

เครื่องวัดระดับน้ำเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเซนเซอร์ไร้สาย Water Level Gauge to Transmit Data Using Wireless Sensor Networks

ปฏิพัทธ์ ศรีแสง¹ ศุภกร กตาทิการกุล^{2*} และมารีนา มะหนิ³
Patipat Srisang¹, Supagorn Katathikarnkul^{2*} and Marina Mani³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาสร้างเครื่องวัดระดับน้ำสำหรับเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเซนเซอร์ไร้สาย โดยใช้รูปแบบการวัดแบบอัลตราโซนิก พบว่า ผลการวัดระดับน้ำได้ค่าความไม่เป็นเชิงเส้น 0.76 %FSO ความผิดพลาดแบบฮิสเทอรีซิส 0.98% FSO สามารถใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเซนเซอร์ไร้สาย และตรวจวัดระดับน้ำได้อย่างต่อเนื่อง นำมาประยุกต์ใช้ให้รองรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เทคนิคการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้วัดระดับน้ำที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันได้ ใช้งานง่าย พกพาสะดวกอีกทั้งยังมีราคาถูก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

คำสำคัญ : การวัดระดับน้ำ เซนเซอร์อัลตราโซนิก เซนเซอร์ไร้สาย

¹ นิสิตปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² นักวิชาชีพ สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ ผศ., สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

* Corresponding author: supagone@hotmail.com Tel. 083-6565725

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557

Abstract

This paper presents the water level gauge to transmit data using wireless sensor networks. The experiment measurement technique used a ultrasonic measurement. Results show that water level measurement and hysteresis error were 0.58% FSO non-linear and 0.98% FSO, respectively. In addition, the prototype is able to send information via wireless sensors and measure water level continuously. The solar cell power supply was also applied to use with the gauge. Consequently, the gauge could be used to measure the water level which was prompt changing rate. Moreover, the gauge was inexpensive, efficiency and portable.

Keywords : Water Level Measurement, Ultrasonic Sensor, Wireless Sensor

บทนำ

ปัจจุบันการตรวจวัดระดับน้ำของกรมชลประทาน ส่วนใหญ่เป็นระบบการตรวจที่ต้องอาศัยมนุษย์เป็นผู้ตรวจสอบระดับน้ำที่อยู่บนแผ่นวัดระดับน้ำ (staff gauge) อยู่เป็นระยะ ๆ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดระดับน้ำที่มีจำหน่ายหรือในงานวิจัยมีหลากหลายประเภทของตามหลักการทำงาน อาทิเช่น เทคนิคของ Acoustical gas resonator [1] โดยวิธีดังกล่าวประกอบด้วยท่ออากาศที่ปลายหนึ่งจุ่มอยู่ในของเหลว และปลายอีกด้านถูกปิดโดยมีการติดตั้งแหล่งกำเนิดคลื่น acoustical และไมโครโฟนไว้ ความถี่เรโซแนนซ์ของ resonator เป็นฟังก์ชันกับระยะทางระหว่างปลายที่ถูกปิดกับผิวน้ำ สามารถตรวจวัดระดับของเหลวได้เมื่อทราบคุณลักษณะของความถี่เรโซแนนซ์ที่โหมดต่าง ๆ มีข้อจำกัดคือค่าความแตกต่างของความยาวท่อที่ระดับน้ำสูงสุดที่ตรวจวัดต้องมีค่ามากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออากาศนั้น นอกจากนี้วิธีนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดระดับของน้ำที่ปนไปด้วยทรายและมีผลตอบสนองในเวลาที่ใช้หลักการวัดด้วยคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Detecting electrical properties) เป็นการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระดับน้ำ เช่น การวัดระดับของเหลวด้วยหลักการค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance level sensor) [2-4] เป็นวิธีการวัดที่อาศัยหลักการวัดค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดจากค่าไดอิเล็กตริกที่แตกต่างกันระหว่างของเหลวกับอากาศมีโครงสร้างส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแผ่นหรือแท่งตัวนำที่แยกออกเป็น 2 ส่วน ให้ค่าความจุไฟฟ้าที่ได้มีค่าในระดับพิโกฟารัด (pF) และมีข้อจำกัดเนื่องจากต้องสัมผัสกับของเหลวโดยตรง [5] จึงอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนบนผิวของเครื่องวัดได้ อาจส่งผลต่อค่าที่วัดได้ หลักการความกดอากาศ (Hydrostatic pressure) [6] โดยการเปรียบเทียบแรงดันของเหลวกับแรงดันบรรยากาศมีข้อจำกัด คือโครงสร้างของเซนเซอร์มีแผ่นแฟรมขนาดเล็ก ซึ่งเสียหายได้ง่ายหากเกิดการกระทบกระเทือน มีไฟรั่วหรือมีความชื้นสะสมภายใน ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องมีการติดตั้งระบบกราวด์ที่ดี และต้องมีการติดตั้งสารดูดซับความชื้นในท่ออากาศด้วย ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีราคาค่อนข้างสูงทำให้มีข้อจำกัดด้านราคาและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้เครื่องมือต่าง ๆ เหล่านี้ไม่เหมาะสมนำมาใช้งานตรวจการวัดระดับน้ำในระบบเปิด และเนื่องจากการตรวจวัดที่มีอยู่ในปัจจุบันมีทั้งที่เป็นแบบอัตโนมัติและแบบใช้คนตรวจวัด โดยแบบอัตโนมัติเป็นการตรวจกับเรดาร์ตรวจอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม ส่วนแบบใช้คนตรวจวัดจะทำการวัดโดยใช้แผ่นวัดระดับน้ำที่ปักไว้ตามลำคลองในแต่ละจังหวัด ถึงแม้ว่าจะมีการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำในบริเวณที่ต่าง ๆ มากขึ้นมีทั้งแบบอัตโนมัติและคนอ่าน [7] แต่ยังไม่ได้ครอบคลุมพื้นที่เสี่ยงภัยทั้งหมด อีกทั้งจากการเกิดภัยพิบัติอุทกภัยในช่วงที่ผ่านมาพบปัญหาว่า เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบอัตโนมัติที่ใช้สำหรับหน่วยงานต่าง ๆ ไม่สามารถทำงานได้ เมื่อกระแสไฟฟ้าดับทำให้ไม่สามารถที่จะรายงานระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในช่วงเวลานั้นได้ ดังนั้นจึงมีแนวความคิดในการสร้างเครื่องวัดระดับน้ำที่มีแหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรองโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั่วไปแล้วส่งข้อมูลผ่านเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อแจ้งไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการเฝ้าระวัง หรือประชาชนผู้อยู่อาศัย

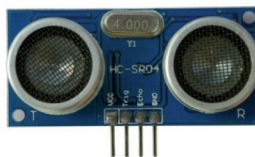
จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557

บทความนี้จึงนำเสนอการสร้างเครื่องวัดระดับน้ำที่สามารถส่งสัญญาณผ่านเซนเซอร์ไร้สาย โดยใช้แหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เก็บพลังงาน ประกอบด้วยเครื่องวัดที่ใช้หลักการจับเวลาการเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ที่ถูกส่งออกไปจากต้นทางผ่านอากาศ แล้วเกิดการสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับผิวของน้ำ เซนเซอร์ไร้สาย XBee ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับคำนวณระดับน้ำ เซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ ซึ่งมีเทคนิคที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับวัดระดับน้ำโดยเครื่องมือที่ประดิษฐ์มีข้อดีคือการติดตั้งที่ไม่ยุ่งยาก มีความสะดวก ปลอดภัยและง่ายต่อการบำรุงรักษา ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพชีวิตและสังคม และยังเป็นการลดการนำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาแพงมาก รวมถึงการนำเทคโนโลยีของเครื่องวัดระดับน้ำที่วิจัยและพัฒนาขึ้นมาเองมาใช้ ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ประเทศชาติได้อีกทางหนึ่ง

วิธีการวิจัย

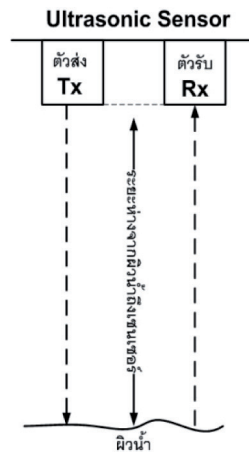
เซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่นSRF 04 (Ultrasonic Distance Detector Module SRF04) คลื่นอัลตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 kHz เท่านั้น แต่คนที่อายุยังน้อย ๆ อาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้แต่ไม่เกิน 20 kHz ได้ ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่า อัลตราโซนิก จึงหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป จะสูงขึ้นจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้ ส่วนสาเหตุที่นิยมนำคลื่นย่านอัลตราโซนิกมาใช้ เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง

เซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น SRF04 เป็นแผงวงจรวัดตรวจจับและวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิกที่มีแม่นยำและเที่ยงตรงสูงโดยสามารถวัดระยะทางได้ตั้งแต่ 0.01 เมตรไปจนถึง 4 เมตร ภาพที่ 1 ถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่ายโดยใช้ขาเชื่อมต่อเพียง 2 ขา โดยใช้หลักการปล่อยสัญญาณพัลส์หรือสัญญาณดิจิทัลที่ช่อง Trigger ไปยังพื้นน้ำแล้วสะท้อนคลื่นเสียงที่ปล่อยออกมากลับมายังช่อง Echo ซึ่งเป็นตัวรับสัญญาณพัลส์ ทำให้ทราบถึงระยะห่างระหว่างต้นทางและปลายทางที่ส่งสัญญาณอัลตราโซนิกไปยังผิวน้ำ ภาพที่ 2 โดยสัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปของความกว้างพัลส์ที่มีสัมพันธ์กับระยะทางของวัตถุที่ตรวจจับได้ โดยความถี่อัลตราโซนิกที่ถูกส่งออกไปในอากาศด้วยความเร็วประมาณ 346 เมตรต่อวินาที ดังนั้นเมื่อทราบความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น เวลา เริ่มส่งคลื่นและเวลาที่รับเสียงสะท้อนกลับมาก็จึงคำนวณหาค่าของระยะทางได้ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 1 เซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่นSRF 04

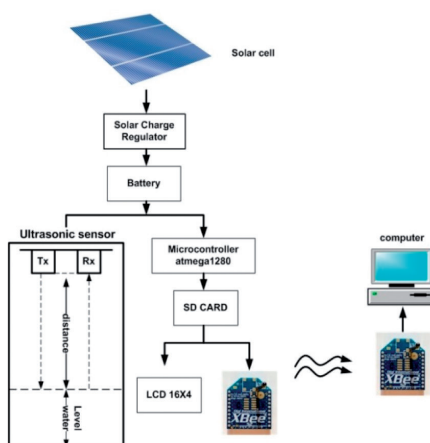
จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557



ภาพที่ 2 หลักการตรวจวัดระดับน้ำโดยใช้สัญญาณอัลตราโซนิก

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการทำงาน คือ การออกแบบเครื่องวัดระดับน้ำที่ใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก SRF04 ให้ทำการเก็บข้อมูลระดับน้ำด้วยการประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ATMEGA1280 กำหนดวันเดือนปี เวลาด้วยวงจรสร้างฐานเวลา DS1307 และจัดเก็บข้อมูลลงใน SD/MMC โดยมี SD Card ขนาดความจุ 4GB เพื่อทำเป็นฐานข้อมูลและสำหรับการส่งข้อมูลผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายด้วยการเลือกใช้โมดูล XBee ความถี่ 2.4GHz ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่รับส่งข้อมูลแบบไร้สาย ดังภาพที่ 3 โดยนำโมดูล XBee ตัวแรก สำหรับการส่งค่าระดับน้ำที่อ่านได้เมื่อนำมาต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนโมดูล XBee ตัวที่ 2 ต่อผ่านพอร์ตอนุกรมกับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลค่าระดับน้ำ



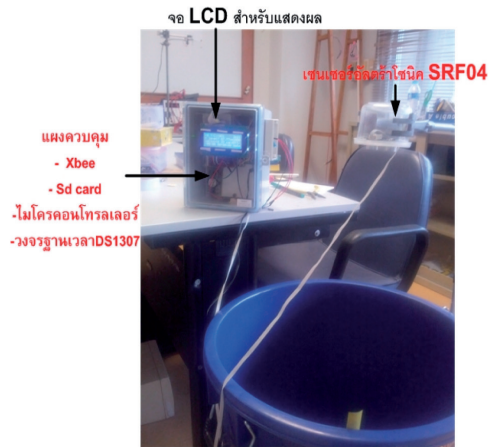
ก. ไดอะแกรมหลักการทำงาน



ข. เครื่องวัดระดับน้ำต้นแบบ

ภาพที่ 3 ไดอะแกรมหลักการทำงานของเครื่องวัดระดับน้ำและเครื่องวัดระดับน้ำต้นแบบ

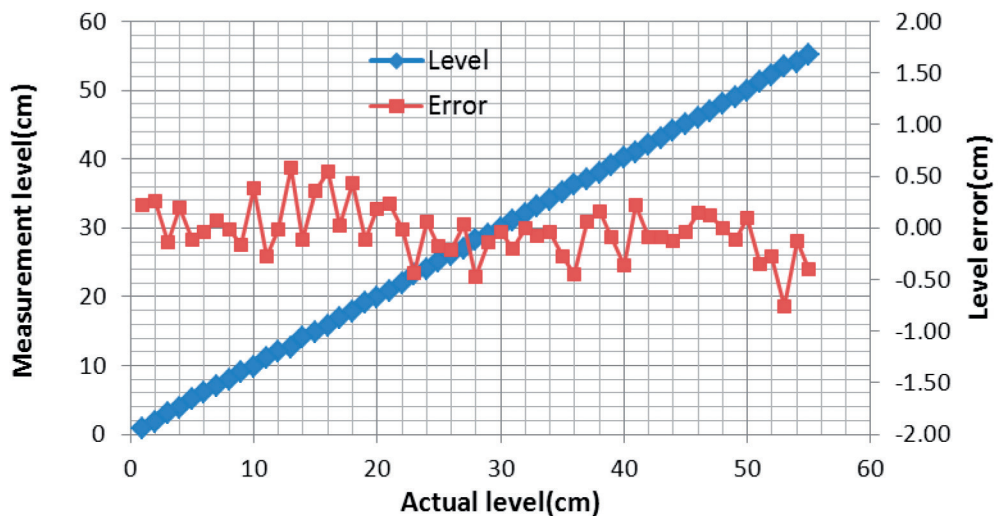
จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557



ภาพที่ 4 เครื่องมือวัดระดับน้ำที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความผิดพลาดในการวัด (Measurement error)

ในการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการวัดระดับน้ำด้วยเครื่องวัดระดับน้ำกับค่าระดับน้ำจริง ดังภาพที่ 4 ทำการทดลองโดยวัดระดับตั้งแต่ 0 ถึง 55 เซนติเมตร เพิ่มระดับน้ำครั้งละ 1 เซนติเมตร ทำการทดลองซ้ำจำนวน 30 ครั้ง มีผลการทดลองดังภาพที่ 5 พบว่า ค่าความผิดพลาดสูงสุด 0.42 เซนติเมตร ที่ระดับน้ำ 53 เซนติเมตร หรือคิดเป็นค่าความผิดพลาดสูงสุด 0.58% FSO และมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 0.11 เซนติเมตร ตลอดย่านวัด 0-55 เซนติเมตร

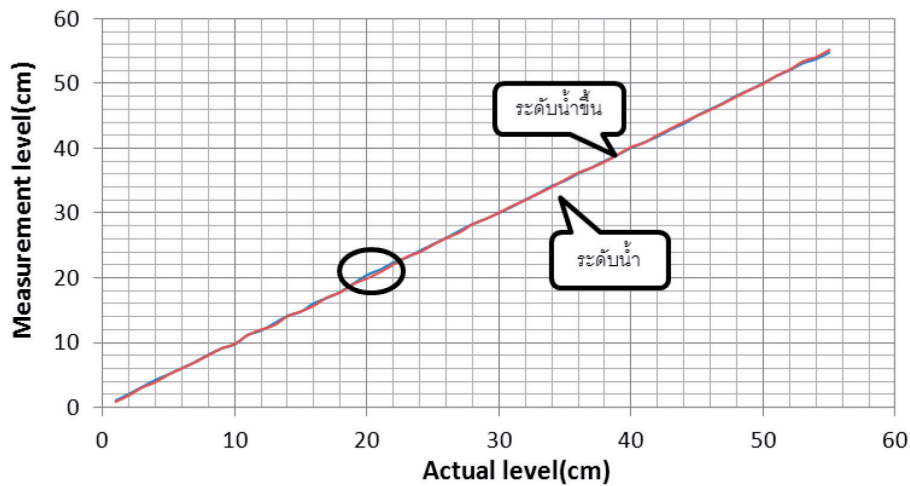


ภาพที่ 5 ค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าระดับน้ำที่วัดได้จากเครื่องวัดระดับน้ำ
กับค่าระดับน้ำจริง

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557

ค่าความผิดพลาดแบบฮิสเทอรีซิส (Hysteresis error)

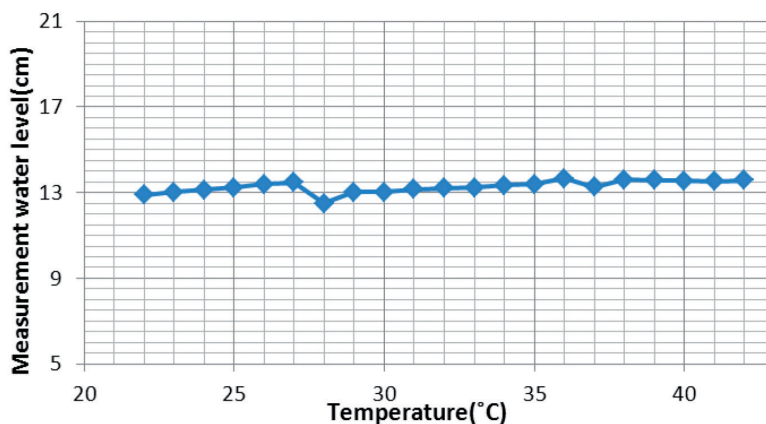
ในการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดแบบฮิสเทอรีซิสจะเป็นการทดลองวัดระดับน้ำด้วยเครื่องวัดระดับน้ำ โดยเพิ่มระดับน้ำและลดระดับน้ำครั้งละ 1 เซนติเมตร แล้วเปรียบเทียบกับระดับน้ำจริง ดังภาพที่ 6 เครื่องวัดระดับน้ำ มีค่าความผิดพลาดแบบฮิสเทอรีซิส 0.98% FSO ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร



ภาพที่ 6 ค่าความผิดพลาดแบบฮิสเทอรีซิสของเครื่องวัดระดับน้ำ

ผลของอุณหภูมิต่อการวัดระดับน้ำ

สำหรับการทดลองหาค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการวัดระดับน้ำด้วยเครื่องวัดระดับน้ำกับค่าอุณหภูมิตั้งแต่ 22 – 42 องศาเซลเซียส ที่เป็นอุณหภูมิปกติในชีวิตประจำวัน โดยวัดระดับน้ำที่ 13 เซนติเมตร ทำการทดลองซ้ำ 100 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 7 พบว่าอุณหภูมิในช่วง 23- 35 องศาเซลเซียสไม่ส่งผลกระทบต่อการวัดค่าระดับน้ำแต่จะมีแนวโน้มค่าความผิดพลาดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงและสูงขึ้นมีค่าความผิดพลาดสูงสุด 0.66 เซนติเมตร

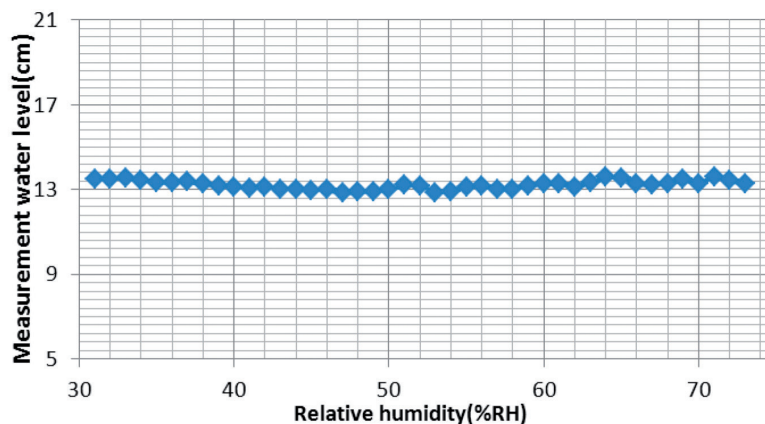


ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับระดับน้ำ เมื่อวัดที่ระดับน้ำระยะ 13 เซนติเมตร

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557

ผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการวัดระดับน้ำ

สำหรับการทดลองหาค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการวัดระดับน้ำด้วยเครื่องวัดระดับน้ำกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 31 – 73% RH ที่เป็นการขึ้นสัมพัทธ์ปกติในชีวิตประจำวัน โดยวัดระดับน้ำที่ 13 เซนติเมตร ทำการทดลองซ้ำ 100 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 8 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 35 – 63% RH ไม่ส่งผลกระทบต่อ การวัดค่าระดับน้ำแต่จะมีแนวโน้มค่าความผิดพลาดมากขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ลดลงและสูงขึ้นมีค่าความผิดพลาด สูงสุด 0.63 เซนติเมตร



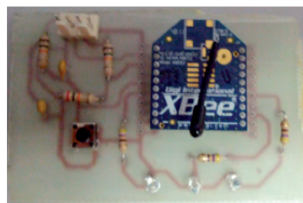
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์กับระดับน้ำ เมื่อวัดที่ระดับน้ำระยะ 13 เซนติเมตร

การออกแบบการใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้า

ศึกษาการทำงานของเครื่องวัดระดับน้ำให้รองรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ ในที่นี้ใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ทำการศึกษากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยกัน 3 ขนาดคือ 5, 10 และ 20 วัตต์ ตามลำดับพบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 วัตต์ สามารถใช้งานได้ปกติในกรณีที่มีท้องฟ้าปิดหรือไม่มีแสงแดดถึง 3 วัน

ผลกระทบจากการส่งข้อมูลของหัววัดผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย

ศึกษาผลกระทบจากการส่งข้อมูลผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายด้วยการเลือกใช้โมดูล XBee ความถี่ 2.4 GHz เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับส่งข้อมูลแบบไร้สาย โมดูลตัวแรกสำหรับการอ่านค่าระดับน้ำต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ และโมดูลตัวที่ 2 ต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อสำหรับอ่านค่าระดับน้ำ ภาพรูปที่ 9



ก. ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

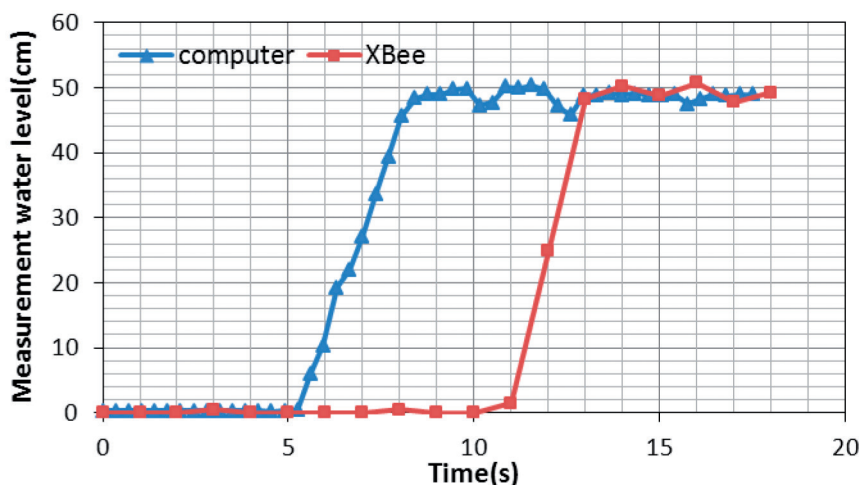


ข. ต่อกับคอมพิวเตอร์

ภาพที่ 9 โมดูล XBee ที่นำมาใช้งานในการรับส่งข้อมูล

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557

ทำการทดลองวัดค่าระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการวัดโดยการส่งผ่านข้อมูลที่อ่านค่าได้โดยตรงจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์กับ XBee พร้อมกัน ได้ผลการเปรียบเทียบ ดังภาพที่ 10 ได้ค่าเวลาที่ล่าช้า (Dead time) อยู่ 4.0 วินาที นั่นคือเวลาที่แตกต่างจากการวัดค่าระดับน้ำที่ได้มาจากการต่อสายโดยตรงและผลของข้อมูลที่ส่งสัญญาณไร้สายจาก XBee



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำเมื่อส่งผ่านข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าคอมพิวเตอร์
กับการส่งผ่านด้วยโมดูล XBee

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเครื่องวัดระดับน้ำที่ใช้หลักการวัดด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิกและทำการส่งสัญญาณไร้สายผ่านโมดูล XBee และได้ทำการทดลองวัดระดับน้ำเพื่อหาค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดระดับน้ำกับค่าระดับน้ำจริง ตั้งแต่ 0 ถึง 55 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร ได้ค่าความผิดพลาดสูงสุด 0.42 เซนติเมตร ที่ระดับน้ำ 53 เซนติเมตร หรือคิดเป็นค่าความผิดพลาดสูงสุด 0.58% FSO และมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 0.11 เซนติเมตร ค่าความ 8 ผิดพลาดแบบฮิสเทอรีซิส 0.98% FSO ที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้รองรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ได้ และเครื่องวัดระดับน้ำศึกษาผลกระทบจากการส่งข้อมูลผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย XBee ได้ค่าเวลาที่ล่าช้า (Dead time) 4.0 วินาที ดังนั้นจากผลการศึกษาสร้างการพัฒนาเครื่องวัดระดับน้ำเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเซนเซอร์ไร้สาย และสามารถตรวจวัดระดับน้ำได้อย่างต่อเนื่อง มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ใช้งานง่าย พกพาสะดวกอีกทั้งยังมีราคาถูก และมีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557

เอกสารอ้างอิง

- [1] Donlagic, D., Zavrnik, M. and Sirotic, I. (2000). "The use of one-dimensional acoustical gas resonator For fluid level measurements", **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, 49. 1095-1100.
- [2] Canbolat, H. (2009). "A Novel Level Measurement Technique Using Three Capacitive Sensors for Liquids", **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**. 58(10).
- [3] Chandra Bera, S., Kumar Ray, J. and Chattopadhyay, S. (2006). "A low cost noncontact capacitance type Level transducer for a conducting Liquid", **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**. 55(3).
- [4] Reverter, F., Li, X., and Meijer, G. (2007). Liquid-level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor. **Sensors and Actuators**. A 138.
- [5] Katathikarnkul, S. and Chetpattananondh, K. (2011). Water Level Measurement using Semicylindrical Capacitance measurement Technique. **KKU ENGINEERING JOURNAL**. 38 (In Thai).
- [6] Nikolov, G. and Nikolova, B. (2008). Virtual techniques for liquid level monitoring using differential pressure sensors. **RCENT**. 2(23), 9.
- [7] วิษณุ ศรีวงษา. **วัดระดับน้ำ 111 ปี**. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2557, จาก www.kromchol.com/kbase/doc/watermeter.pdf.