพียงบางส่วนที่นำเทคนิคการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้กับการตรวจวัดระดับน้ำ [14-17] และเมื่อพิจารณาในรายละเอียดพบว่างานวิจัยเหล่านั้น ไม่ได้ใช้อุปกรณ์มาตรฐาน (เช่น เกจวัดระดับน้ำ) ที่มีใช้งานอยู่ทั่วไป แต่เป็นการใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ เช่น เกจรูปโบว์กระต่าย (Bowtie Shape) หรือเกจแบบจุด (Kernel) เป็นต้น จึงสามารถกล่าวได้ว่า งานวิจัยเหล่านั้นอาจจะยังไม่เหมาะสมกับสภาพการณ์จริง นอกจากนี้ จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทางผู้วิจัยได้นำเทคนิคการทำเทรชโฮลด์และการวิเคราะห์การถดถอย ตลอดจนเทคนิคภาพระดับสีเทามาประยุกต์ใช้ด้วย เนื่องจากเทคนิคภาพระดับสีเทาสอดคล้องกับภาพนิ่ง (Snapshot) ที่ได้รับจากกล้องวงจรปิดทั้งที่เป็นภาพสีในตอนกลางวัน และภาพระดับเทาตอนกลางคืนซึ่งได้จากการทำงานของระบบอินฟราเรดของกล้องวงจรปิด เพื่อให้สามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบภาพทั้งกลางวันและกลางคืนได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ทั้งนี้เพราะภาพระดับสีเทาจะทำการประมวลผลได้ง่ายและเร็วกว่าเพราะมีเพียงโทนสีเดียว

3. กระบวนการในการพัฒนาระบบ

ในการพัฒนาระบบอ่านค่าระดับน้ำจากภาพกล้องวงจรปิดนี้ ผู้วิจัยมิได้กล่าวถึงการพัฒนาโปรแกรมหรือแอปพลิเคชันไว้ในที่นี้ เพราะวัตถุประสงค์หลักของบทความวิจัยนี้คือเพื่อนำเสนอแนวคิดและกระบวนการในการพัฒนาระบบ ซึ่งหัวใจหลักของระบบอยู่ที่การประมวลผลภาพเพื่อหาค่าเทรชโฮลด์และสร้างเส้นระดับน้ำอ้างอิง แล้วทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพเพื่ออ่านค่าระดับน้ำจากภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิดซึ่งอธิบายได้ดังนี้



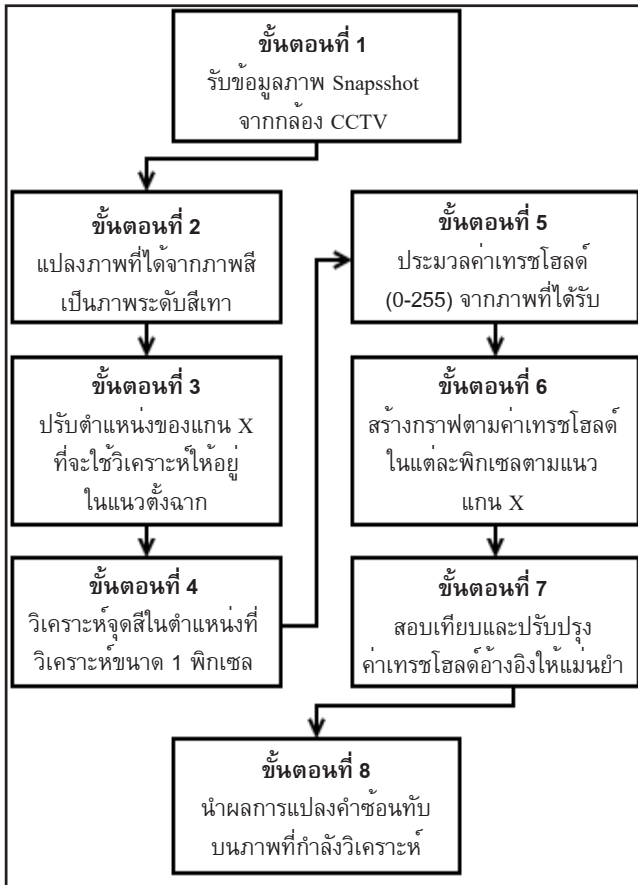
ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพและการอ่านค่าระดับน้ำ

เรื่อง	การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพกับสิ่งที่ศึกษา
โปรแกรมนับจำนวนโครโมโซมด้วยเทคนิคการทำเส้นโครง [9]	การพัฒนาโปรแกรมสำหรับนับแบบอัตโนมัติ มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ได้แก่ การแปลงภาพเป็นขาวดำ และการทำให้โครโมโซมในภาพเป็นเส้นโครง การทอเลอรั้นซ์ภาพเมตาเฟสทั้งหมด 20 ภาพ ทดสอบการนับได้ถูกต้องประมาณ 68% โดยเฉพาะโครโมโซมเดี่ยว สามารถนับได้ถูกต้องมากกว่า 85% ช่วยให้หับจำนวนโครโมโซมได้สะดวกและรวดเร็วขึ้นกว่าเดิมมาก
การตรวจสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวแดงปนในข้าวขาวโดยวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล [10]	ในการศึกษานี้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคภาพขาวดำ การจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการมอร์ฟอโลจิกคอล แล้วจำแนกความแตกต่างด้วยการดูค่าพิกเซลสีเทาและทำการแปลงเป็นภาพทอเลอรั้นซ์ เพื่อทำการตรวจสอบหาพิกเซลภาพที่มีตรรกะ "1" เพื่อคำนวณหาอัตราส่วนข้าวแดงปนในข้าวขาว จากผลการทดสอบ พบว่าวิธีการดังกล่าวมีความถูกต้อง 83% โดยประมาณ
การประเมินผลความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ [11]	ในการศึกษานี้มีการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าจากเวลาการ ติด-ดับ ของ LED บนเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ที่บันทึกภาพผ่านกล้องเว็บแคม โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น การลบจุดภาพ (Substraction) การตรวจระดับเทรชโฮลด์ (Threshold) และอัลกอริทึมสำหรับการแปลงภาพจากการประเมินผลพบว่า ให้ผลความถูกต้องใกล้เคียงกับวิธีการติดตั้งมิเตอร์มาตรฐาน แต่ประหยัดเวลากว่า และคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการใช้แคลมป์ออนเพาเวอร์มิเตอร์
ขั้นตอนวิธีนับจำนวนเชื่อบนแผ่นไอโมติเตอร์ด้วยเทคนิคประมวลผลภาพและดีบีเอสแกน [12]	งานวิจัยนี้มีการใช้เทคนิคการแปลงภาพเป็นขาวดำ การแยกวัตถุกับพื้นหลัง ก่อนที่จะมีการแปลงข้อมูลที่ได้ออกมาเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่สามารถนำไปใช้ในขั้นตอนของดีบีเอสแกนเพื่อจัดกลุ่มข้อมูลได้ จากการทดสอบพบว่าวิธีนับเชื่อบนด้วยกระบวนการให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการนับด้วยสายตาค่อนข้างน้อยสำคัญ
การตรวจหาป้ายจำกัดความเร็วในเงื่อนไขที่ถูกลบภาพแวลลอมบดบังด้วยการประมวลผลภาพ [13]	การพัฒนาระบบตรวจหาป้ายจำกัดความเร็วในกรณีที่ป้ายถูกบดบังนี้ อาศัยเทคนิคในการประมวลผลภาพ ได้แก่ เทคนิคโมเดลสี HSV เทคนิคภาพระดับสีเทา (Gray Scale) และเทคนิคการอินเตอร์เซกชันภายในเฟรม ระบบนี้ใช้ได้กับกรณีที่ป้ายถูกบดบังที่ขอบป้าย $\leq 25\%$ และ ในกรณีที่ถูกลบบังตัวเลข $\leq 10\%$ จากการทดลองพบว่า ในกรณีที่ป้ายเดียวที่ถูกลบบังและมากกว่าหนึ่งป้ายที่ถูกลบบัง ระบบนี้มีประสิทธิภาพ 90% และ 89.2% ตามลำดับ
Development of a Float Type Optical Water Level Measurement by Image Processing Technique: Comparison of Water Surface Estimation Methods [14]	การศึกษานี้เสนอแนวทางการพัฒนาเครื่องมือวัดระดับน้ำแบบลอยซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นพิเศษ โดยใช้การวิเคราะห์ภาพถ่าย แล้วนำผลเปรียบเทียบกับวิธีการอ่านค่าระดับน้ำด้วยสายตา ซึ่งผลการทดสอบบ่งชี้ว่าวิธีแรกที่ใช้การกำหนดเส้นระดับน้ำแบบคงที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงกว่าแบบวิธีที่สองที่ใช้เส้นแสดงรูปร่างเล็กน้อย โดยทั้งสองวิธีมีการแปรผันของค่าระดับน้ำเป็นเส้นตรงใกล้เคียงกับการอ่านระดับน้ำด้วยตา
GaugeCam: An Image-based System to Measure Water Levels in Streams [15]	การศึกษานี้ ได้มีการนำเสนอเทคนิคการวัดระดับน้ำด้วยกระป๋องที่ใช้เกอจวัดระดับน้ำแบบพิเศษ (Bowtie Shapes) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของค่าระดับน้ำที่ถูกลบ จากผลการทดสอบพบว่า เทคนิคนี้ช่วยให้วัดระดับน้ำได้ละเอียด 3 มม.
Real-time Water Level Monitoring Using Image Sequence Processing [16]	งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอการตรวจวัดระดับน้ำโดยใช้ภาพต่อเนื่อง และใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วย (เช่น การแปลงสีเป็นสีเทา การปรับภาพให้เรียบและการตรวจหาขอบ เป็นต้น) จุดขอบของน้ำหาได้โดยใช้จุดสีดำ (Kernel) และเทรชโฮลด์ (Threshold) แล้วใช้เทคนิคการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เพื่อหาสมการที่ดีที่สุดที่เหมาะสมข้อมูลที่เกิดขึ้นรวบรวมมาได้ นอกจากนี้ยังมีการสอบเทียบ (Calibration) เพื่อให้ได้ค่าที่ตรงกับค่าระดับน้ำจริงด้วย
Development of a Cloud-based Image Water Level Gauge 01 [16]	การศึกษานี้ได้มีการนำเสนอการตรวจวัดระดับน้ำด้วยระบบที่มีชื่อว่า River Eye ซึ่งได้นำเสนอการอ่านค่าระดับน้ำจาก 2 แนวทาง คือ 1) อัลกอริทึมการรู้จำลักษณะเฉพาะแบบภาพเดี่ยว (Character Recognition Algorithm) สำหรับการอ่านค่าภาพนิ่งที่ได้ทีละภาพ และ 2) อัลกอริทึมการรู้จำลักษณะเฉพาะแบบหลายภาพในหลายช่วงเวลา ซึ่งค่าระดับน้ำที่วัดด้วยวิธีที่ 2 จะมาจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และความแตกต่างของภาพ

3.1 การหาค่าเทรซโฮลด์เพื่อหาเส้นระดับน้ำอ้างอิง

การพัฒนาระบบอ่านค่าระดับน้ำจากภาพ ใช้เทคนิคการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา และหาค่าเทรซโฮลด์ของจุดที่ต้องการ โดยมีขั้นตอนดังที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2 ดังนี้

1) การรับข้อมูลภาพนิ่ง (Snapshot) จากกล้อง CCTV เป็นขั้นตอนที่นำเอาวิดีโอที่ได้จากกล้องวงจรปิด มาจับภาพเพื่อให้ได้ภาพนิ่ง ดังตัวอย่างในภาพที่ 3 จากนั้นนำไปบันทึกไว้ในฐานข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับประมวลผล



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการพัฒนาระบบอ่านค่าระดับน้ำจากภาพ

2) การแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา (Gray Scale) โดยมีความเข้ม 256 ระดับ คือ ตั้งแต่ 0-255 เป็นขั้นตอนที่นำภาพที่ได้มาแปลงเพื่อช่วยให้กระบวนการวิเคราะห์จุดภาพหรือพิกเซลที่ต้องการพิจารณาตามเทคนิคเทรซโฮลด์สามารถทำได้ง่าย และมีความถูกต้องยิ่งขึ้น

3) การปรับตำแหน่งของเกจวัดระดับน้ำแบบตั้ง (Staff Gauge) ที่จะใช้วิเคราะห์ให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวระนาบ (แกน X) ในกรณีที่ตำแหน่งของกล้องกับแนวจุดที่ต้องการวิเคราะห์ไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบหรือแนวแกน X (ภาพที่ 3) จำเป็นจะต้องทำการปรับให้อยู่ในแนวตั้งฉากหรือ

เป็นเส้นตรงแนวดิ่งก่อนที่จะนำข้อมูลภาพไปทำการวิเคราะห์ต่อไป



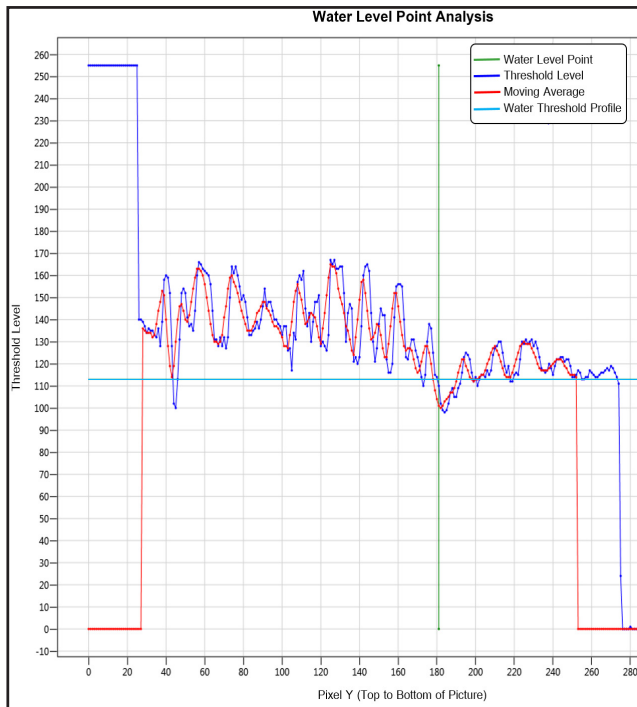
ภาพที่ 3 ต้นฉบับก่อนผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ

4) กำหนดแนวเส้นในการวิเคราะห์ระดับน้ำที่มีความสูงเท่ากับขนาดของภาพ โดยแต่ละแนวเส้นจะแบ่งเป็นจุดพิกเซลประกอบกันตามขนาดของความสูงภาพ หรือ 270 พิกเซล และกำหนดให้มีขนาดความกว้าง 1 พิกเซล ณ จุดที่ต้องการวิเคราะห์ โดยระบบจะทำการตัดภาพเฉพาะส่วนที่กำหนดนี้มาใช้ในการวิเคราะห์

5) การประมวลผลจะทำการวิเคราะห์ค่าเทรซโฮลด์ของทุกๆ พิกเซลในแนวแกน Y ของตำแหน่งพิกเซลในแนวแกน X ที่กำลังพิจารณา ตัวอย่างเช่น ถ้าแกนกลางของเกจวัดระดับน้ำอยู่ตรงตำแหน่งพิกเซลที่ 200 ตามแนวแกน X ตำแหน่งพิกเซลตั้งแต่ x_{200}, y_1 ถึง x_{200}, y_{270} ก็จะถูกนำมาประมวลผล ซึ่งจะทำได้ ค่าเทรซโฮลด์จำนวน 270 ค่า

6) ค่าเทรซโฮลด์ที่ได้จากข้อ 5) ทั้ง 270 ค่า มาสร้างเป็นกราฟโดยกำหนดให้ค่า 1 ถึง 270 อยู่บนแนวแกน X แล้วแสดงค่าเทรซโฮลด์บนแนวแกน Y ของกราฟ ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งจากกราฟจะแสดงเส้นกราฟทั้งหมด 4 เส้น 1) เส้นค่าระดับน้ำที่หาได้ แสดงด้วยเส้นสีเขียว (Water Level Point) 2) เส้นค่าเทรซโฮลด์ที่ประมวลได้แต่ละพิกเซล แสดงด้วยสีน้ำเงิน (Threshold) 3) เส้นค่าเทรซโฮลด์เฉลี่ย แสดงด้วยเส้นสีแดง (Moving Average) 4) เส้นค่าเทรซโฮลด์ที่ใช้อย่างยิ่ง แสดงด้วยเส้นสีฟ้า (Water Threshold Profile)

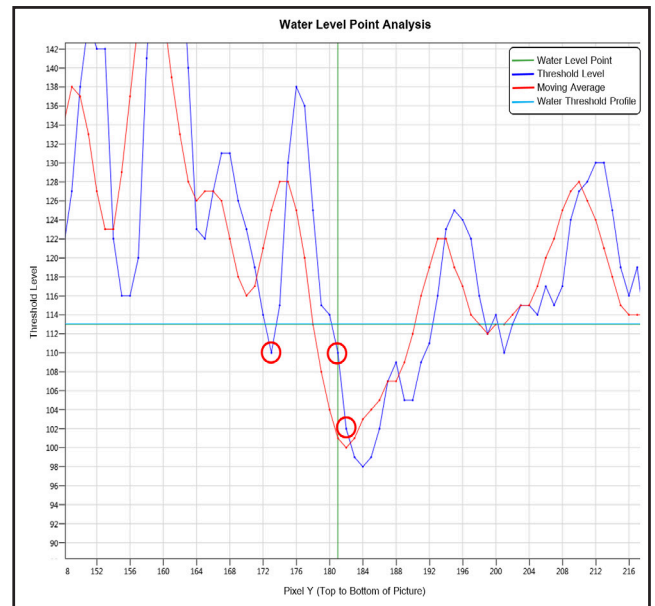
7) ทำการสอบเทียบค่าเทรซโฮลด์ที่ได้ของแต่ละพิกเซล เปรียบเทียบระหว่างค่าเทรซโฮลด์เฉลี่ย จำนวน 5 ค่า (ในที่นี้เรียกว่า Moving Average ซึ่งเป็นการนำค่าเทรซโฮลด์ 5 ค่าซึ่งประกอบด้วยค่า ณ จุดที่กำลังพิจารณากับ 4 ค่า



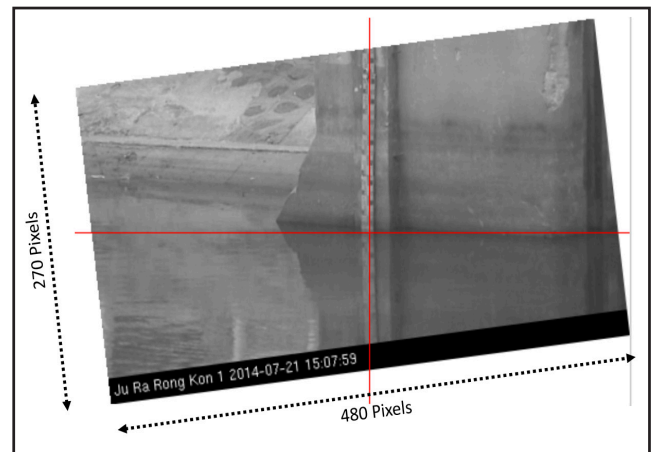
ภาพที่ 4 การใช้เทคนิคการประมวลผลภาพหาตำแหน่งระดับน้ำจากค่าเทรชโฮลด์

ถัดไป มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อกำหนดจุดตัดที่ต่ำกว่าเทรชโฮลด์ที่กำหนด ซึ่งจากการทดลองการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยจาก 3-9 จำนวน และค่าทางคณิตศาสตร์อื่นๆ แล้ว พบว่าจำนวน 5 ค่าของค่าเฉลี่ยเป็นจำนวนที่ทำให้ได้ความแม่นยำสูงที่สุด) กับค่าเทรชโฮลด์ของระดับน้ำประจำสถานีที่ใช้อ้างอิง โดยพิจารณาจากค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ใช้อ้างอิงและไม่มากกว่าจุดตัดของค่าเทรชโฮลด์กับค่าเทรชโฮลด์เฉลี่ย ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งมีจำนวน 3 วง ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ใช้อ้างอิง แต่ค่าที่อยู่ในวงกลมซ้ายมีค่าต่อไปเกินค่าที่ใช้อ้างอิงจึงไม่พิจารณา โดยค่าที่พิจารณาจะเป็นค่าที่อยู่ในวงกลมตรงกลาง และขวา ซึ่งเป็นค่าที่ไม่มากกว่าจุดตัดของค่าเทรชโฮลด์กับค่าเทรชโฮลด์เฉลี่ย

8) เมื่อได้ผลลัพธ์ซึ่งเป็นตำแหน่งของระดับน้ำที่วิเคราะห์ได้จากระบบอ่านค่าระดับน้ำจากภาพ แล้วนำค่าที่ได้ไปสร้างเป็นเส้นระดับน้ำอ้างอิงซ้อนทับบนภาพที่กำลังวิเคราะห์ เพื่อทำการปรับแก้จุดระดับน้ำในภาพตั้งฉากกับแนวระนาบหรือแนวแกน x ดังแสดงในภาพที่ 6 จะเห็นว่าจำนวนจุดภาพที่หาได้ในแนวตั้งที่ซ้อนทับบนภาพมีทั้งหมด 270 จุดภาพ และมีส่วนบนและส่วนล่างไม่ได้อยู่ในภาพเนื่องจากระดับของน้ำและระดับของจอภาพไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน



ภาพที่ 5 การหาระดับน้ำโดยหาจากค่าเทรชโฮลด์ที่ต่ำกว่าค่าที่ใช้อ้างอิงแต่ไม่มากกว่าจุดตัดของค่าเทรชโฮลด์กับค่าเทรชโฮลด์เฉลี่ย



ภาพที่ 6 การผ่านกระบวนการประมวลผลภาพแล้วจะมีเส้นแสดงระดับน้ำอ้างอิงไว้อย่างชัดเจน

3.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เมื่อได้ผลลัพธ์ว่าระดับน้ำอยู่ในตำแหน่งพิกเซลของแกน X แล้ว ระบบอ่านค่าระดับน้ำจากภาพจำเป็นต้องแปลงค่าพิกเซลเป็นระดับน้ำซึ่งมีหน่วยเป็น เมตร ตามระดับทะเลปานกลาง หรือ ม.รทก. เพื่อให้สามารถนำไปใช้อ้างอิงได้ต่อไป นอกจากนี้ระบบจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าโปรไฟล์ (ซึ่งเป็นข้อมูลค่าพิกเซลในแต่ละระยะเช่น หากได้ระดับน้ำที่พิกเซลค่าหนึ่งๆ จะเท่ากับระดับน้ำที่กี่ ม.รทก.) และมีการประเมินหรือสอบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ

แต่ละสถานีให้เหมาะสม โดยได้จากการรวบรวมข้อมูลภาพและค่าระดับน้ำที่มีความเปลี่ยนแปลงในระยะ 2 เมตรตามความยาวของแผ่นวัดระดับน้ำที่ได้มีการติดตั้งไว้ในทั้ง 3 สถานี ได้แก่ สถานีที่ 1 สถานีคลอง 13 สถานีที่ 2 สถานีมหาสวัสดิ์ และสถานีที่ 3 สถานีประตูระบายน้ำจุฬาลงกรณ์ โดยรวบรวมข้อมูลระดับน้ำที่มีความเปลี่ยนแปลงทุก ๆ 5 เซนติเมตร (เกววัดระดับน้ำแบบตั้งมาตรฐานมีระยะความสูง 2 เมตร) ในช่วงเวลาไม่น้อยกว่า 4 เดือน ซึ่งค่าพิกเซลจากการประมวลผลภาพที่ได้ ตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.1 สามารถนำมาสร้างสมการหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณหาค่าระดับน้ำจากการแปลงค่าพิกเซลได้ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายหรือแบบเชิงเส้น (Linear - Regression Analysis Technique) ดังสมการที่ (3)-(5) สำหรับสถานีคลอง 13 สถานีมหาสวัสดิ์ และสถานีประตูระบายน้ำจุฬาลงกรณ์ ตามลำดับ เมื่อ X คือ ค่าพิกเซล และ Y คือ ค่าระดับน้ำ

$$Y = (X - 397.39) / -177.86 \quad (3)$$

$$Y = (X - 490) / -160 \quad (4)$$

$$Y = (X - 334.35) / -100.31 \quad (5)$$

4. การประเมินประสิทธิภาพของระบบ

หลังจากที่ได้มีการพัฒนาระบบอ่านค่าระดับน้ำขึ้นจากสมการ (3)-(5) ผู้วิจัยได้ประเมินประสิทธิภาพของระบบเบื้องต้นด้วยการนำข้อมูลจากแต่ละสถานีที่อ่านด้วยสายตา (ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บใหม่แยกจากข้อมูลชุดแรกที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ) มาเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น พบว่า ค่าที่อ่านโดยระบบที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับค่าระดับน้ำที่อ่านด้วยสายตา

ดังแสดงในภาพที่ 7-9 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าระดับน้ำที่อ่านด้วยสายตาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบกับค่าระดับน้ำที่คำนวณได้ มีความใกล้เคียงกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในภาพที่ 2 ซึ่งเป็นชุดข้อมูลของสถานีที่ 1

อย่างไรก็ดี เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าระดับน้ำจากการประมวลผลภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างค่าของระดับน้ำที่อ่านด้วยสายตาเพื่อ

ประเมินประสิทธิภาพของระบบ กับค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพและคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ หรือค่า R-square (Coefficient of Determination) ด้วย

เมื่อพิจารณาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังแสดงในตารางที่ 2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าของระดับน้ำที่อ่านด้วยสายตากับค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพและคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสถานีที่ 1-3 มีค่าเท่ากับ 0.987, 0.963 และ 0.945 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสถานีที่ 1 ถือได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ในขณะที่ค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 สถานี มีค่าเท่ากับ 0.965

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาหาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ หรือ R-Square ของสถานีที่ 1-3 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.974, 0.923 และ 0.928 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 สถานีเท่ากับ 0.942 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า ระบบอ่านค่าระดับน้ำที่พัฒนาขึ้นโดยใช้การประมวลผลด้วยสมการที่ (3) - (5) เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี สามารถใช้อ่านค่าระดับน้ำแทนการอ่านด้วยสายตาได้

5. อภิปราย

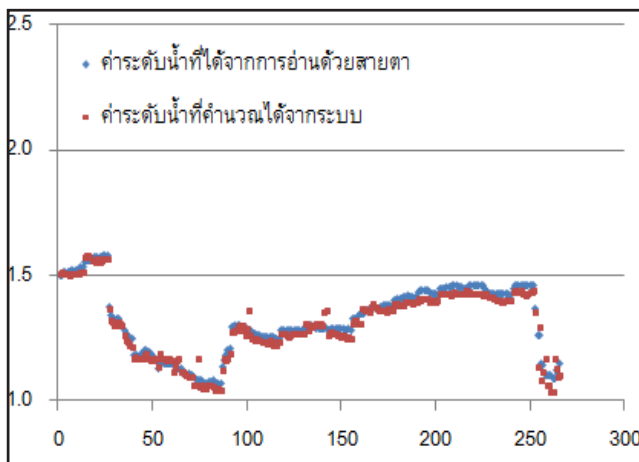
ในงานวิจัยนี้ มีการประยุกต์ใช้เทคนิคในการประมวลผลภาพที่มีการใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาเช่นเดียวกับ [10], [13], [16] และประยุกต์ใช้เทคนิคเทรซโฮลด์เช่นเดียวกับ [11], [16] ด้วยเป็นต้น แม้ว่าบางเทคนิค เช่น การแปลงภาพสีเป็นภาพขาวดำจะยังไม่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เช่นเดียวกับ [10], [12] ก็ตาม เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่พิจารณามีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน นอกจากเทคนิคดังที่ได้กล่าวมา ผู้วิจัยยังได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าระดับน้ำของระบบด้วย ซึ่งเป็นแนวทางเดียวกันกับ [16]

เมื่อพิจารณาถึงแนวทางในการพัฒนาระบบอ่านค่าระดับน้ำจากภาพของกล้องวงจรปิด (CCTV) แบบอัตโนมัติจากการวิเคราะห์ค่าเทรซโฮลด์ภาพระดับสีเทาแล้ว จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างจาก [14-17] พอสมควร เพราะเป็น

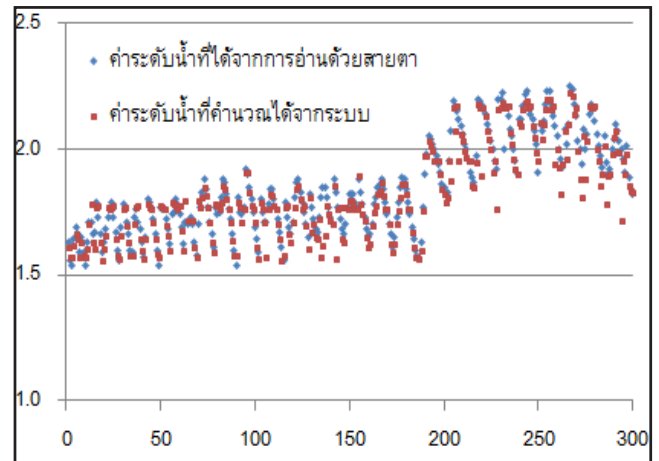


การพัฒนาระบบขึ้นมามบนพื้นฐานของอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกววัดระดับน้ำมาตรฐานที่มีการใช้งานตามเขื่อน ประตุน้ำ และ สถานีสูบน้ำต่างๆ ทั่วประเทศ ซึ่งจะช่วยเหลืองบประมาณแผ่นดินได้เป็นอย่างมาก และ ถือเป็นคุณค่าหลักของงานวิจัยและพัฒนา

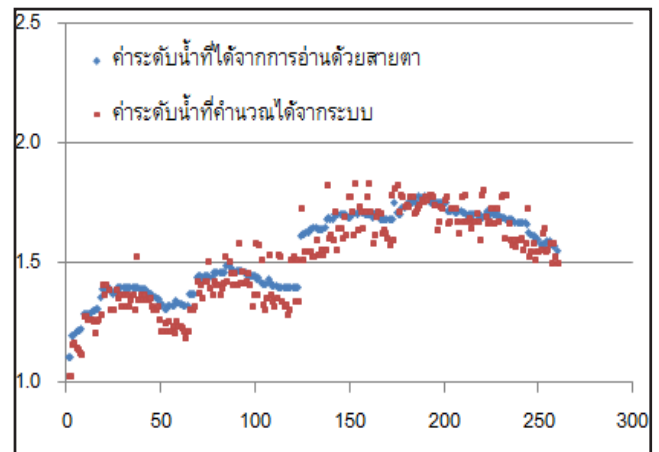
อย่างไรก็ดี เนื่องจาบบบทความวิจัยนี้ เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยในระยะนำร่อง การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงเลือกใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นเทคนิคอย่างง่าย ยังไม่ได้มีการนำเทคนิคอื่นๆ เช่น การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เชิงเส้น และเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ ซึ่งผู้วิจัยอาจจะมีการนำเทคนิคเหล่านี้ไปใช้ในงานโครงการวิจัยระยะถัดไปแล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เหล่านั้น ในขณะที่การประเมินประสิทธิภาพโมเดลในบทความวิจัยนี้ก็ใช้เทคนิคการประเมินแบบง่าย คือ ใช้การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ หรือค่า R-square ยังไม่มีการนำเทคนิคในการประเมินประสิทธิภาพแบบอื่นๆ ที่มีความน่าเชื่อถือสูง มาเปรียบเทียบกับ เช่น เทคนิคการหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยแบบร้อยละ (Mean Absolute Percentage Error) ซึ่งสามารถช่วยในการเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยเฉพาะกรณีหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ มีค่าใกล้เคียงกันมาก เป็นต้น



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่ได้จากการอ่านด้วยสายตา จำนวน 266 ค่า ณ สถานีที่ 1 กับค่าที่ได้จากระบบ



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่ได้จากการอ่านด้วยสายตา จำนวน 300 ค่า ณ สถานีที่ 2 กับค่าที่ได้จากระบบ



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่ได้จากการอ่านด้วยสายตา จำนวน 260 ค่า ณ สถานีที่ 3 กับค่าที่ได้จากระบบ

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

สถานี	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ผลประเมิน
1	0.987	0.974
2	0.963	0.923
3	0.945	0.928
เฉลี่ย	0.965	0.942

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาระบบอ่านค่าระดับน้ำจากภาพของกล้องวงจรปิดแบบอัตโนมัติในระย่นาร่องนี้ ด้วยการวิเคราะห์ค่าเทรซโฮลด์ภาพระดับสีเทา ผู้วิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบด้วยการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจด้วย ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจที่ได้ (เฉลี่ย 0.965 และ 0.942 ตามลำดับ) ยืนยันว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพดี ดังนั้น จึงสามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่า ระบบอ่านค่าระดับน้ำที่พัฒนาขึ้นเหมาะสำหรับนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อช่วยในการเก็บข้อมูลค่าระดับน้ำตามประตูระบายน้ำที่กรมชลประทานเป็นผู้รับผิดชอบอยู่ได้

อย่างไรก็ดี การอ่านค่าจากเงามาตรฐานที่อยู่ในสภาพแวดล้อมจริงอาจพบปัญหาของสิ่งกีดขวาง ณ จุดที่กำหนดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์นั้น อาทิเช่น ผักตบชวา ขยะมูลฝอย เป็นต้น ตลอดจนปัญหาของความสว่างของภาพที่ไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา และหากกล้องมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งตามสภาพฝนและพายุ การยืดเกาะหลวม ตลอดจนสัตว์ปีกซึ่งมีผลกระทบโดยตรงกับความแม่นยำ ในอนาคตจำเป็นจะต้องพัฒนาระบบให้มีความสามารถมากขึ้น เพื่อให้สามารถอ่านหรือประมาณค่าระดับน้ำได้ในกรณีที่พบสิ่งกีดขวาง

นอกจากนี้ผู้วิจัยจะนำเทคโนโลยีที่ดีกว่ามาใช้ในการดำเนินโครงการในระยะถัดไป เช่น การใช้ภาพที่มีความละเอียด 720 พิกเซล แทนภาพความละเอียด 480 พิกเซล เพื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบจากความละเอียดของภาพที่เพิ่มขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น ผู้วิจัยคาดว่าจะนำเทคนิคต่างๆ ที่ได้อภิปรายไว้ในหัวข้อที่ 5 ไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยระยะถัดไปด้วย ไม่ว่าจะเป็นเทคนิคในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเทคนิคในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองแบบอื่นๆ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Choosakul. "Variations of Weather and Precipitation in the Period of 30 Years on the Rice Farming of Thailand." *Science and Technology RMUTT Journal*, Vol. 2, pp. 17-28, 2012.
- [2] Office of Agricultural Economics, *Agricultural Statistics of Thailand 2015*. Available Online at <http://www.oae.go.th/>

download/download_journal/2559/yearbook58.pdf, accessed on 6 July 2017.

- [3] National Hydroinformatics and Climate (THAIWATER), *The Great Flood of 2011*. Available Online at <http://www.thaiwater.net/current/flood54.html>, accessed on 6 July 2017.
- [4] S. Phatchuay, and M. Ketcham. "The Surveillance System for Lab Security based on Image Processing," *Proceedings of International Conference on Advanced Computational Technologies & Creative Media (ICACTCM'2014)*, Thailand, pp. 93-96, 2014.
- [5] P. Kwansud, and J. Srinonchat. "Indicator Position of Gennerator Inspected Robot (GIR) Using Image Processing Technique." *Proceedings of The 8th National Conference on Technical Education*, Thailand, pp. 19-24, 2015.
- [6] N. Korsetthakarn, and A. Witsanurak. *Automatic Monitoring System via CCTV*. A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Bachelor Degree of Science in Computer Science, Chulalongkorn University, 2009.
- [7] M. Sezgin, and B. Sankur. "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation." *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 13, No. 1, pp. 146-168, 2004.
- [8] *Regression Analysis*. Available Online at <http://home.dsd.go.th/kamphaengphet/km/information/RESECARCH/014Regression.pdf>
- [9] S. Thongkham, S. Wongsorn, W. Sirimekha, R. Utthamathanintra, and S. Prongnuch. "The Chromosomes Counting Program by Thinning Technique." *Proceedings of The 5th Suan Sunandha Academic National Conference on, Research for Sustainable Development*, Thailand, pp. 807-812, 2015.
- [10] C. Nampol. "The Verifying of the Red Rice Seed Mixed in the White Rice Seed by Digital Image Processing." *Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, Vol. 5, No.1, pp. 59-71, 2015.



- [11] A. Rienrungle. *Accuracy Evaluation of Electronic Energy Meters Using Image Processing Technique*. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master Degree of Engineering in Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 2012.
- [12] D. Wanichsan, N. Ninchawee, T. Rattanakom, and P. Kongjuk. "An Algorithm for Hemocytometer Cell Counting based on Image Processing Technique and DBSCAN." *Information Technology Journal*, Vol. 11, No. 2, pp. 56-61, 2015.
- [13] K. Tala. *Detection Speed Limit Sign in The Condition of Environment Mask Using Image Processing*. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master Degree of Engineering in Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 2011.
- [14] C. Sirivitmitrie, V. Vudhivanich, and P. Chuagula. "Development of a Float Type Optical Water Level Measurement by Image Processing Technique: Comparison of Water Surface Estimation Methods." *Proceedings of International Conference on Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia organized by Paddy and Water Environment Engineering Society, Thailand*, 2008.
- [15] T. Gilmore, F. Birgand, K. Chapman, and A. Brown. *GaugeCam: An Image-based System to Measure Water Levels in Streams*. Available Online at https://www.bae.ncsu.edu/people/faculty/birgand/Downloads/ASABE_2011_final_TEG_30%20slides.pdf, accessed on 6 July 2017.
- [16] A. J. P. Malabanan, and V. Y. Mariano, *Real-time Water Level Monitoring Using Image Sequence Processing*. Available Online at <http://www.gaugecam.com/images/2010/Real-time%20Water%20Level%20Monitoring%20Using%20Image%20Sequence%20Processing.pdf>, accessed on 6 July 2017.
- [17] Y. Kim, H. Park, C. Lee, D. Kim, and M. Seo. "Development of a Cloud-based Image Water Level Gauge." *IT CoNvergence PRActice (INPRA)*, Vol. 2, No. 1, pp. 21–29, 2014.