การพัฒนาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาล

Developing Microcontroller Board for Investigating Groundwater Volume

ระพีพัฒน์ สุวรรณภูมิ

Rapeepat Suvannapum

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2560

การพัฒนาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาล

Developing Microcontroller Board for Investigating Groundwater Volume

ระพีพัฒน์ สุวรรณภูมิ

Rapeepat Suvannapum

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2560

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อการค้นคว้าอิสระ	การพัฒนาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาล
ชื่อ นามสกุล	ระพีพัฒน์ สุวรรณภูมิ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระได้ให้ความเห็นชอบการค้นคว้าอิสระฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มีนคร)

..... กรรมการ
(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

..... กรรมการและที่ปรึกษา
(ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับการค้นคว้าอิสระฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง)
วันที่ ..12.. เดือน..ตุลาคม.. พ.ศ. ..2560..

ชื่อการค้นคว้าอิสระ การพัฒนาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาล
ชื่อ นามสกุล ระพีพัฒน์ สุวรรณภูมิ
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ และน้ำบาดาลเป็นทางเลือกในการช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลแหล่งน้ำผิวดิน บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ในเครือเบทาโกร ตั้งอยู่ในจังหวัดลพบุรี ใช้น้ำบาดาลเป็นปริมาณมากในการขับเคลื่อนกระบวนการผลิตของโรงงานในแต่ละวัน การวัดและจดบันทึกค่าระดับน้ำบาดาลที่มีอยู่ในบ่อ 2 แห่งตามปริมาตรของน้ำ ณ จุดเวลาของทุก 3 ชั่วโมงต้องทำต่อเนื่องทุกวันเพื่อป้องกันการขาดแคลนน้ำที่ใช้ป้อนเข้าสู่โรงงานจนส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของโรงงานได้ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นมีสาเหตุหลักมาจากการหยุดทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลต่างๆ ที่ไม่สามารถคาดคะเนได้ การทราบถึงระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้สามารถเร่งปรับปรุงแก้ไขและทำให้เครื่องสูบน้ำบาดาลกลับมาใช้งานได้ตามปกติอย่างรวดเร็ว จึงไม่ส่งผลกระทบหรือส่งผลกระทบต่อโรงงานได้น้อยที่สุด การพิจารณาใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลจะช่วยทำให้บริษัทฯ สามารถติดตามระดับน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำได้อย่างใกล้ชิดแบบเวลาจริงและต่อเนื่อง โดยการศึกษาในครั้งนี้ทำการต่อยอดการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการจัดการระบบสาธารณูปโภคและซ่อมบำรุงจากการออกแบบใช้เครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำร่วมกับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบไร้สายเพื่อทำการทดสอบการวัดและเก็บรวบรวมปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำทุก 3 ชั่วโมงทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 รวมระยะเวลา 40 วัน โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยมือในช่วงเวลาเดียวกัน ผลการศึกษาพบว่าค่าที่วัดและเก็บรวบรวมด้วย 2 วิธีมีความใกล้เคียงและมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จำลองขึ้นสามารถนำมาใช้ควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลโดยอัตโนมัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเครื่องสูบน้ำบาดาลของบริษัทฯ มีประสิทธิภาพในการทำงานโดยรวมได้ตามปกติ ซึ่งบริษัทฯ สามารถนำมาใช้ติดตามระดับน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำได้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้น้ำในแต่ละช่วงเวลาที่ผ่านมาในการป้องกันผลกระทบจากการหยุดชะงักของกระบวนการผลิตที่เกิดจากการมีปริมาณน้ำบาดาลใช้ไม่เพียงพอ และยังเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้เพื่อการพัฒนาขององค์กรอื่นๆ และการศึกษาต่อยอดอีกด้วย

คำสำคัญ: บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ระดับปริมาตรน้ำบาดาล การเฝ้าติดตามแบบเวลาจริง

Independent Study Title Developing Microcontroller Board for Investigating Groundwater Volume
Author Rapeepat Suvannapum
Degree Degree Master Degree of Engineering
Major program Department of Sustainable Industrial Management Engineering (Graduate Studies) Faculty of Engineering
Academic Year 2016

ABSTRACT

Water became an important factor for propelling production process of any industries or factories and groundwater was option for production cost reduction, especially in areas where had no surfacewater. B.Foods Product International Company Limited, an affiliate of Betagro Group, was located in Lop Buri Province to daily consume huge quantity of groundwater for production process in its factory. Measuring and recording levels of groundwater in 2 ground tanks related to volume of the water at time point of every 3 hours must continually be done every day in order to prevent lack of water fed into the factory that may impact of its production process. The main problem was caused of unexpected non-working of pumps. Knowing fluctuation of water levels could provide their immediate improvement and recover to avoid serious impacts. A microcontroller board could be employed to control groundwater volume in order that the company could closely follow up levels of groundwater in the ground tanks in real time and continuity. This study went on designing the microcontroller board for managing utility system and maintenance by using with level meter and wireless receiver and transmitter for testing working efficiency every 3 hours of each everyday during 1 February 2016 till 11 March 2016, totally 40 days. It was compared with those of same duration done manually. The findings revealed that the figured from 2 methods became similar and had very close relationship with each other. This could indicate that the simulated microcontroller board could be employed to automatically control groundwater volume efficiently. The company could bring it to appropriately trace levels of groundwater in the tanks in accordance with water usage behavior in each period of time for disruption of production process caused of insufficient quantity of groundwater. And, this could be adaptable benefits for improvement of any organizations and also for any further studies.

Keywords: Microcontroller Board, Groundwater Volume, Real Time Monitoring

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐและ ผศ. สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาและการควบคุมจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านอย่างสูง และขอขอบคุณบริษัท บี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัดที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และให้ความร่วมมือประสานงานเป็นอย่างดีมีส่วนช่วยส่งเสริมให้ศึกษาสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตามที่กำหนดไว้ และขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวและเพื่อนๆ ทุกท่านที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนต่างๆ คุณค่าและประโยชน์ที่พึงได้รับจากการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นความกตัญญูกตเวทิตาให้แก่บิดามารดาตลอดจนบูรพาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอน และประสิทธิประสาทวิชาให้ ซึ่งผู้วิจัยได้นำมาพัฒนาการทำงานให้เป็นประโยชน์ทั้งแก่ตนเองและผู้อื่น

ระพีพัฒน์ สุวรรณภูมิ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
Abstract	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญภาพ	(ช)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 กรอบแนวความคิด	4
1.5 สมมติฐานการวิจัย	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ	6
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและการศึกษาอุตสาหกรรม	7
2.1 แนวคิดและข้อมูลเกี่ยวกับน้ำดาบาล	7
2.2 แนวคิดเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์	11
2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับบริษัทกรณีศึกษา	13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 การออกแบบระบบและวิธีการดำเนินงานวิจัย	21
3.1 การออกแบบระบบ	21
3.2 ระเบียบวิธีวิจัย	23
3.3 พื้นที่ศึกษา	23
3.4 เครื่องมือวิจัย	24
3.5 กลุ่มตัวอย่าง	28
3.6 สถิติที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 4 กระบวนการทดลอง	30
4.1 การเตรียมตัวก่อนทำการทดสอบ	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ขั้นตอนการศึกษา	36
4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	38
บทที่ 5 ผลการศึกษา	39
5.1 ผลการศึกษาเกี่ยวกับระดับปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้	39
5.2 ผลการศึกษาของกระบวนการทำงานที่ปรับแล้ว	41
5.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทำงาน	43
5.4 ผลการทดสอบสมมติฐาน	47
บทที่ 6 อภิปรายผล	48
บทที่ 7 สรุปผล	50
บทที่ 8 แผนการนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์	52
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก	58
ภาคผนวก ข	72
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	85

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

5.1 แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมโดยการจดบันทึกตามปกติแบบราย 3 ชั่วโมงต่อเนื่องทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (N = 320 หน่วย: ลูกบาศก์เมตร) 40

5.2 แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ทุกๆ 3 ชั่วโมงต่อเนื่องทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (N = 320 หน่วย: ลูกบาศก์เมตร) 41

5.3 แสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และที่วัดด้วยการจดบันทึกตามปกติ (N = 320) 47

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1.1	กรอบแนวความคิด	4
2.1	โครงสร้างการดำเนินงานของบริษัทในกลุ่มเบทาโกร	14
2.2	ผังการประกอบกิจการครบวงจรในเครือเบทาโกร	15
2.3	เส้นทางในการตรวจสอบระบบผลิตน้ำบาดาลภายในของบริษัทฯ	16
2.4	ผังของ 3 โรงงาน (BTG LR1, LR2 และ LR3) และ 2 บ่อน้ำบาดาลหลัก (GT BTG 1400 และ GT BTG 600)	17
2.5	ผังของโรงงาน BTG LR4	17
2.6	บ่อน้ำบาดาลย่อย (บ่อที่ 6)	18
2.7	บ่อน้ำบาดาลย่อย (บ่อที่ 7)	18
3.1	ผังการทำงานตามปกติ	22
3.2	ผังขั้นตอนการดำเนินโครงงาน	23
3.3	โปรแกรม Arduino-1.6.9-windows	26
3.4	โปรแกรม EditPlus	26
3.5	โปรแกรม Apache AppServ	27
3.6	โปรแกรม FileZilla Client	28
4.1	องค์ประกอบต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดที่ใช้ทดสอบ	31
4.2	การเชื่อมต่อของเครื่องมือวิจัยที่ใช้ในโครงงาน	32
4.3	การเจาะช่องไว้เชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ฝาปิดบ่อเล็ก (GT BTG600)	32
4.4	ฝาปิดบ่อเล็ก (GT BTG600) ที่เจาะช่องไว้เชื่อมต่ออุปกรณ์แล้ว	33
4.5	การติดตั้งเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำบนบ่อเล็ก (GT BTG600)	33
4.6	เครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำที่ติดตั้งบนบ่อเล็ก (GT BTG600) เสร็จแล้ว	34
4.7	การต่อสายจากเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำ	34
4.	เครื่องรับส่งสัญญาณแบบไร้สายที่ติดตั้งอยู่เหนือบ่อเสร็จแล้ว	35
4.9	ตัวอย่างการทดลองโปรแกรมและชิ้นงาน	36
4.10	ขั้นตอนการทดสอบโครงงาน	37
5.1	กราฟแสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมโดยการจดบันทึกตามปกติระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 จำแนกตามรายบ่อพักน้ำและโดยรวม (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
5.2	กราฟแสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 จำแนกตามรายบ่อพักน้ำและโดยรวม (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)	42
5.3	กราฟแสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำขนาดใหญ่ (GT BTG 1400) เชิงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการจดบันทึกตามปกติและเก็บด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)	43
5.4	กราฟแสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำขนาดเล็ก (GT BTG 600) เชิงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการจดบันทึกตามปกติและเก็บด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)	44
5.5	กราฟแสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำโดยรวมเชิงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการจดบันทึกตามปกติและเก็บด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)	45
5.6	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บด้วยการจดบันทึกตามปกติและด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)	46
5.7	Boxplot of Current model, New Design	47
5.8	Individual Value Current model, New Design	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเป็นปัจจัยที่จำเป็นและมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยมนุษย์ใช้ประโยชน์จากน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค เกษตรกรรร และอุตสาหกรรม ในปัจจุบันมีหลายพื้นที่ในประเทศไทยที่ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำโดยเฉพาะในช่วงภัยแล้งที่ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล การป้องกันจากการกักเก็บน้ำผิวดินต้องใช้พื้นที่ในการกักเก็บจำนวนมากและมีต้นทุนที่สูงมาก และถึงแม้ภาครัฐได้ลงทุนพัฒนาระบบชลประทานเพื่อช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าว แต่ปริมาณก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของพื้นที่เกษตรกรรม การสูบน้ำบาดาลในระดับตื้นที่มีความลึกไม่เกิน 100 เมตรจึงกลายเป็นอีกทางเลือกของแหล่งน้ำ ซึ่งมีการหมุนเวียนตามวัฏจักรของน้ำ หากไม่มีการวางแผนนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้อย่างถูกหลักวิชาการก็อาจส่งผลทำให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมาได้ เนื่องจากการใช้น้ำบาดาลมากเกินไปกว่าปริมาณน้ำที่ธรรมชาติสามารถซึมคืนลงสู่ชั้นน้ำได้ส่งผลทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน

น้ำบาดาลเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่สำคัญต่อทั้งภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่ไม่มีน้ำผิวดิน น้ำบาดาลได้รับความนิยมใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคอย่างแพร่หลาย ซึ่งปริมาณการใช้น้ำบาดาลจริงตามใบอนุญาต ณ วันที่ 31 กรกฎาคม 2555 ทั่วประเทศรวมทั้งสิ้น 1,339,313 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จำแนกออกเป็นเพื่อธุรกิจ 795,724 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เพื่ออุปโภคบริโภค 339,481 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเพื่อเกษตรกรรม 204,108 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยพื้นที่ภาคกลางใช้น้ำในปริมาณมากที่สุดหรือเท่ากับ 664,648 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งรวมเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล 7 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นครปฐม นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ สมุทรสาคร และพระนครศรีอยุธยา ใช้น้ำบาดาลรวมทั้งสิ้น 238,557 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2556) โดยแหล่งน้ำบาดาลมักถูกทำให้สกปรกหรือเป็นมลภาวะได้ยากกว่าน้ำผิวดิน จึงทำให้น้ำบาดาลมีคุณสมบัติ ส่วนประกอบทางเคมี และอุณหภูมิคงที่ และมักไม่มีสี ไม่ขุ่น อีกทั้งมักปราศจากจุลินทรีย์ที่เป็นพาหนะนำเชื้อโรคต่างๆ อย่างไรก็ตาม การขุดเจาะน้ำบาดาลมาใช้มักก่อให้เกิดปัญหาการทรุดตัวของชั้นดินที่เป็นผลมาจากความดันน้ำในดินที่มีส่วนช่วยพยุงเนื้อดินลดลงและชั้นดินอัดตัวเข้าหากันตามมา (สุรพล, 2534)

บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (2558) ในเครือเบทาโกร (2559) ประกอบธุรกิจเกี่ยวกับอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปไก่สดและไก่ปรุงสุกแช่แข็งเพื่อจำหน่ายภายในประเทศและส่งออก ซึ่งมีฐานการผลิตเต็มรูปแบบตั้งอยู่เลขที่ 39 หมู่ 5 ถนนสระบุรี-หล่มสัก ตำบลช่องสาริกา อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี ได้เลือกใช้น้ำบาดาลเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมมานานกว่า 26 ปีตั้งแต่ในปี 2533 เพื่อลดต้นทุนการผลิตจากการใช้น้ำจากการประปาส่วนภูมิภาค โดยสามารถประหยัดต้นทุนการผลิตด้านสาธารณูปโภคประเภทน้ำได้มากกว่าร้อยละ 80 และสามารถประหยัดได้มากขึ้นตามปริมาณน้ำที่ใช้เพิ่มขึ้น ในปี 2558 บริษัทฯ สามารถสูบน้ำบาดาลได้ทั้งปีรวม 3,396,322 ลูกบาศก์เมตรและใช้น้ำบาดาลไปทั้งปีรวม 3,113,302 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 91.67 ของปริมาณน้ำที่สูบได้

ในปัจจุบัน บริษัทฯ มีกำลังการผลิตน้ำบาดาลโดยรวมสูงสุดได้ประมาณวันละ 27,360 ลูกบาศก์เมตร หรือมีกำลังการผลิตน้ำบาดาลโดยเฉลี่ยต่อบ่อ เท่ากับ 60 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งบริษัทฯ ใช้บ่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว กระจายห่างกันประมาณ 400-500 เมตรจากรัศมีโดยรอบ รวม 12 บ่อ สำหรับขุดเจาะและสูบน้ำบาดาลป้อนส่งโรงงานที่ตั้งอยู่ในเนื้อที่ของบริษัทฯ ที่มีการควบคุมดูแลตลอดเวลาโดยอยู่ห่างจากโรงงานประมาณ 3 กิโลเมตร ในการควบคุมการสูบและการส่งน้ำบาดาลที่ได้ บริษัทฯ ให้ความสำคัญทั้งในด้านปริมาณและด้านคุณภาพของน้ำบาดาลที่สูบได้ โดยได้จัดทีมงานรับผิดชอบทำการตรวจสอบน้ำบาดาลในแต่ละบ่อทุก 3 ชั่วโมง รวมวันละ 8 รอบ และทำการตรวจระดับน้ำบาดาลที่ได้ในแต่ละบ่อทุกเช้าและเย็น เพื่อสร้างความมั่นใจว่าโรงงานจะมีระดับน้ำเพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งขั้นตอนการตรวจวัดระดับน้ำบาดาลมีความยุ่งยากและใช้เวลามากจนกว่าจะดำเนินการได้ครบทุกบ่อ อย่างไรก็ตาม ปัญหาจากเหตุการณ์ที่ผ่านมาเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่สูบได้ไม่เพียงพอต่อการใช้งานในแต่ละช่วงจนส่งผลทำให้โรงงานไม่สามารถดำเนินการผลิตต่อไปได้และทำให้บริษัทฯ ได้รับความเสียหายเป็นอย่างมากมาจากการหยุดทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลที่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาและไม่สามารถประเมินหรือคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าได้ ทั้งนี้ เกณฑ์ปริมาตรน้ำบาดาลขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในแต่ละบ่อต้องสูบน้ำได้ไม่น้อยกว่า 60 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงในทุกขณะ จึงจะไม่ส่งผลกระทบทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงัก (บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, 2559)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการใช้น้ำบาดาลต่อกระบวนการผลิตของบริษัทฯ และเกณฑ์ปริมาตรน้ำบาดาลขั้นต่ำที่สูบได้สำหรับป้อนสู่โรงงาน ในขณะที่ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี โดยเฉพาะอุตสาหกรรมด้านเครื่องจักรกลและชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความสำคัญต่อการขับเคลื่อนกลไกต่างๆ ให้ทำงานได้ตามที่ต้องการ โดยเฉพาะการทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลที่จำเป็นต้องมีการควบคุมให้ทำงานเป็นปกติเพื่อรักษาปริมาตรน้ำบาดาลขั้นต่ำให้ได้ไว้อยู่ตลอดเวลา โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกนำเข้ามาช่วยในการควบคุมการทำงานดังกล่าวได้อย่าง

มีประสิทธิภาพและแม่นยำ จึงเลือกศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ควบคุมโปรแกรมการสั่งงานระบบที่มีความซับซ้อนได้อย่างลงตัว โดยสามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอลเข้าไปแล้วทำการประมวลผลเพื่อส่งผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อมูลดิจิตอลสำหรับการนำไปใช้งานได้ตามที่ต้องการ (อนุชา และคณะ, 2551) เพื่อใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติสำหรับส่งค่าที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดระดับปริมาณน้ำที่ติดตั้งไว้ภายในแต่ละบ่อไปให้ตัวรับสัญญาณที่ติดตั้งไว้ที่ป้อมรักษาการณ์ของบริเวณบ่อขุดเจาะน้ำบาดาลสำหรับส่งข้อมูลต่อไปบันทึกและแสดงผลที่จอภาพในห้องปฏิบัติการของโรงงานที่มีผู้ควบคุมดูแลตลอด 24 ชั่วโมงอยู่แล้ว ส่งผลทำให้บริษัทฯ สามารถลดภาระการจ้างผู้ตรวจวัดปริมาตรน้ำ 3 คนเพื่อสลับเวรกันปฏิบัติหน้าที่ทุก 3 ชั่วโมงสำหรับ 3 กะต่อวันได้ ทำให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดและทันต่อสถานการณ์ปัจจุบันอย่างต่อเนื่องภายใต้การควบคุมดูแลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยผู้ควบคุมในห้องปฏิบัติการ โดยสามารถตั้งความถี่ในการวัดบันทึก และแสดงผลลงในโปรแกรมได้ตามความต้องการ เช่น ทุกนาทีหรือ 5 นาที ทุกครึ่งชั่วโมงหรือชั่วโมง เป็นต้น และยังทำให้สามารถเร่งแก้ปัญหาการหยุดทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลให้สามารถทำงานได้เป็นปกติต่อไปไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของโรงงานและไม่เกิดการสูญเสียจากการปิดระบบตลอดไป นอกจากนี้ หากปริมาตรน้ำบาดาลในแต่ละบ่อมีมากเพียงพออาจจะพิจารณาให้เครื่องสูบน้ำบาดาลได้หยุดพักจากการเดินเครื่องต่อเนื่องเป็นเวลายาวนานและเดินเครื่องใช้งานใหม่เมื่อระดับน้ำในถังจัดเก็บลดลงจนใกล้ถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้จากการอ้างอิงค่าที่แสดงไว้เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องสูบน้ำบาดาลต่างๆ ได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติจากการเปรียบเทียบค่าที่จดบันทึกได้ในช่วงเวลาเดียวกัน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและสร้างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติต้นแบบที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาตรน้ำบาดาลโดยรวมในบ่อเก็บน้ำระหว่างค่าที่จดบันทึกไว้จากลูกดิ่งวัดระดับที่บริษัทฯ ใช้

แบบเดิมตามปกติกับค่าที่ส่ง บันทึก และแสดงผ่านการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนการศึกษาถึงสถานะการทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลต่างๆ

1.3.2 ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาเป็นชุดข้อมูลแสดงค่าระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำบ่อใหญ่ (GT BTG1400) และบ่อเล็ก (GT BTG600) แบบราย 3 ชั่วโมงที่เก็บรวบรวมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอัตโนมัติและจดบันทึกไว้ตามปกติระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 รวม 40 วันๆ ละ 8 ครั้ง ชุดข้อมูลประเภทละ 320 ตัวอย่างเท่ากัน

1.3.3 ขอบเขตด้านสถานที่

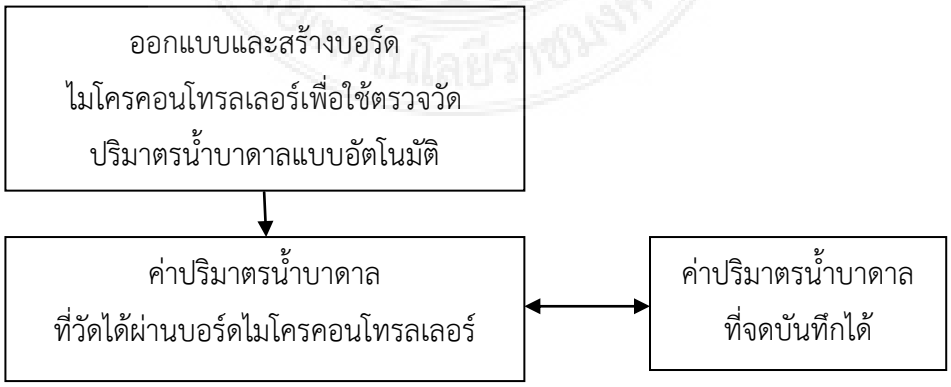
พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาเป็นบริเวณภายในบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัดลพบุรี แยกออกเป็น 2 พื้นที่หลัก ได้แก่ ส่วนของบ่อเก็บน้ำ และส่วนของห้องปฏิบัติการ

1.3.4 ขอบเขตด้านเวลา

การศึกษาครอบคลุมระยะทั้งสิ้นประมาณ 14 เดือนระหว่างเดือนมกราคม 2559 ถึงมีนาคม 2560 โดยทำการทดสอบเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม 2559

1.4 กรอบแนวความคิด

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องนำไปสู่การศึกษาเพื่อออกแบบและสร้างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติ โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่ตรวจวัดได้แบบอัตโนมัติค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกได้ในช่วงเวลาเดียวกันเพื่อตรวจสอบค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติและที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เหมือนกันหรือมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถกำหนดเป็นแนวความคิดได้ ดังนี้



ภาพ 1.1 กรอบแนวความคิด

จากส่วนล่างของกรอบแนวความคิดตามวัตถุประสงค์ที่ 2 สามารถนำมากำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติและที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จำแนกออกตามรายบ่อ (GT BTG1400 & GT BTG600) และโดยรวมเพื่อใช้ทดสอบสมมติฐานได้ ดังนี้

ชุด 1 สำหรับ GT BTG1400 $H_0 : \mu^1 = \mu^2$

$H_1 : \mu^1 \neq \mu^2$

เมื่อ H_0 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติไม่มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของบ่อ GT BTG1400

H_1 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติมีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของบ่อ GT BTG1400

μ^1 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติของบ่อ GT BTG1400

μ^2 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของบ่อ GT BTG1400

ชุด 2 สำหรับ GT BTG600 $H_0 : \mu^1 = \mu^2$

$H_1 : \mu^1 \neq \mu^2$

เมื่อ H_0 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติไม่มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของบ่อ GT BTG600

H_1 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติมีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของบ่อ GT BTG600

μ^1 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติของบ่อ GT BTG600

μ^2 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของบ่อ GT BTG600

ชุด 3 สำหรับ GT BTG1400 $H_0 : \mu^1 = \mu^2$

และ GT BTG600 รวมกัน $H_1 : \mu^1 \neq \mu^2$

เมื่อ H_0 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติไม่มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของ 2 บ่อโดยรวม

H_1 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติมีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของ 2 บ่อโดยรวม

μ^1 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติของ 2 บ่อโดยรวม

μ^2 หมายถึง ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของ 2 บ่อโดยรวม

1.5 สมมติฐานการวิจัย

ในการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติ ผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับที่จดบันทึกไว้และทำการยอมรับความคาดเคลื่อนในระดับร้อยละ 1 จึงได้กำหนดสมมติฐานสำหรับใช้ในการทดสอบไว้ ดังนี้

ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกได้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ผลการศึกษาที่ได้จะได้นำมาใช้พัฒนาเครื่องตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อพักน้ำของโรงงานบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัดแบบอัตโนมัติได้ ทำให้สามารถช่วยบริษัทฯ ลดความเสี่ยงจากปัญหา ระดับน้ำบาดาลต่ำกว่าปริมาตรน้ำบาดาลขั้นต่ำตามที่กำหนดไว้จนส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตได้

1.6.2 ผลการศึกษายังสามารถไปใช้อ้างอิงเพื่อใช้นำร่องหรือต่อยอดการศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ทางวิชาการต่อไป

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

น้ำดาบาล หมายถึง น้ำที่กักเก็บอยู่ใต้ดินตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถสูบขึ้นมาเก็บไว้ในบ่อพักสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม โดยในที่นี้เป็นการศึกษาน้ำบาดาลจาก 2 บ่อของโรงงานบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ได้แก่ บ่อเก็บน้ำบ่อใหญ่ (GT BTG1400) และบ่อเล็ก (GT BTG600)

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ หมายถึง เครื่องตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อพักน้ำแบบอัตโนมัติที่ออกแบบและสร้างขึ้นโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมหลัก

บริษัทกรณีศึกษา หมายถึง บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัดที่ใช้น้ำบาดาลสำหรับขับเคลื่อนกระบวนการผลิตของโรงงาน โดยยังใช้วิธีการจดบันทึกระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อพักน้ำโดยใช้แรงงานคนแบบเดิมอยู่

การตรวจสอบ หมายถึง การส่งและบันทึกค่า แล้วแสดงผลผ่านการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องปั๊มน้ำบาดาลและระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อพักน้ำให้เป็นไปอย่างปกติตามที่ต้องการแบบอัตโนมัติ

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและการศึกษาอุตสาหกรรม

ในการศึกษาการพัฒนาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาล ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางกำหนดแนวทางการศึกษาในครั้งนี้ โดยครอบคลุมเนื้อหาต่างๆ ดังนี้

2.1 แนวคิดและข้อมูลเกี่ยวกับน้ำดาบาล

2.2 แนวคิดเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับบริษัทกรณีศึกษา

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและข้อมูลเกี่ยวกับน้ำดาบาล

2.1.1 ประเภทของน้ำตามธรรมชาติ

แหล่งน้ำธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ น้ำฟ้า ซึ่งหมายถึงน้ำที่อยู่ในชั้นบรรยากาศที่อยู่สูงกว่าระดับผิวดินขึ้นไป น้ำผิวดิน ซึ่งหมายถึงน้ำที่ถูกกักเก็บบนผิวดินตามแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ บ่อ และสระต่างๆ และน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล ซึ่งหมายถึงน้ำบางส่วนจากผิวดินไหลซึมลงไปถูกกักเก็บไว้ในดินและหิน (วิทิต, 2543)

แหล่งน้ำทั้งหมดบนโลกส่วนใหญ่เป็นแหล่งน้ำเค็มถึงร้อยละ 97.20 ที่เหลือรวมประมาณร้อยละ 2.80 เป็นแหล่งน้ำจืดและน้ำกร่อย ซึ่งในปริมาณนี้เป็นน้ำบาดาลที่ระดับความลึกถึง 4,000 เมตรมีประมาณร้อยละ 0.61 (วสันต์, 2552)

2.1.2 การกระจายตัวและการเคลื่อนที่ของน้ำบาดาล

เมื่อฝนตกลงพื้นดิน น้ำฝนจะไหลไปตามผิวดิน บางส่วนเกิดการระเหย บางส่วนถูกพืชดึงไปใช้ และบางส่วนซึมผ่านลงไปกักเก็บไว้ใต้ผิวดินกลายเป็นน้ำใต้ดิน ซึ่งปริมาณน้ำในแต่ละส่วนไม่คงที่ แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่ทั้งในส่วนของลักษณะของพื้นผิว ความลาดชันของพื้นที่ ชนิดของพืชในพื้นที่ และความรุนแรงหรือปริมาณของฝน กล่าวคือ พื้นที่ที่มีความชันมากจะทำให้น้ำซึมผ่านได้ยาก ปริมาณน้ำที่ไหลตามผิวดินกลับมีมาก ในทางตรงกันข้าม บริเวณที่มีความชันน้อย มีชั้นดูดซึมน้ำได้ดีรองรับอยู่ ปริมาณน้ำที่ซึมผ่านลงไปใต้ผิวดินจะมาก โดยน้ำบางส่วนที่ซึมผ่านลงไปใต้ผิวดินจะถูกดูดซับไว้ด้วยอนุภาคของดินและระเหยกลายเป็นไอกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศ ในขณะที่น้ำบางส่วนถูกดูดซึมโดยพืช สำหรับน้ำที่เหลือจะไหลลงสู่ด้านล่างไปยังบริเวณกักเก็บซึ่งอยู่ระหว่างเม็ด

ตะกอนเรียกว่าน้ำบาดาล น้ำบาดาลจึงถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในวัฏจักรของน้ำที่ถูกกักขังอยู่ภายในช่องว่างใต้ผิวดินจนเต็มช่องว่าง และส่วนที่อยู่เหนือน้ำบาดาลมีช่องว่างบางส่วนที่มีน้ำและอากาศอยู่ (วจี และ สมชัย, 2542; สุกัญญา, 2550)

ปริมาณของน้ำที่กักเก็บและการไหลของน้ำบาดาลจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติหรือความพรุนของวัสดุใต้ผิวดิน ซึ่งความพรุนเป็นอัตราส่วนของช่องว่างที่มีอยู่ในวัสดุต่อปริมาตรของวัสดุนั้น โดยความสามารถในการไหลผ่านวัตถุของน้ำขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ ซึ่งหินหรือตะกอนที่มีช่องว่างขนาดเล็กค่าความเร็วในการไหลผ่านของน้ำจะน้อย และหากช่องว่างมีขนาดเล็กมาก น้ำที่อยู่ในช่องว่างจะถูกยึดติดกับเม็ดตะกอนทำให้น้ำไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ ในขณะที่วัตถุขนาดใหญ่อย่างเช่นเม็ดทรายหรือกรวดที่มีช่องว่างขนาดใหญ่ น้ำจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้โดยสะดวก อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนที่ของน้ำบาดาลเป็นไปอย่างช้ามากแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ (สามารถ, 2550)

แหล่งน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่มีลักษณะแตกต่างกันไปเป็นผลทำให้มีศักยภาพหรือปริมาณของน้ำบาดาลที่แตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมทางอุทกธรณีวิทยา การจัดแบ่งแหล่งน้ำบาดาลของประเทศไทยจึงแบ่งออกตามเขตพื้นที่น้ำบาดาลเพื่ออำนวยความสะดวกต่อการศึกษาศักยภาพของแหล่งน้ำบาดาลและการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาล โดยแบ่งออกแบ่ง 6 พื้นที่ตามสภาพทางภูมิศาสตร์และธรณีวิทยาโครงสร้าง ได้แก่ แหล่งน้ำบาดาลเขตพื้นที่สูงในภาคเหนือและเทือกเขาในภาคตะวันตก แหล่งน้ำบาดาลในเขตพื้นที่ภาคกลางตอนบน แหล่งน้ำบาดาลในเขตพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนใต้ แหล่งน้ำบาดาลในเขตพื้นที่ราบสูงโคราช แหล่งน้ำบาดาลในเขตพื้นที่ภาคตะวันออก และแหล่งน้ำบาดาลในเขตพื้นที่ภาคใต้ (วสันต์, 2552; วจี และ สมชัย, 2542)

2.1.3 แนวคิดเกี่ยวกับบ่อน้ำบาดาล

บ่อน้ำบาดาลเป็นเครื่องมือที่ใช้สูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บน้ำจากน้ำบาดาลที่มีระดับลดลงในช่วงฤดูแล้งและสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำบาดาลจึงมักมีความสัมพันธ์ต่อกัน การขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลมักใช้เครื่องมือขุดเจาะทำเป็นบ่อดินเหนียวหรือซีเมนต์เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากน้ำในชั้นอื่นๆ และใส่ยากันซึมไว้โดยรอบด้วย น้ำบาดาลที่ได้ค่อนข้างใสอุดมไปด้วยแร่ธาตุทั้งที่มีประโยชน์และเป็นโทษต่อร่างกายของมนุษย์ (สามารถ, 2550)

2.1.4 แนวคิดเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำบาดาล

เครื่องสูบน้ำหรือปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์สาหรับขับเคลื่อนของเหลวหรือก๊าซผ่านทางระบบท่อปิดไปสู่จุดหมายการใช้งานที่ต้องการด้วยการเพิ่มความดันและพลังงานให้แก่ของไหลนั้นๆ ทำให้ของเหลวนั้นๆ เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หรือจากระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง หลักการที่สำคัญของเครื่องสูบน้ำในการสูบน้ำเป็นการที่ใบจักรถูกแรงบิดของเพลาบิดให้เครื่องที่รอบแกนเพลาด้วยความเร็วสูงในก้อนของเหลว บานกังหันจะเบียดกับของเหลวทำให้ของเหลววิ่งเร็วขึ้น และมี

ความเร็วเชิงมุมสูงขึ้น มีหัวความดันสูง เมื่อหลุดออกจากช่องของบานกังหันแล้วก็ยังวิ่งด้วยความเร็วสูงต่อไป แต่กลไกที่ใช้ในการเพิ่มพลังงานให้ของเหลวไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะใบพัด อาจเป็นได้ทั้งใบพัด เกลียว ลูกสูบ ไดอะแฟรม เฟือง และกลไกอื่นๆ ซึ่งสามารถถ่ายทอดพลังงานให้กับของเหลวได้ โดยเครื่องสูบน้ำแต่ละแบบมีความเหมาะสมในการใช้งานแตกต่างกันออกไป โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบหลัก ได้แก่ แบบแยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวหรือการไหลของของเหลวในปั๊ม เช่น ประเภทแบบปั๊มแรงเหวี่ยง ประเภทโรตารี่ ประเภทลูกสูบ และประเภทพิเศษ เป็นต้น และแบบแยกตามลักษณะการขับดันของเหลวในปั๊ม เช่น ปริมาตรแทนที่เชิงบวกหรือแทนที่โดยตรง และไคเนติกส์หรือปริมาตรแทนที่ไม่เชิงบวก เป็นต้น (ณัฐพล และ คณะ, 2557)

2.1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการใช้น้ำบาดาล

น้ำบาดาลที่สูบมาใช้ได้หลากหลายประโยชน์ทั้งในด้านการอุปโภคบริโภค เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นเรื่องยากในการหาแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่หนึ่งๆ ในขณะที่การสูบน้ำบาดาลระดับตื้นเพื่อการอุโภคบริโภคและเกษตรกรรมที่ได้รับการยกเว้นการจัดเก็บค่าน้ำ ทำให้ไม่มีหน่วยงานภาครัฐทำการจดบันทึกปริมาณการสูบน้ำบาดาลในระดับตื้นไว้ตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ.2520 (สุกัญญา, 2550)

ความต้องการใช้น้ำดาบาลในประเทศไทยจำแนกออกเป็น 3 ส่วน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549) ดังนี้

2.1.5.1 ปริมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภค

เป็นปริมาณการใช้น้ำบาดาลในปี 2544 จากการรวบรวมข้อมูลของการประปาส่วนภูมิภาคที่มี 543 แห่งใช้ 147.61ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ประปาสัมปทานที่ใช้ 180.79 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ประปาหมู่บ้านที่มี 54,020 แห่งใช้ 407.21ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และฐานข้อมูลบ่อน้ำบาดาลและบ่อน้ำตื้นของคณะกรรมการพัฒนาชนบทแห่งชาติที่ 2ค พ.ศ.2544 มีจำนวนร้อยละ 75 ของบ่อทั้งหมดใช้ในปริมาณเฉลี่ย 709 ลิตรต่อบ่อต่อวัน

2.1.5.2 ปริมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่อเกษตรกรรม

เป็นปริมาณการใช้น้ำบาดาลจากการรวบรวมข้อมูลของบ่อน้ำบาดาลและบ่อน้ำตื้นของคณะกรรมการพัฒนาชนบทแห่งชาติที่ 2ค พ.ศ.2544 มีจำนวนร้อยละ 25 ของบ่อทั้งหมดใช้ในปริมาณเฉลี่ย 7,105.9 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน

2.1.5.3 ปริมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่ออุตสาหกรรม

เป็นปริมาณการใช้น้ำบาดาลจากปริมาณน้ำที่ขออนุญาตสูบใช้เพื่ออุตสาหกรรมมีรวม 10,989 บ่อใช้ 1.970 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

ทั้งนี้ ในปี 2552 ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคทั่วประเทศรวม 3,111 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยพิจารณาจากลักษณะการใช้น้ำและการใช้น้ำจากระบบประชาเทศบาล

และประปาหมู่บ้านมีสัดส่วนสูงสุดถึง 1,451 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นร้อยละ 47 ของปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด ในปริมาณนี้เป็นการใช้น้ำจากแหล่งน้ำบาดาล 1,213 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นร้อยละ 39 และปริมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่อเกษตรกรรมรวม 1,530.72 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนในสัดส่วนใกล้เคียงหรือประมาณร้อยละ 24-25 ในแต่ละภูมิภาค สำหรับปริมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่ออุตสาหกรรม รวม 702.76 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการใช้น้ำจากบ่อน้ำบาดาลเอกชนเป็นหลักและอยู่ในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกสูงสุด คิดเป็นประมาณร้อยละ 62 ของปริมาณการใช้น้ำบาดาลทั้งหมด ทั้งนี้ จากการคาดการณ์ปริมาณความต้องการใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภค เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมทั่วประเทศจะเพิ่มขึ้นในอีก 10 ปีข้างหน้าหรือในปี 2562 เป็น 1,233 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี 1,581 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 840 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2553)

สำหรับปริมาณการใช้น้ำบาดาลจริงตามใบอนุญาต ณ วันที่ 31 กรกฎาคม 2555 ทั่วประเทศรวมทั้งสิ้น 1,339,313 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จำแนกออกเป็นเพื่อธุรกิจ 795,724 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เพื่ออุปโภคบริโภค 339,481 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเพื่อเกษตรกรรม 204,108 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยพื้นที่ภาคกลางใช้น้ำในปริมาณมากที่สุดหรือเท่ากับ 664,648 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งรวมเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล 7 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นครปฐม นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ สมุทรสาคร และพระนครศรีอยุธยา ใช้น้ำบาดาลรวมทั้งสิ้น 238,557 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2556)

2.1.6 การใช้น้ำบาดาลในโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท ความต้องการใช้น้ำของอุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากรูปแบบของกระบวนการผลิตที่มีข้อกำหนดแตกต่างกัน โดยการปรับสภาพให้น้ำมีคุณภาพตามที่ต้องการก่อนป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อต้นทุนการผลิตและศักยภาพทางการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งข้อมูลที่ผ่านมายืนยันว่าภาคอุตสาหกรรมในหลายพื้นที่ของประเทศยังประสบกับปัญหาขาดแคลนทรัพยากรน้ำอย่างรุนแรง โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง จากการคาดการณ์ขององค์การสหประชาชาติที่ว่าประชากรโลกประมาณ 7 พันล้านคนใน 60 ประเทศจะต้องเผชิญกับปัญหาขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรงในปี 2568 ซึ่งจะส่งผลกระทบถึงขั้นวิกฤติที่ทีให้ภาคเกษตรกรรม ภาคบริการ และภาคอุตสาหกรรมต้องแย่งชิงน้ำดิบกันอย่างรุนแรง สำหรับปัญหาการขาดแคลนน้ำของภาคอุตสาหกรรม จะส่งผลทำให้โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ต้องชะลอหรือลดกำลังการผลิตลงและก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก การหาแนวทางสนับสนุนให้โรงงานต่างๆ เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการการใช้น้ำใน

รูปแบบต่างๆ ให้เกิดประสิทธิผลมากขึ้น ทั้งการลดการใช้น้ำ การนำน้ำกลับมาใช้ซ้ำ และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีส่วนช่วยลดต้นทุนด้านการผลิตและลดการก่อให้เกิดมลพิษได้อย่างยั่งยืนอีกด้วย ทั้งนี้ น้ำบาดาลถือเป็นแหล่งน้ำทางเลือกโดยเฉพาะในพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลชุมชนหรือประสบสภาวะภัยแล้ง (สุทธีรัตน์, 2555)

น้ำที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตทั้งการใช้เป็นส่วนผสมของสินค้า การใช้ทำความสะอาดต่างๆ และการทำให้ร้อนหรือเป็นไอน้ำสำหรับการฆ่าเชื้อหรือผลิตพลังงานต่อไป ซึ่งต้องได้รับการจัดเตรียมและควบคุมคุณภาพตามข้อกำหนดเพื่อรักษารักษามาตรฐานก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิตได้ การควบคุมคุณภาพของน้ำทางเคมีละชีววิทยาเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากโดยเฉพาะน้ำบาดาล เนื่องจากน้ำบาดาลเป็นวัตถุดิบที่ได้มาจากแหล่งธรรมชาติที่มีโอกาสรับสิ่งปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมได้โดยง่ายและมีคุณภาพที่ไม่แน่นอน การทำให้น้ำบาดาลบริสุทธิ์มีต้นทุนที่สูง โดยต้องกำหนดการซ่อมบำรุงบ่อบาดาลรวมไปถึงเครื่องปั๊มน้ำ ท่อ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นระยะเพื่อทำความสะอาดและป้องกันการชำรุดที่อาจส่งผลต่อคุณภาพของน้ำบาดาลได้ ทั้งนี้ การกักเก็บน้ำบาดาลที่เป็นน้ำดิบในปริมาณที่เพียงพอในการใช้ช่วงระยะหนึ่งของโรงงานจะทำให้กระบวนการผลิตของโรงงานไต้องหยุดชะงักได้ (กองควบคุมยา สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข, 2547)

จากการทบทวนวรรณกรรมสรุปได้ว่าน้ำเป็นทรัพยากรที่จำเป็นและมีความสำคัญต่อมนุษย์เป็นอย่างมากโดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมที่มีความต้องการที่สูงมากเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ ซึ่งน้ำบาดาลถือเป็นแหล่งน้ำทางเลือกที่ต้องสูบน้ำมากักเก็บไว้ในบ่อและควบคุมคุณภาพให้มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับได้ก่อนป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป

2.2 แนวคิดเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์ IC (Integrated Circuit) ที่สามารถกำหนดโปรแกรมการทำงานที่ซับซ้อนได้ โดยสามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอลมาทำการประมวลผลเพื่อส่งผลลัพธ์เป็นข้อมูลดิจิตอลสำหรับนำไปใช้งานได้ตามที่ต้องการ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ถือได้ว่าเป็นไมโครโพรเซสเซอร์ประเภทหนึ่งคล้ายคลึงกับหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit: CPU) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกอยู่ในชิพที่มีหน่วยความจำเพื่อนำมาใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม แทนการใช้งานแบบต่อวงจรภายนอกเพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโพรเซสเซอร์ โดยรวมวงจรที่จำเป็นทั้งหลายเข้าไปใน IC เดียวกัน ได้แก่ หน่วยความจำ อินพุทและเอาท์พุท และวงจรที่เหมาะสมกับการใช้ในงานควบคุม เช่น วงจรการตั้งเวลา วงจรการสื่อสาร วงจรการแปลงสัญญาณอะนาลอคเนดิจิตอล เป็นต้น (กิติพร, 2553)

2.2.2 องค์ประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายประเภท ซึ่งมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน จึงทำให้มีทางเลือกในการนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม (กิติพร พาวังราช, 2553) ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไปมี 5 องค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละประเภทมีความสามารถบางอย่างที่แตกต่างกัน (สุจิตร์, 2555) ดังนี้

2.2.2.1 หน่วยประผลกลลาง (Central Processing Unit: CPU)

ทำหน้าที่ประมวลผลคำสั่งต่างๆ

2.2.2.2 หน่วยความจำ (Memory Unit)

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ หน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมหลัก ข้อมูลจะไม่สูญหายถึงแม้ไม่มีไฟเลี้ยง และหน่วยความจำข้อมูลที่ใช้พักข้อมูลชั่วคราวในขณะทำงน หากไม่มีไฟเลี้ยงข้อมูลก็จะหายไป

2.2.2.3 หน่วยรับและแสดงผลข้อมูล (Input/ Output: I/O)

เป็นส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหรือพอร์ต (Port) ที่มี 2 ลักษณะ ได้แก่ พอร์ตอินพุท (Input port) ใช้รับสัญญาณ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งผลไปยังพอร์ตเอาท์พุท (Output Port) ที่ใช้ส่งสัญญาณ

2.2.2.4 ไทมเมอร์ (Timer)

เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ซึ่งจังหวะการทำงานที่กำหนดให้ถี่ขึ้น จะทำให้สัญญาณนาฬิกามีความถี่สูงและไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลได้เร็วตาม

2.2.2.5 ช่องทางเดินของสัญญาณ (BUS)

เป็นสายสัญญาณภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง CPU หน่วยความจำ และพอร์ตต่างๆ นอกจากนี้ ยังอาจมีตัวควบคุมการขัดขวาง (Interrupt Controller)

2.2.3 การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ชิพ IC และระบบที่ได้มีขนาดเล็กแต่มีความซับซ้อนน้อยทำให้เกิดความผิดพลาดในการต่อวงจรลดลงและลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบได้ ถูกกว่ากว่าการใช้ชิพไมโครโพรเซสเซอร์ และใช้งานในงานควบคุมได้ง่าย จึงมักนิยมนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานบางอย่าง (กิติพร, 2553)

การควบคุมระดับปริมาณของเหลวโดยเฉพาะน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมในช่วงแรกได้ใช้คนเป็นผู้ควบคุมการวัดโดยมีข้อจำกัดจากการจ้างแรงงานคนมารอคอยวัดและความแม่นยำน้อยเป็นผลมาจากการวัดระดับน้ำด้วยการประมาณจากสายตา ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาใช้ระบบลูกลอยที่มีความแม่นยำมากขึ้นแทน โดยการทำงานของลูกลอยอาศัยหลักการลอยตัวของลูกลอยบนของเหลว หากไม่มีของเหลวดันลูกลอยก็จะทำให้ลูกลอยลกลงตามแรงโน้มถ่วงของโลกที่ทำให้ระบบเดออกเพื่อให้น้ำ

ไหลเข้ามายังแหล่งกักเก็บน้ำอย่างเช่นบ่อน้ำบาดาลจนทำให้ลูกลอยตัวขึ้นจนถึงระดับน้ำที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม การวัดระดับน้ำของลูกลอยไม่สามารถปรับระดับน้ำได้หลายระดับตามที่ต้องการ นอกจากต้องติดตั้งลูกลอยหลายตัวเพื่อวัดหลายระดับของน้ำ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดต้นทุนสูงโดยเฉพาะการซ่อมบำรุงเนื่องจากลูกลอยมักเสื่อมสภาพและติดขัดได้โดยง่าย ต่อมาจึงได้มีการนำแท่งอิเล็กโทรดมาใช้วัดระดับน้ำเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมการเปิดปิดวาล์วจ่ายน้ำเข้าออกจากการใช้น้ำเป็นตัวกลางของกระแสไฟฟ้าในวงจร จากวิวัฒนาการนี้จึงทำให้มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้เป็นอุปกรณ์ร่วมในการควบคุมปริมาณน้ำและน้ำบาดาลจากบ่อก่อนส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตของโรงงานต่างๆ (ปฏิภาณ, 2558)

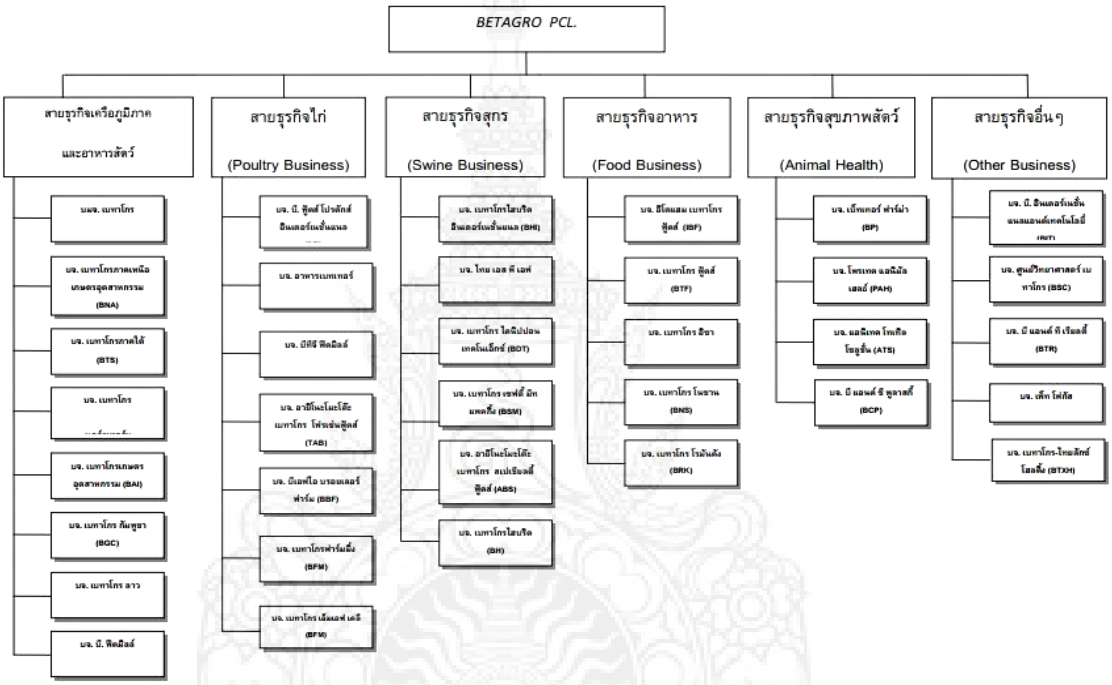
จากการทบทวนวรรณกรรมสรุปได้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะที่มีขนาดเล็กและต้นทุนต่ำแต่สามารถใช้ในงานควบคุมต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการศึกษาในครั้งนี้จะได้พิจารณานำไมโครคอนโทรลเลอร์มาเป็นส่วนประกอบควบคุมหลักในการออกแบบโปรแกรมตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมควบคุมการทำงานปกติของเครื่องสูบน้ำเพื่อรักษาปริมาตรน้ำบาดาลขั้นต่ำในบ่อพักให้ได้ไว้อยู่ตลอดเวลา

2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับบริษัทกรณีศึกษา

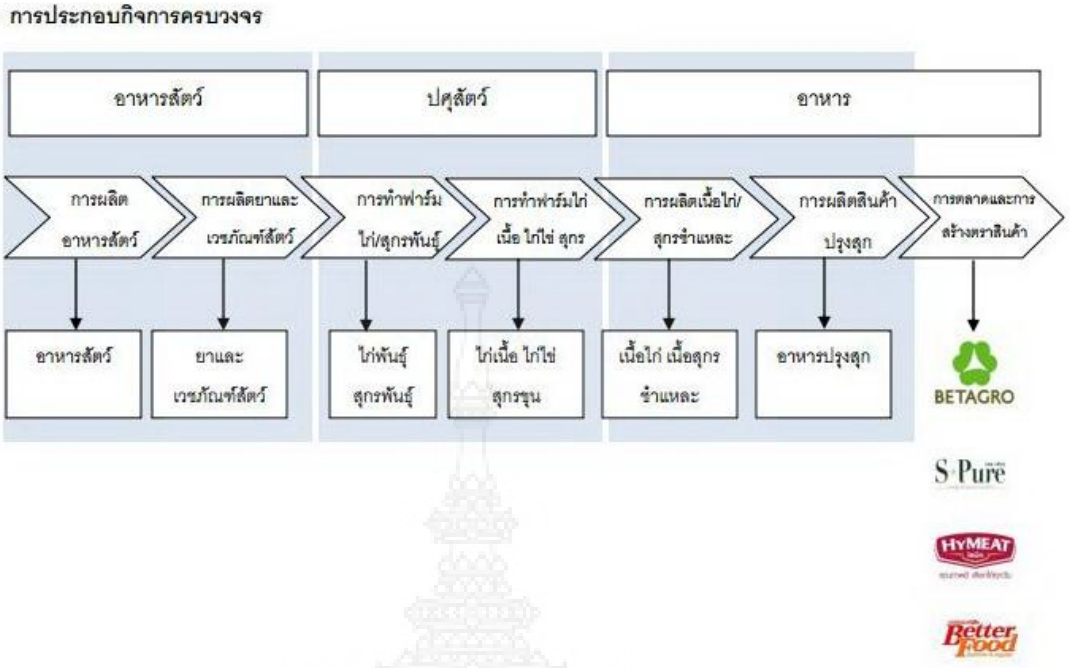
2.3.1 ประวัติความเป็นมา

เครือเบทาโกร (2559) ก่อตั้งในปี 2510 ภายใต้ชื่อบริษัท เบทาโกร จำกัด และบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (2558) ด้วยทุนจดทะเบียนเริ่มต้น 10 ล้านบาท เพื่อดำเนินธุรกิจผลิตและจำหน่ายอาหารสัตว์ โดยมีสำนักงานใหญ่แห่งแรกตั้งอยู่ที่เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพมหานคร และก่อตั้งโรงงานแห่งแรกที่อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ เบทาโกรขยายธุรกิจอย่างต่อเนื่อง เริ่มจากการสร้างฐานการผลิตด้านปศุสัตว์แห่งแรก ประกอบด้วยฟาร์มไก่ ฟาร์มสุกร โรงงานอาหารสัตว์ และโรงฟักไข่ที่อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และได้ขยายฐานการผลิตเต็มรูปแบบตั้งอยู่เลขที่ 39 หมู่ 5 ถนนสระบุรี-หล่มสัก ตำบลช่องสาริกา อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี เนื่องจากมีความเหมาะสมทั้งทางด้านแห่งวัตถุดิบและทำเลที่ตั้ง กลายเป็นจุดเริ่มต้นสู่การพัฒนาของการเป็นผู้นำอุตสาหกรรมการเกษตรครบวงจร ประกอบด้วย โรงงานอาหารสัตว์ ฟาร์มไก่ ฟาร์มสุกร โรงฟักไข่ โรงงานชำแหละและตัดแต่งเนื้อไก่และเนื้อสุกรและโรงงานผลิตอาหารปรุงสุกแช่แข็งจากเนื้อไก่และเนื้อสุกร จากธุรกิจที่เป็นพื้นฐานด้านอุตสาหกรรมเกษตรนำไปสู่การจัดตั้งบริษัทในเครือที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านอีกหลายแห่งเพื่อรองรับเครือข่ายธุรกิจของเบทาโกรตั้งแต่ธุรกิจการผลิต การเลี้ยง และการพัฒนาสายพันธุ์ ทั้ง ไก่เนื้อ ไก่ไข่ และสุกร การจัดทำฟาร์มพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ การผลิตและจำหน่ายเวชภัณฑ์สำหรับสัตว์ในระดับมาตรฐานสากล อีกทั้งยังร่วมมือกับเกษตรกรใน

โครงการประกันราคาไก่เนื้อและไก่ไข่ โครงการจ้างเลี้ยงสุกรขุน การผลิตและจำหน่ายไก่เนื้อ สุกรพันธ์ สุกรขุน ตลอดจนเนื้อไก่ เนื้อสุกร ไข่ไก่ และผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อจำหน่ายในประเทศและส่งออก ซึ่งในปัจจุบัน เครือเบทาโกรเป็นหนึ่งในผู้นำาธุรกิจอุตสาหกรรมการเกษตรและอาหารครบวงจรของประเทศไทย ครอบคลุมตั้งแต่ธุรกิจอาหารสัตว์ ปศุสัตว์ ยาและเวชภัณฑ์สัตว์ ไปจนถึงผลิตภัณฑ์อาหารคุณภาพเพื่อการส่งออกและจำหน่ายในประเทศเพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างหลากหลายภายใต้แนวคิดเพื่อคุณภาพชีวิต



ภาพ 2.1 โครงสร้างการดำเนินงานของบริษัทในกลุ่มเบทาโกร
ที่มา : ประสิทธิ์ (2559)



ภาพ 2.2 ผังการประกอบกิจการครบวงจรในเครือเบทาโกร
ที่มา : ประสิทธิ์ (2559)

2.3.2 แนวทางการใช้น้ำบาดาลของบริษัทฯ

บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (2558) ได้เลือกใช้น้ำบาดาลเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมมานานกว่า 26 ปีตั้งแต่ในปี 2533 เพื่อลดต้นทุนการผลิตจากการใช้น้ำจากการประปาส่วนภูมิภาค โดยสามารถประหยัดต้นทุนการผลิตด้านสาธารณูปโภคประเภทน้ำได้มากกว่าร้อยละ 80 และสามารถประหยัดได้มากขึ้นตามปริมาณน้ำที่ใช้เพิ่มขึ้น ในปี 2558 บริษัทฯ สามารถสูบน้ำบาดาลผ่าน 2 บ่อเก็บน้ำที่เชื่อมต่อกัน ประกอบด้วย GT BTG1400 ที่มีความจุน้ำถึง 1,400 ลูกบาศก์เมตร (14เมตร x 35เมตร x 3เมตร) และ GT BTG 600 ที่มีความจุน้ำถึง 600 ลูกบาศก์เมตร (14เมตร x 15เมตร x 3เมตร) ได้ทั้งปีรวม 3,396,322 ลูกบาศก์เมตรและใช้น้ำบาดาลไปทั้งปีรวม 3,113,302 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 91.67 ของปริมาณน้ำที่สูบได้

ในปัจจุบัน บริษัทฯ มีกำลังการผลิตน้ำบาดาลโดยรวมสูงสุดได้ประมาณวันละ 27,360 ลูกบาศก์เมตร หรือมีกำลังการผลิตน้ำบาดาลโดยเฉลี่ยต่อบ่อ เท่ากับ 60 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งบริษัทฯ ใช้บ่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว กระจายห่างกันประมาณ 400-500 เมตรจากรัศมีโดยรอบ รวม 12 บ่อ สำหรับขุดเจาะและสูบน้ำบาดาลป้อนส่งโรงงานที่ตั้งอยู่ในเนื้อที่ของบริษัทฯ ที่มีการควบคุมดูแลตลอดเวลาโดยอยู่ห่างจากโรงงานประมาณ 3 กิโลเมตร รวมระยะทางตามเส้นทาง

การรับส่งน้ำบาดาลโดยรอบ 7 กิโลเมตรที่ต้องทำการตรวจสอบ ซึ่งการควบคุมการสูบและการส่งน้ำบาดาลที่ได้ ทางบริษัทฯ ให้ความสำคัญทั้งในด้านปริมาณและด้านคุณภาพของน้ำบาดาลที่สูบได้ โดยได้จัดทีมงานรับผิดชอบทำการตรวจสอบน้ำบาดาลในแต่ละบ่อทุก 3 ชั่วโมง รวมวันละ 8 รอบ และทำการตรวจระดับน้ำบาดาลที่ได้ในแต่ละบ่อทุกเช้าและเย็น เพื่อสร้างความมั่นใจว่าโรงงานจะมีระดับน้ำเพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งขั้นตอนการตรวจวัดระดับน้ำบาดาลมีความยุ่งยากและใช้เวลามากจนกว่าจะดำเนินการได้ครบทุกบ่อ อย่างไรก็ตาม ปัญหาจากเหตุการณ์ที่ผ่านมาเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่สูบได้ไม่เพียงพอต่อการใช้งานในแต่ละช่วงจนส่งผลทำให้โรงงานไม่สามารถดำเนินการผลิตต่อไปได้และทำให้บริษัทฯ ได้รับความเสียหายเป็นอย่างมากมาจากการหยุดทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลที่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาและไม่สามารถประเมินหรือคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าได้ ทั้งนี้ เกณฑ์ปริมาตรน้ำบาดาลขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในแต่ละบ่อต้องสูบน้ำได้ไม่น้อยกว่า 60 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงในทุกขณะ จึงจะไม่ส่งผลกระทบทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงัก (บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, 2559)

ภาพ 2.3 เส้นทางในการตรวจสอบระบบผลิตน้ำบาดาลภายในของบริษัทฯ
ที่มา : บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (2559)

ภาพ 2.4 ผังของ 3 โรงงาน (BTG LR1, LR2 และ LR3) และ 2 บ่อน้ำบาดาลหลัก (GT BTG 1400 และ GT BTG 600)

ที่มา : บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (2559)

ภาพ 2.5 ผังของโรงงาน BTG LR4

ที่มา : บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (2559)

ภาพ 2.6 บ่อน้ำบาดาลย่อย (บ่อที่ 6)
ที่มา : ประสิทธิ์ เรืองฤทธิ์ (2559)

ภาพ 2.7 บ่อน้ำบาดาลย่อย (บ่อที่ 7)
ที่มา : ประสิทธิ์ (2559)

จากการทบทวนวรรณกรรมสรุปได้ว่าบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัดเป็นอีกองค์กรที่ใช้น้ำบาดาลเพื่อขับเคลื่อนกระบวนการผลิตในโรงงาน ซึ่งยังคงใช้แรงงานคนในการวัดระดับน้ำบาดาลในบ่ออทำให้มีต้นทุนด้านค่าแรงสูงและยังมีโอกาสประสบกับปัญหาของระดับน้ำบาดาลต่ำกว่าปริมาตรน้ำบาดาลขั้นต่ำตามที่กำหนดไว้จนส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตได้ ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกโรงงานของบริษัทฯ เป็นกรณีศึกษาเพื่อใช้ทดลองออกแบบ สร้าง และทดสอบการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาลขึ้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุชา หิรัญวัฒน์และคณะ (2551) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ควบคุมโปรแกรมการสั่งงานระบบที่มีความซับซ้อนได้อย่างลงตัว โดยสามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอลเข้าไปแล้วทำการประมวลผลเพื่อส่งผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อมูลดิจิตอลสำหรับการนำไปใช้งานได้ตามที่ต้องการ ซึ่งมีขนาดเล็กและราคาถูกแต่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงจึงได้รับความนิยมใช้

สุจิตร์ สุราช (2555) ทำการศึกษาระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก) ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ โดยพบว่า ระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้านึ่ง (ข้าวฮางงอก) ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก)ได้จริงจากความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิที่ช่วยลดความชื้นได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งถาดอบส่งผลทำให้ข้าวเต็มเมล็ดมีคุณภาพดีไม่แตกร้าว

กิติพร พาวังราช (2553) ทำการพัฒนาระบบควบคุม PWM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับวงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ โดยพบว่าระบบควบคุม PWM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมการทำงานวงจรได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับระบบควบคุมอนาล็อกแบบเดิมที่มีความยุ่งยากในการออกแบบ

สุจิตร์ สุราช (2555) ได้ทำการศึกษาระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก) ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้าวนึ่งด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และสืบค้นประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาอบแห้งข้าวนึ่งเพื่อให้ได้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตข้าวนึ่ง ผลการศึกษาพบว่าเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องที่ติดตั้งไมโครคอนโทรลเลอร์มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าและสามารถควบคุมอุณหภูมิสภาวะการลดความชื้นได้สม่ำเสมอทั่วทั้งถาดอบ เมื่อเปรียบเทียบวิธีการทำแห้งโดยธรรมชาติ

สุรชัย จันทนา (2555) ได้ทำการศึกษาระบบควบคุมมอเตอร์แบบตรวจสอบสถานการณ์ทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผลการทดสอบ 30 ครั้งพบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างราบรื่นและถูกต้องทุกครั้ง

มนตรี โนนพะยอม (2555) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อควบคุมระบบเครื่องกรองน้ำมันอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยพบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถใช้ควบคุมระบบเครื่องกรองน้ำมันอัตโนมัติได้จากการตั้งค่าในระบบไว้ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 30%RH ระบบจะทำการปิดระบบเองโดยอัตโนมัติเมื่อการทำงานของเครื่องได้จนถึงค่าเป้าหมาย

จากการทบทวนวรรณกรรมสรุปได้ว่า 6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง ถึงแม้จะไม่ได้นำมาใช้งานด้านการควบคุมเกี่ยวกับของเหลวหรือน้ำบาดาลก็ตาม แต่สามารถนำผลการศึกษามาอ้างอิงและต่อยอดได้เป็นอย่างดี

บทที่ 3

การออกแบบระบบและวิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัยไว้ ดังนี้

3.1 การออกแบบระบบ

3.2 ระเบียบวิธีวิจัย

3.3 พื้นที่ศึกษา

3.4 เครื่องมือวิจัย

3.5 กลุ่มตัวอย่าง

3.6 สถิติที่เกี่ยวข้อง

3.1 การออกแบบระบบ

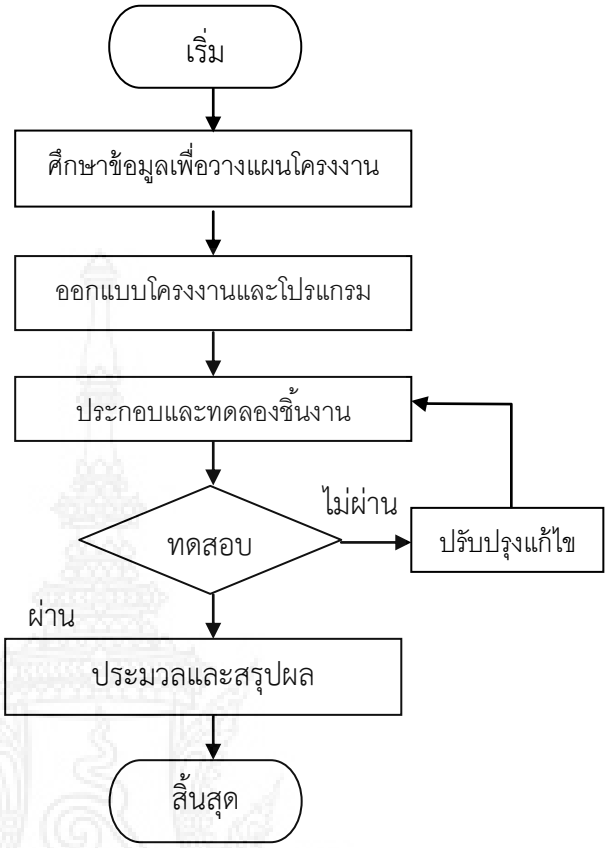
3.1.1 หลักการทำงานปกติ

การวัดระดับปริมาตรน้ำบาดาลใน 2 บ่อเก็บน้ำ ได้แก่ GT BTG 1400 และ GT BTG 600 โดยปกติใช้จดบันทึกด้วยการใช้แรงงานคนแบบราย 3 ชั่วโมง ได้แก่ เวลา 6.00 น. 9.00 น. 12.00 น. 1500 น. 18.00 น. 2100 น. 24.00 น.(หรือ 0.00 น.) และ 3.00 น. อย่างต่อเนื่องทุกวัน ซึ่งเป็นค่าที่มีความคาดเคลื่อนจากการอ่านค่าโดยใช้คนคาดคะเนระดับน้ำบาดาลที่มีในแต่ละบ่อในแต่ละจุดเวลา เวลาที่ขาดความแม่นยำในการจดบันทึกของแต่ละบ่อที่เลื่อมกันทั้งที่เกิดจากการเริ่มจดบันทึกทีละบ่อ และการเดินทางมาจดบันทึกล่าช้าหรือเร็วเกินไปในบางโอกาสโดยผู้ตรวจวัดคนเดียว ความไม่ต่อเนื่องในการจดบันทึกเป็นผลมาจากการที่ไม่มีผู้ปฏิบัติงานแทนผู้ตรวจวัดในวันและเวลาที่ต้องทำการจดบันทึกในช่วงที่ผู้ตรวจวัดลาพักงาน และเหตุผลอื่นๆ โดยสาเหตุเหล่านี้ล้วนทำให้บริษัทฯ มีความเสี่ยงจากระดับปริมาตรของน้ำบาดาลลดต่ำจนถึงขั้นวิกฤติเนื่องจากความบกพร่องของเครื่องสูบน้ำและปัจจัยต่างๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของโรงงานจนอาจต้องหยุดชะงักและบริษัทฯ ต้องแบกรับความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ ทั้งนี้ ขั้นตอนการทำงานแบบจดบันทึกโดยใช้แรงงานตามปกตินี้ยังทำให้การเก็บรวบรวมฐานข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณน้ำบาดาลที่สูบได้และต้องการใช้ไปของบริษัทฯ มีความยุ่งยาก ไม่แม่นยำ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยมาก กล่าวคือ บริษัทฯ ต้องเพิ่มขั้นตอนการทำงานในการป้อนข้อมูลที่จดบันทึกได้ลงสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ไมโครซอฟต์เอ็กซ์เซลอีกด้วย

ภาพ 3.1 ผังการทำงานตามปกติ

3.1.2 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงานเริ่มจากการศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลประเภทต่างๆ ที่เชื่อถือได้ เพื่อนำมาใช้วางแผนโครงงานและกำหนดขั้นตอนการดำเนินโครงงานที่มีเหมาะสม จากนั้นจึงออกแบบโครงงานทั้งในส่วนของอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ที่เป็นฮาร์ทแวร์และส่วนของซอฟท์แวร์จากการเขียนโปรแกรมต่างๆ เพื่อใช้เป็นวงจรควบคุมสำหรับใช้เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อนำทุกส่วนมาประกอบกันแล้วได้ทำการทดลองถึงความเป็นได้ที่เหมาะสมก่อนนำมาทดสอบจริง ในการทดสอบจริงเป็นการเก็บค่าปริมาตรน้ำบาดาลแบบราย 3 ชั่วโมงในแต่ละบ่อ (GT BTG 1400 และ GT BTG 600) ทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 รวม 40 วันแบบอัตโนมัติ ซึ่งได้กำหนดแต่ละจุดเวลาให้ตรงกับจุดเวลาที่จดบันทึกปกติเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่จดบันทึกตามปกติในช่วงเวลาเดียวกัน หากข้อมูลของทั้ง 2 แหล่งมีความแตกต่างกันต่ำหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นข้อมูลที่สามารถใช้แทนกันได้ โดยพิสูจน์ด้วยการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 แหล่ง ณ ระดับความคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ที่ร้อยละ 1 ถือว่าผ่านการทดสอบ ซึ่งสามารถนำสู่การประมวลผลอีกครั้งเพื่อหาข้อสรุปสำหรับจัดทำรายงานนำเสนอต่อไป มิเช่นนั้น จะต้องทำการตรวจสอบทุกขั้นตอนอีกครั้งเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไข ประกอบหรือทดลองชิ้นงาน และทดสอบชิ้นงานอีกครั้ง



ภาพ 3.2 ผังขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

3.2 ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณจากการเก็บข้อมูลที่เป็นค่าต่างๆ จากการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติต้นแบบที่เหมาะสมผ่านการจดบันทึกจากลูกดิ่งวัดระดับที่บริษัทฯ ใช้แบบเดิมตามปกติและการส่ง บันทึก และแสดงผ่านการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งนำมาใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาตรน้ำบาดาลโดยรวมในบ่อเก็บน้ำระหว่างกันสำหรับทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือที่สร้างขึ้น ตลอดจนการศึกษาถึงสถานะการทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลต่างๆ

3.3 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาเป็นบริเวณภายในบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี ในส่วนพื้นที่ของบ่อเก็บน้ำและห้องปฏิบัติการควบคุมดูแล โดยได้ทำการขออนุญาตและได้รับการอนุมัติอย่างถูกต้องในการใช้สถานที่เพื่อทำการศึกษาและทดลองก่อนล่วงหน้าแล้ว ซึ่งพื้นที่หลักที่ใช้ศึกษามี 2 แห่ง ดังนี้

3.3.1 บ่อเก็บน้ำ (Ground Tank)

ใช้สำหรับกักเก็บและพักน้ำบาดาลที่สูบได้จากการเชื่อมท่อต่อกับทั้ง 12 บ่อขุดเจาะและสูบน้ำบาดาลของบริษัทฯ ก่อนส่งน้ำที่เก็บไว้ไปใช้ในโรงงานผ่านระบบท่อส่ง ซึ่งในปัจจุบัน บริษัทฯ มีบ่อเก็บน้ำ 2 บ่อที่เชื่อมต่อกัน ประกอบด้วย GT BTG1400 ที่มีความจุน้ำถึง 1,400 ลูกบาศก์เมตร (14เมตร x 35เมตร x 3เมตร) และ GT BTG 600 ที่มีความจุน้ำถึง 600 ลูกบาศก์เมตร (14เมตร x 15เมตร x 3เมตร) สรุปได้ว่าบ่อเก็บน้ำทั้งหมดมีความสามารถในการจุน้ำสูงสุดได้ถึง 2,000 ลูกบาศก์เมตร (คิว) โดยน้ำบาดาลที่สูบได้จะส่งกระจายมาเก็บพักไว้ในทั้ง 2 บ่อก่อนและส่งน้ำออกไปใช้จากบ่อใหญ่ (GT BTG 1400) ซึ่งทั้ง 2 บ่อมีการต่อท่อภายในเชื่อมโยงถึงกันทำให้ปริมาณน้ำบาดาลของทั้ง 2 บ่อโดยทั่วไปเท่ากันเสมอ กล่าวคือ ระดับปริมาณน้ำบาดาลของทั้ง 2 บ่อจะปรับเท่ากันในทันทีเมื่อมีการสูบน้ำเข้าและ/ หรือส่งน้ำออก ในการศึกษาโดยติดตั้งเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำภายในบ่อใดบ่อหนึ่งจึงสามารถใช้งานได้เหมือนกันและไม่จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำไว้ภายในทั้ง 2 บ่อเพื่อทำการศึกษา แต่เพื่อความแม่นยำในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่สามารถนำข้อมูล 2 ชุดมาศึกษาเปรียบเทียบกันในภายหลังได้ ผู้วิจัยจึงเลือกติดตั้งเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบไร้สายไว้ภายในบ่อเก็บน้ำทั้ง 2 แห่งๆ ละ 1 เครื่องตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา

3.3.2 ห้องปฏิบัติการ (Laboratory)

ใช้เป็นที่ตั้งของเครื่องควบคุมหลัก ซึ่งมีผู้ควบคุมดูแลปฏิบัติงานตลอด 24 ชั่วโมงเป็นประจำอยู่แล้ว โดยสามารถให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการสุ่มตรวจสถานะของการทดลองจากการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ทุกขณะอย่างต่อเนื่อง

3.4 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือวิจัยได้มาจากการออกแบบและประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

3.4.1 อุปกรณ์ฮาร์ทแวร์

3.4.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นอุปกรณ์ควบคุมหลัก จำนวน 1 เครื่อง ซึ่งใช้ทำหน้าที่ควบคุมการวัดระดับปริมาตรของน้ำบาดาลในบ่อพักเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาล

3.4.2 เครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำ

เป็น Ultrasonic Module HC-SR04 Distance Measuring Transducer Sensor ที่เชื่อมต่อกับท่อที่ติดตั้งไว้กับผนังของบ่อภายในบ่อเก็บน้ำ 2 แห่งๆ ละ 1 ชุด รวม 2 ชุด เพื่อใช้วัด

ระดับน้ำในระยะประมาณ 6.45 เมตร โดยมีความละเอียดประมาณ 1 นิ้ว สามารถใช้วัดได้อย่างต่อเนื่องสูงสุดทุกๆ 50 มิลลิวินาที

3.4.3 เครื่องรับส่งสัญญาณแบบไร้สาย

เป็น NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E NodeMCU V2 Development Kit จำนวน 4 เครื่องสำหรับใช้กับบ่อเก็บน้ำแห่งละ 2 เครื่อง โดยเครื่องแรกเชื่อมต่อกับเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำด้วยสายเคเบิ้ลโดยตรง

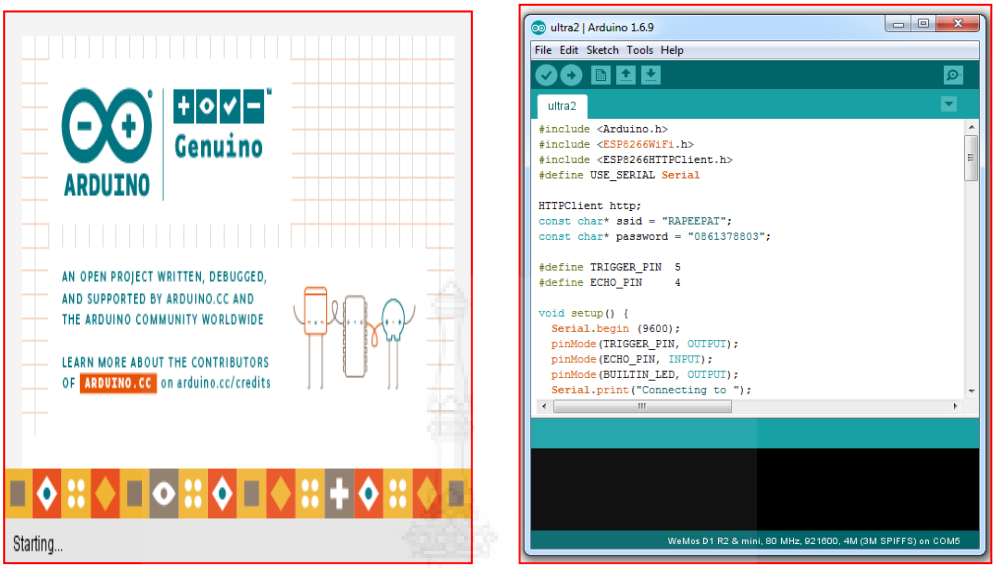
3.4.4 เครื่องควบคุมหลัก

เป็นอุปกรณ์ประมวลและแสดงผลส่วนกลาง จำนวน 2 ชุดแยกออกตามบ่อเก็บน้ำทั้ง 2 แห่งโดยเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น Arduino MEGA 2560 - R3 มีคุณสมบัติโดยรวมประกอบด้วย ATmega328 microcontroller, Input voltage - 7-12V, 14 Digital I/O Pins (6 PWM outputs), 6 Analog Inputs, 32k Flash Memory, 16Mhz Clock Speed ซึ่งใช้ร่วมกับ WeMos mini NodeMCU WIFI ESP-8266, 4 Channel 5V relay 4 ช่อง แบบ isolation control Relay Module Shield 250V/10A, Portable 3G/4G Wireless N RouterTL-MR3020 และ Mini Mobile Wifi 3g Wireless Router USB SIM Card Modem Dongle WCDMA TF Card Slot สำหรับควบคุมการทำงานของเซนเซอร์วัดปริมาณน้ำของโหนดการวัดปลายทางเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของโหนดที่ทำหน้าที่เซนเซอร์และโหนดที่ทำหน้าที่ส่วนกลาง โดยทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับ บันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำเอสดี และแสดงผลทางหน้าจอ ทั้งนี้ ได้ทำการเชื่อมต่อเครื่องควบคุมเข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ จากการต่อยอดการศึกษาของทวีศักดิ์ พูนศรีเจริญกุล (2557) ที่ได้ทำการศึกษาแนวทางการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับการจัดการระบบสาธารณูปโภคและซ่อมบำรุง โดยเลือกบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัดเป็นกรณีศึกษา และได้ออกแบบและจำลองบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้จัดการระบบสาธารณูปโภคและซ่อมบำรุงภายในบริษัทฯ ขึ้น ผู้วิจัยจึงเลือกนำเอาบางสวนของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เขียนขึ้นมาประยุกต์ใช้อย่างจริงจังให้เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปของหน่วยควบคุมหลักในการทดลอง

3.4.5 อุปกรณ์ซอฟท์แวร์

3.4.5.1 โปรแกรม Arduino-1.6.9-windows

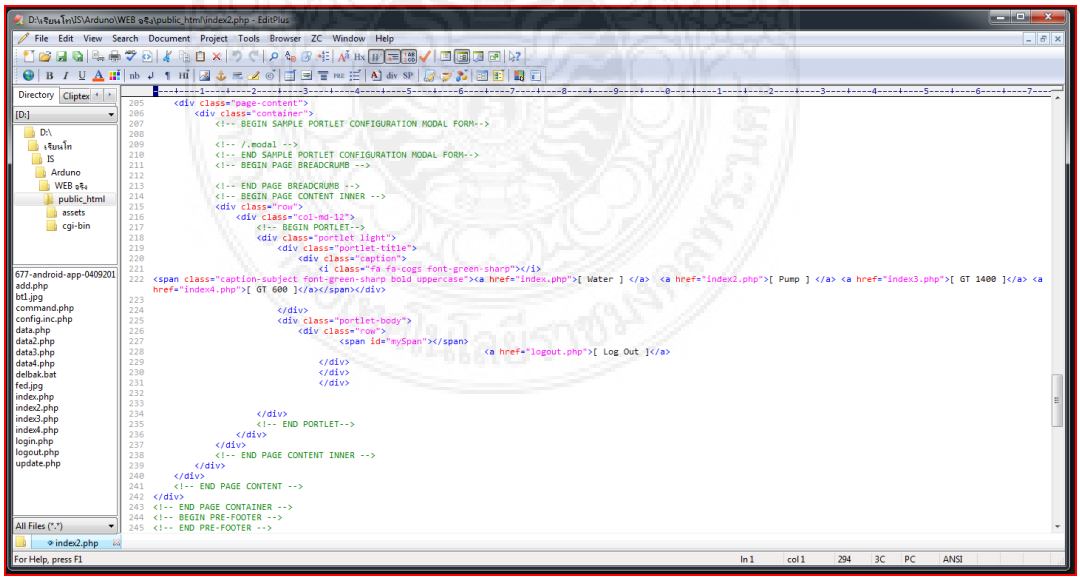
ใช้ทำหน้าที่เขียนและคอมไฟล์โปรแกรมให้กับบอร์ด ESP8266 หรือบอร์ดอื่น ๆ ผ่านทาง Arduino ใช้ภาษาหลักการของภาษา C++ ครอบด้วยภษาของ Aruino



ภาพ 3.3 โปรแกรม Arduino-1.6.9-windows

3.4.5.2 EditPlus

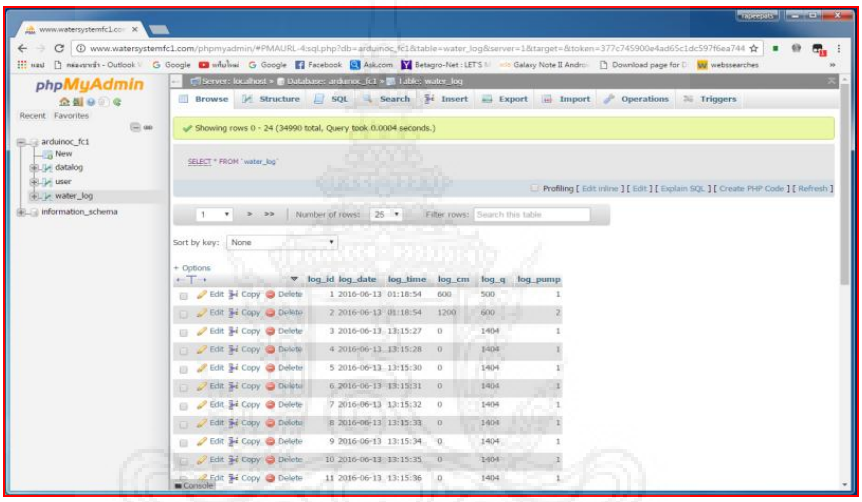
เป็นโปรแกรม text editor คล้ายกับโปรแกรม Notepad, Dreamweaver ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในการสร้างเว็บเพจที่ใช้ในการพัฒนาสคริปต์โปรแกรมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเขียนและแก้ไข Source code ในการสร้างเว็บเพจ ด้วยภาษา HTML PHP และ Java เป็นต้น



ภาพ 3.4 โปรแกรม EditPlus

3.4.5.3 Apache AppServ

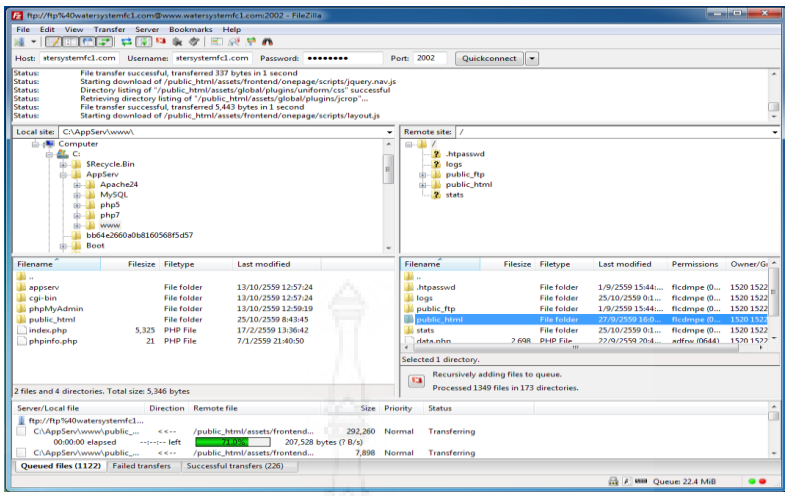
เป็นโปรแกรมที่รวบรวม Packages ต่างๆ ที่ใช้จำลองเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เป็น WebServer ซึ่งประกอบด้วย Apache Web Server ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่เป็น Web Server MySQL Database ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่เป็น Database Server PHP Hypertext Preprocessor ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ประมวลผลการทำงานของภาษา PHP Language คือ ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนา Dynamic Webpage และ phpMyAdmin ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการบริหารจัดการฐานข้อมูล MySQL ผ่านเว็บเพจ



ภาพ 3.5 โปรแกรม Apache AppServ

3.4.5.4 FileZilla Client

เป็นโปรแกรมประเภท FTP Client ที่ใช้สำหรับการส่งไฟล์หรือรับไฟล์ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเรียกว่า Client กับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย สามารถส่งไฟล์ต่าง ๆ ของเว็บไซต์เราขึ้นไปอยู่บนเซิร์ฟเวอร์ (Server) หรือ Web Hosting



ภาพ 3.6 โปรแกรม FileZilla Client

3.5 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาเป็นชุดข้อมูลแสดงค่าระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำแบบราย 3 ชั่วโมงที่เก็บรวบรวมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยอัตโนมัติจากการตั้งค่าให้โปรแกรมทำการวัด ส่ง บันทึก และแสดงค่าทุกๆ 3 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับการกำหนดช่วงเวลาของวิธีการปฏิบัติงานตามปกติ จำแนกออกเป็นบ่อใหญ่ (GT BTG1400) และบ่อเล็ก (GT BTG600) คิดเป็นวันละ 8 ครั้ง เป็นระยะเวลาต่อเนื่องทุกวันตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาในภาคสนามระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 รวม 40 วัน คิดเป็นชุดข้อมูลประเภทละ 320 ตัวอย่างเท่ากัน

3.6 สถิติที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลปฐมภูมิที่เก็บรวบรวมได้นำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติ 2 ชุด ดังนี้

3.6.1 สถิติเชิงพรรณนา

ใช้ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อบรรยายคุณลักษณะโดยรวมของข้อมูลที่ทำการศึกษา ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยเป็นค่าที่ได้จากการนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกัน แล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด ซึ่งเป็นการวัดแนวโน้มเข้าสู่กลางประเภทหนึ่งที่นิยมใช้กัน โดยมีสูตร $x = \Sigma X/n$ (ถาวร, 2556)

3.6.2 สถิติเชิงอนุมาน

ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสำหรับทดสอบสมมติฐาน ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ทั้งนี้ สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation) เป็นสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรที่เป็นอิสระต่อกัน โดยมีสูตร

$$. rXY = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}$$

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง $-1 < r < 1$ หากมีค่าเป็นบวกแสดงว่า x และ y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน (เชิงบวก) มีค่าเป็นลบแสดงว่า x และ y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม (เชิงลบ) มีค่าใกล้ 1 แสดงว่า x และ y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันในระดับมาก มีค่าใกล้ -1 แสดงว่า x และ y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้ามในระดับมาก และค่าใกล้ 0 แสดงว่า x และ y มีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย แต่มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า x และ y ไม่มีความสัมพันธ์กัน (ยุทธพล, 2548)

บทที่ 4

กระบวนการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาถึง โดยผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินวิจัยไว้ ดังนี้

4.1 การเตรียมตัวก่อนทำการทดสอบ

4.2 ขั้นตอนการศึกษา

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การเตรียมตัวก่อนทำการทดสอบ

4.1.1 การขออนุญาตใช้สถานที่และอุปกรณ์

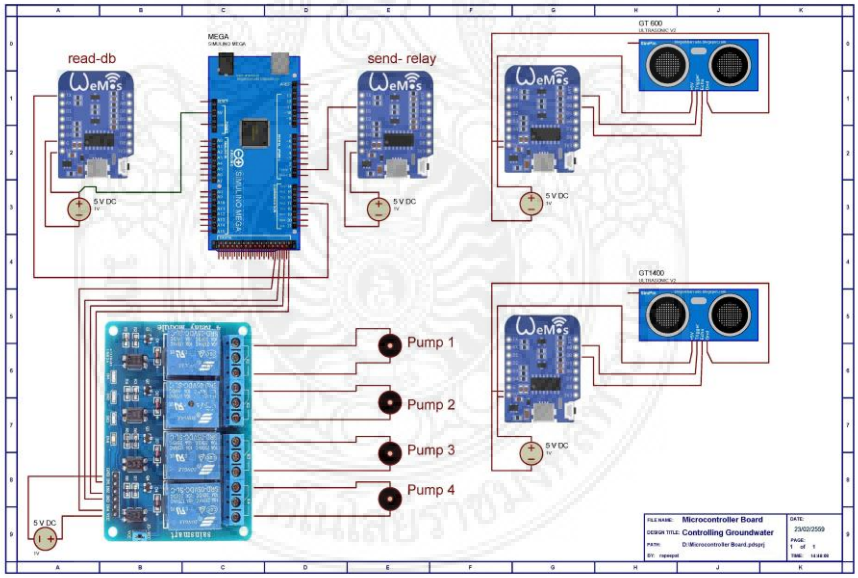
เนื่องจากนักศึกษาเป็นพนักงานประจำที่มีหน้าที่และความรับผิดชอบเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการวัตถุดิบที่ใช้นกระบวนการผลิตของโรงงานต่างๆ โดยเฉพาะในระบบน้ำบาดาล ทำให้นักศึกษาสามารถดำเนินการศึกษาตามโครงงานได้โดยสะดวก เพียงขออนุญาตใช้พื้นที่เพื่อทำการศึกษาในช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้อย่างไม่เป็นทางการ โดยสามารถติดตามการจดบันทึกข้อมูลด้านปริมาตรน้ำบาดาลในแต่ละบ่อให้สมบูรณ์ครบถ้วนและตรงตามจุดเวลาที่จดบันทึกเพื่อทำให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่จะนำมาใช้ทำการเปรียบเทียบมีความน่าเชื่อถือได้

4.1.2 การออกแบบโปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้จำลองการทำงานของอุปกรณ์โดยใช้โปรแกรม Proteus design suite 8 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถมากอีกโปรแกรมหนึ่ง ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ เพราะสามารถออกแบบวงจรไฟฟ้า พร้อมทั้งจำลองการทำงานของวงจรได้ อีกทั้งยังสามารถออกแบบลายวงจรพิมพ์ได้อีกด้วย ด้วยความสามารถที่โดดเด่น Proteus จึงอาจกล่าวได้ว่าเป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองพฤติกรรม (Simulator) การทำงานของวงจรที่ใช้ Microcontroller เบอร์ต่างๆ ได้มากมาย โดยไม่ต้องประกอบวงจรให้เสียเวลา เพื่อพิสูจน์ว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นใช้งานได้หรือไม่ โดยวงจรและโปรแกรม (Source code) ที่ตรวจสอบด้วยโปรแกรม Proteus เป็นที่เรียบร้อยแล้วว่าถูกต้อง เราก็สามารถสร้างวงจรจริงได้ตามต้องการ

ทั้งนี้ โปรแกรม Proteus หรือ Proteus VSN (Virtual System Modelling) เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยบริษัท แล็บเซ็นเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด (Labcenter Electronics Ltd.) ที่ประเทศอังกฤษ โปรแกรม Proteus มีชื่อเต็มว่า Labcenter Electronics Proteus ซึ่งภายใน

โปรแกรมจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ISIS และ ARES โปรแกรม Proteusจะมีอยู่หลายเวอร์ชันให้เลือกใช้งาน ซึ่งเวอร์ชันในปัจจุบัน คือ เวอร์ชัน 8 ความสามารถในการทำงานของโปรแกรม Proteus ก็คือ สามารถจำลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบอนาล็อกและแบบดิจิตอล หรือทั้งแบบอนาล็อกและดิจิตอลผสมกัน นอกจากนี้ Proteus ยังสามารถออกแบบลายวงจรพิมพ์ (PCB) ได้อีกด้วย จุดเด่นของโปรแกรม Proteus ที่เป็นที่นิยมและชื่นชอบก็คือ การจำลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น Arduno, PIC, MCS-51, AVR และ ARM เป็นต้น ทำให้นักเขียนโปรแกรมหรือโปรแกรมเมอร์สามารถตรวจสอบได้ว่าโปรแกรม หรือซอสโค้ด (Source Code) ที่เขียนขึ้นมานั้น สามารถสนับสนุนกับวงจรฮาร์ดแวร์ที่ต่อจำลองได้หรือไม่ ถ้าโปรแกรม (Source Code) ที่เขียนขึ้นไม่สนับสนุนกับวงจรที่ต่อจำลองโปรแกรมเมอร์ก็จะทำการพัฒนาโปรแกรม (Source Code) ที่เขียนขึ้นใหม่หรือปรับปรุงวงจรฮาร์ดแวร์ใน Proteus จนกว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นและฮาร์ดแวร์ที่ต่อจำลอง สามารถสนับสนุนซึ่งกันและกัน ทำให้การสร้างโครงงานต่าง ๆ สามารถประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก เพราะ ในอดีตการเขียนโปรแกรมขึ้นมานั้น จะต้องต่อวงจรจริงเพื่อทดสอบทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายมากในกรณีวงจรฮาร์ดแวร์และโปรแกรมที่เขียนขึ้นไม่สนับสนุนซึ่งกันและกัน



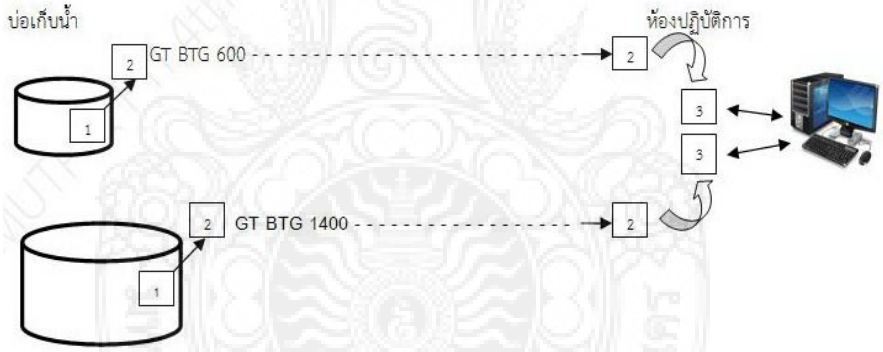
ภาพ 4.1 องค์ประกอบต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดที่ใช้ทดสอบ

4.1.3 การประกอบชิ้นงาน

4.1.3.1 เชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ต่างๆ โดยติดตั้งเครื่องรับส่งสัญญาณแบบไร้สายอยู่เหนือบ่อเก็บน้ำเพื่อรับข้อมูลจากเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำแล้วส่งต่อข้อมูล

ผ่านโมดูลการสื่อสารบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายไปยังเครื่องที่ 2 ที่ติดตั้งไว้ที่ป้อมรักษาการณ์ของบริเวณบ่อขุดเจาะน้ำบาดาลและบ่อเก็บน้ำเพื่อทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ควบคุมย่อยในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์วัดปลายทางและส่งข้อมูลไปยังเครื่องควบคุมหลัก ทั้งนี้ การรับส่งสัญญาณในละจุดของพื้นที่โล่งที่ทำการศึกษามีประสิทธิภาพเพียงพอและไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นหรือปัจจัยต่างๆ รอบข้างรบกวน โดยเฉพาะไม่พบการชนกันของคลื่นที่มาจาก 2 เครื่องรับส่งสัญญาณ

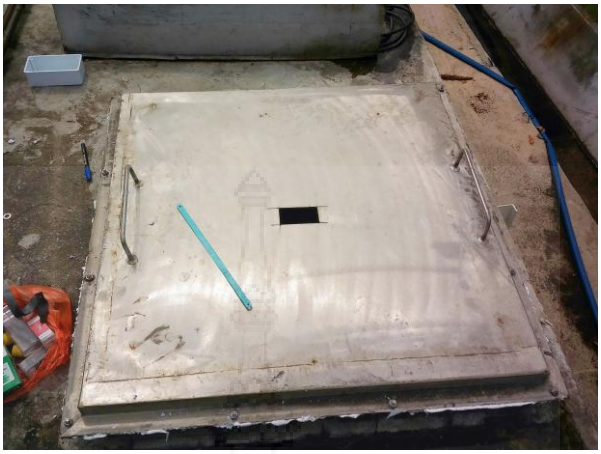
4.1.3.2 ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรมสำเร็จรูปกับเครื่องคอมพิวเตอร์กลางของห้องปฏิบัติการภายในบริเวณของโรงงาน ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากบ่อเก็บน้ำประมาณ 3 กิโลเมตรเพื่อใช้เก็บรวบรวมข้อมูลโดยอัตโนมัติสำหรับทดสอบถึงความเป็นได้ในการควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลโดยใช้เวลาในการประกอบและทดลองชิ้นงานทั้งหมดภายในวันเดียวและสามารถกำหนดให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการวัด บันทึก และแสดงผลระดับน้ำบาดาลได้แบบเวลาจริง (Real time) หรือตามความถี่ที่ต้องการ ซึ่งในการทดลองได้กำหนดให้บันทึกและแสดงผลราย 3 ชั่วโมงเพื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่จดบันทึกไว้ที่มีอยู่แล้ว และผลที่ประมวลได้และแสดงออกมามีค่าเป็นหน่วยลูกบาศก์เมตรที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาได้ทันที



ภาพ 4.2 การเชื่อมต่อของเครื่องมือวิจัยที่ใช้ในโครงงาน

ภาพ 4.3 การเจาะช่องไว้เชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ฝาปิดบ่อเล็ก (GT BTG600)

จากภาพ 4.3 แสดงตัวอย่างการเจาะช่องไว้เชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ฝาปิดบ่อเล็ก (GT BTG600)



ภาพ 4.4 ฝาปิดบ่อเล็ก (GT BTG600) ที่เจาะช่องไว้เชื่อมต่ออุปกรณ์แล้ว

จากภาพ 4.4 แสดงตัวอย่างฝาปิดบ่อเล็ก (GT BTG600) ที่เจาะช่องสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาดด้านละ 2 นิ้วไว้เชื่อมต่ออุปกรณ์แล้ว

ภาพ 4.5 การติดตั้งเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำบนบ่อเล็ก (GT BTG600)

จากภาพ 4.5 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อติดตั้งเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำบนบ่อเล็ก (GT BTG600) ผ่านช่องที่เจาะไว้

ภาพ 4.6 เครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำที่ติดตั้งบนบ่อเล็ก (GT BTG600) เสร็จแล้ว

จากภาพ 4.6 แสดงการเชื่อมต่อเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำบนบ่อเล็ก (GT BTG600) ผ่านช่องที่เจาะไว้แล้ว

ภาพ 4.7 การต่อสายจากเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำมาที่เครื่องรับส่งสัญญาณไร้สายที่อยู่เหนือบ่อ

จากภาพ 4.7 แสดงการต่อสายจากเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำมาที่เครื่องรับส่งสัญญาณแบบไร้สายที่อยู่เหนือบ่อ

ภาพ 4.8 เครื่องรับส่งสัญญาณแบบไร้สายที่ติดตั้งอยู่เหนือบ่อเสร็จแล้ว

จากภาพ 4.8 แสดงการติดตั้งเครื่องรับส่งสัญญาณแบบไร้สายที่ติดตั้งอยู่เหนือบ่อเสร็จแล้ว

4.1.4 การทดลองชิ้นงาน

เครื่องมือวิจัยทุกชิ้นได้ทำการติดตั้งเพื่อทำการทดสอบคุณภาพด้วยการสุ่มวัดระดับน้ำบาดาลแล้วนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่าที่จดบันทึกไว้ตามปกติก่อนทำการทดลองจริง เป็นระยะเวลา 7 วันๆ ละ 2 ครั้งในช่วงเช้าและช่วงบ่าย โดยไม่ได้เจาะจงเวลาทดสอบที่แน่นอนไว้ รวม 14 ครั้ง ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่าที่ได้ตลอด 7 วันมีความใกล้เคียงกับค่าที่บริษัทฯ จดบันทึกไว้ นอกจากนี้ ยังมีอุปกรณ์การจดบันทึกทั่วไปและแฟ้มข้อมูลเกี่ยวกับค่าระดับน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาสำหรับใช้อ้างอิงและทำการเปรียบเทียบ

ภาพ 4.9 ตัวอย่างการทดลองโปรแกรมและชิ้นงาน

จากภาพ 4.9 แสดงการทดลองโปรแกรมและชิ้นงานเสร็จแล้ว

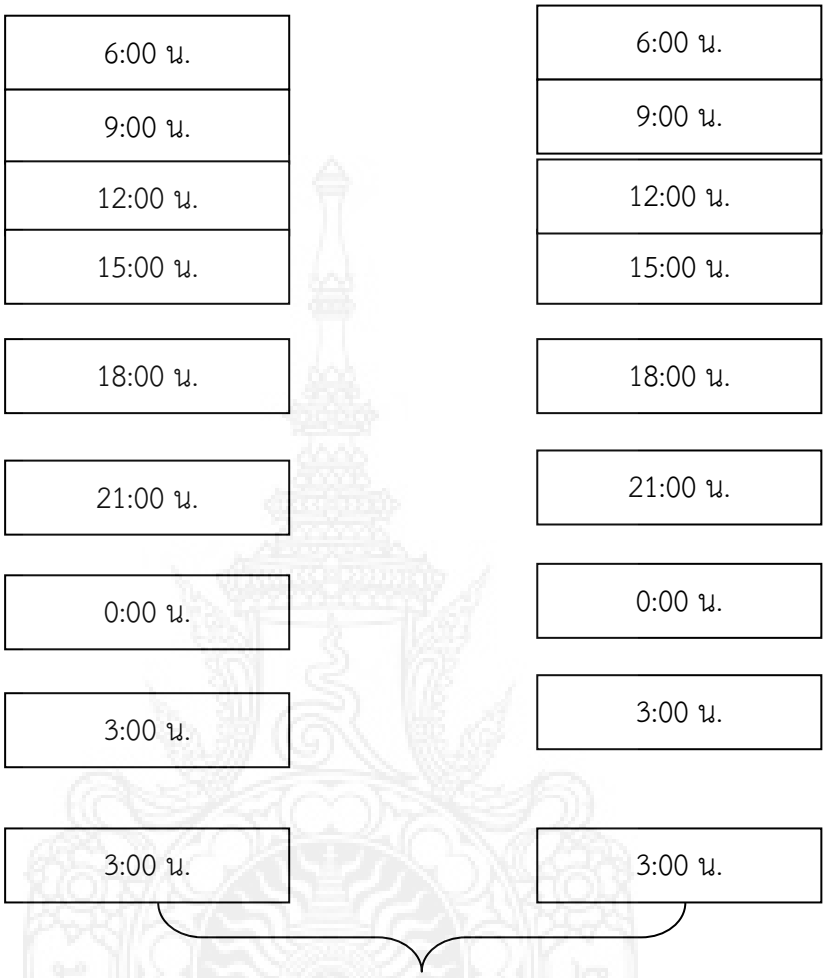
4.2 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ได้ข้อมูลมาจาก 2 แหล่งหลัก ดังนี้

4.2.1 แหล่งข้อมูลปฐมภูมิ

เป็นข้อมูลที่เป็นค่าระดับปริมาตรน้ำบาดาลที่เก็บรวบรวมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบขึ้นแบบราย 3 ชั่วโมงโดยตั้งโปรแกรมให้อ่านและบันทึกค่าในแต่ละจุดของเวลาตรงกับที่ใช้จดบันทึกตามปกติแบบอัตโนมัติในสภาพแวดล้อมในการทดสอบที่เป็นปกติในช่วงระยะเวลาระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 รวม 40 วัน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่จดบันทึกในช่วงเวลาเดียวกันโดยใช้แรงงานคนตามปกติสำหรับสืบค้นหาค่าความคาดเคลื่อน ซึ่งได้นำข้อมูลของทั้ง 2 แหล่งมาทำการศึกษาความสัมพันธ์และยอมรับความคลาดเคลื่อนที่ระดับร้อยละ 1 กล่าวคือ นักศึกษาได้เฝ้าติดตามและตรวจค่าที่แสดงไว้ด้วยการสุ่มเปรียบเทียบกับค่าที่จดบันทึกไว้ตามปกติ ณ เวลาและวันเดียวกันอย่างต่อเนื่อง เมื่อครบระยะเวลาที่ทำการศึกษาแล้ว จึงได้นำชุดข้อมูลที่เป็นค่าแสดงระดับน้ำบาดาลจำแนกออกตามรายบ่อเก็บน้ำทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์และทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ต่อไป

บันทึกอัตโนมัติด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ จดบันทึกโดยใช้แรงงานคนตามปกติ
วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559



วันที่ 12 มีนาคม 2559
ทำการเปรียบเทียบกันโดยยอมรับความคลาดเคลื่อนในระดับที่ร้อยละ 1

ภาพ 4.10 ขั้นตอนการทดสอบโครงงาน

4.2.2 แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ

เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทบทวนวรรณกรรมจากแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ ได้แก่ รายงานวิจัยประเภทต่างๆ เช่น วิทยานิพนธ์ รายงานการศึกษาค้นคว้าอิสระ และบทความวิชา หนังสือและสื่อการเรียนการสอน และสื่อออนไลน์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ประสบการณ์จากการทำงานโดยตรงมาใช้ร่วมกับวรรณกรรมที่ได้ทบทวนบางส่วนมากำหนดกรอบแนวความคิดและวิธีการดำเนินวิจัยเพื่อเริ่มการเก็บข้อมูลปฐมภูมิในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ 2558 ไปพร้อมกับการ

ทบทวนเพิ่มเติมจนขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิเสร็จสิ้น และได้ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมอีกอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนสิงหาคม 2558 ก่อนสรุปจัดทำรายงานและบทความนำเสนอ

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนของชุดข้อมูลที่เก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึกเป็นการนำข้อมูลที่มีบริษัทฯ เก็บรวบรวมด้วยวิธีการปกติและใช้อุปกรณ์การวัดแบบเดิมที่มีอยู่แล้วมาใช้ สำหรับข้อมูลที่เก็บรวบรวมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยการจำลองวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยอัตโนมัติแบบ Real Time ซึ่งสามารถกำหนดค่าความถี่ในการวัดและแสดงผลได้ในทันที โดยผู้วิจัยได้กำหนดการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นค่าระดับปริมาตรน้ำบาดาลทุกๆ 3 ชั่วโมงโดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์ด้วย 2 แนวทาง ดังนี้

4.3.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระดับปริมาตรน้ำบาดาลโดยรวมในบ่อเก็บน้ำ

เป็นศึกษาปริมาตรน้ำบาดาลโดยรวมในแต่ละบ่อและในภาพรวมในแต่ละช่วง 3 ชั่วโมงของแต่ละวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 โดยทำการเปรียบเทียบปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำตามบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับการจดบันทึกตามปกติด้วยการจดบันทึกแบบราย 3 ชั่วโมง ซึ่งนำค่าปริมาตรน้ำบาดาลแท้จริงที่มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรมาวิเคราะห์โดยพิจารณาใช้สถิติค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร่วมกับการใช้กราฟเส้นประกอบการอธิบายลักษณะของปริมาตรน้ำบาดาลต่างๆ โดยสามารถนำผลการศึกษาที่ได้มาใช้คาดคะเนสถานะการทำงานเบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำบาดาลต่างๆ จากการเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์มาตรฐานของปริมาตราน้ำบาดาลขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในแต่ละบ่อได้

4.3.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาตรน้ำบาดาลโดยรวมในบ่อเก็บน้ำ

เป็นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาตรน้ำบาดาลจำแนกตามรายบ่อและโดยรวมที่เก็บรวบรวมได้ในทุกๆ 3 ชั่วโมงของแต่ละวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 จากการใช้ 2 วิธีในภาพรวม ซึ่งนำค่าปริมาตรน้ำบาดาลแท้จริงที่มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 1 และสามารถนำมาใช้สอบยันถึงประสิทธิภาพในการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จากการวัดระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำได้

บทที่ 5

ผลการศึกษา

การศึกษาได้ออกแบบและสร้างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติตามรายละเอียดที่แสดงไว้บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน และบทที่ 4 กระบวนการทดลองเพื่อตอบวัตถุประสงค์ที่ 1 แล้วจึงได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติจากการเปรียบเทียบค่าที่จดบันทึกได้ในช่วงเวลาเดียวกันเพื่อตอบวัตถุประสงค์ที่ 2 ซึ่งผลการศึกษาการพัฒนาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาลค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติและที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้นำเสนอในหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.1 ผลการศึกษาเกี่ยวกับระดับปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้

5.2 ผลการศึกษาของกระบวนการทำงานที่ปรับแล้ว

5.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทำงาน

5.4 ผลการทดสอบสมมติฐาน

5.1 ผลการศึกษาเกี่ยวกับระดับปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้

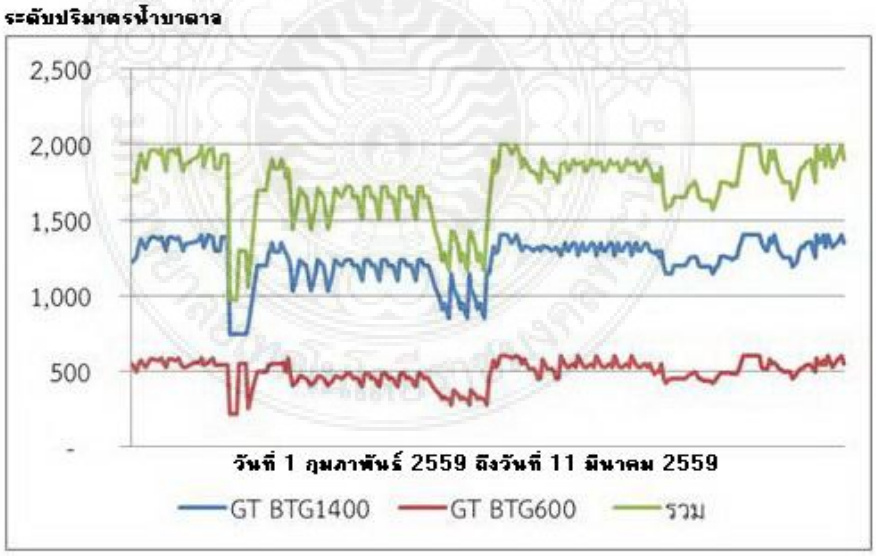
ผลการศึกษาเป็นผลการทดสอบการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาลใน 2 บ่อเก็บน้ำ (GT BTG 1400 และ GT BTG 600) สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาล โดยการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานจากการเปรียบเทียบค่าระดับปริมาตรน้ำบาดาลที่เก็บได้ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับค่าที่จดบันทึกตามปกติแบบราย 3 ชั่วโมงต่อเนื่องทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 รวม 40 วัน ซึ่งผลการทดสอบที่ได้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมโดยการจดบันทึกตามปกติแบบราย 3 ชั่วโมงต่อเนื่องทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (N = 320 หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)

บ่อเก็บน้ำ	ข้อมูลที่จดบันทึก			
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
GT BTG 1400	750	1,400	1,239.70	143.48
GT BTG 600	220	600	494.84	79.02
โดยรวม	970	2,000	1,734.55	213.57

หมายเหตุ: รายละเอียดของข้อมูลแสดงไว้ในภาคผนวก ก

จากตารางที่ 5.1 แสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมโดยการจดบันทึกตามปกติทุกๆ 3 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำ GT BTG 1400 (บ่อใหญ่) GT BTG 600 (บ่อเล็ก) และ 2 บ่อรวมกัน เท่ากับ 1,239.70 ลูกบาศก์เมตร 494.84 ลูกบาศก์เมตร และ 1,734.55 ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ โดยรายละเอียดของระดับปริมาตรน้ำบาดาลในแต่ละบ่อเก็บน้ำและโดยรวมได้แสดงเป็นกราฟไว้ตามภาพที่ 5.1



ภาพ 5.1 กราฟแสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมโดยการจดบันทึกตามปกติระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 จำแนกตามรายบ่อพักน้ำและโดยรวม (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)

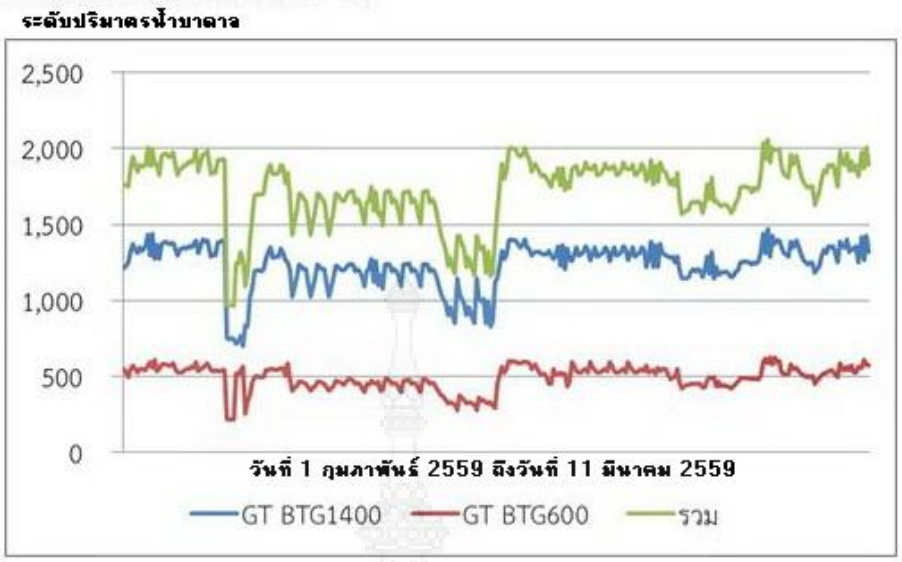
5.2 ผลการศึกษาของกระบวนการทำงานที่ปรับแล้ว

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ทุกๆ 3 ชั่วโมงต่อเนื่องทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (N = 320 หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)

บ่อเก็บน้ำ	ข้อมูลจากระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์			
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
GT BTG 1400	705	1,470	1,234.45	145.42
GT BTG 600	219	624	493.72	78.81
โดยรวม	965	2,058	1,728.14	214.10

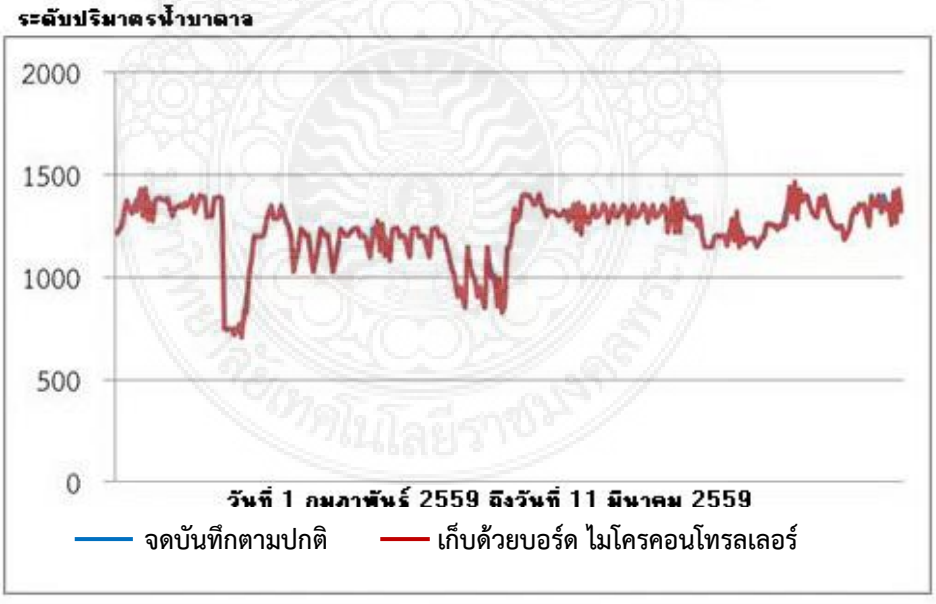
หมายเหตุ: รายละเอียดของข้อมูลแสดงไว้ในภาคผนวก ก

จากตารางที่ 5.2 แสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกๆ 3 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำ GT BTG 1400 (บ่อใหญ่) GT BTG 600 (บ่อเล็ก) และ 2 บ่อรวมกัน เท่ากับ 1,234.45 ลูกบาศก์เมตร 493.72 ลูกบาศก์เมตร และ 1,728.14 ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดในภาพรวม พบว่า ปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อใหญ่ บ่อเล็ก และ 2 บ่อรวมกันที่วัดและเก็บด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าต่ำสุดน้อยกว่าที่วัดและเก็บด้วยกรจดบันทึกตามปกติ ในขณะที่ ปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อใหญ่ บ่อเล็ก และ 2 บ่อรวมกันที่วัดและเก็บด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าสูงสุดมากกว่าที่วัดและเก็บด้วยการจดบันทึกตามปกติ โดยรายละเอียดของระดับปริมาตรน้ำบาดาลในแต่ละบ่อเก็บน้ำและโดยรวมได้แสดงเป็นกราฟไว้ตามภาพที่ 5.2



ภาพ 5.2 กราฟแสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 จำแนกตามรายบ่อพักน้ำและโดยรวม (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)

5.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทำงาน



ภาพ 5.3 กราฟแสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำขนาดใหญ่ (GT BTG 1400) เชิงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการจดบันทึกตามปกติและเก็บด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)

ภาพ 5.4 กราฟแสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำขนาดเล็ก (GT BTG 600) เชิงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการจดบันทึกตามปกติและเก็บด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)

ภาพ 5.5 กราฟแสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำโดยรวมเชิงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการจดบันทึกตามปกติและเก็บด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)

จากภาพที่ 5.3-5.5 เกี่ยวกับกราฟแสดงระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำเชิงเปรียบเทียบระหว่าง 2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่า ระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่เก็บด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอัตโนมัติระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 มีค่าต่ำกว่าระดับปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึกตามปกติเพียงเล็กน้อย

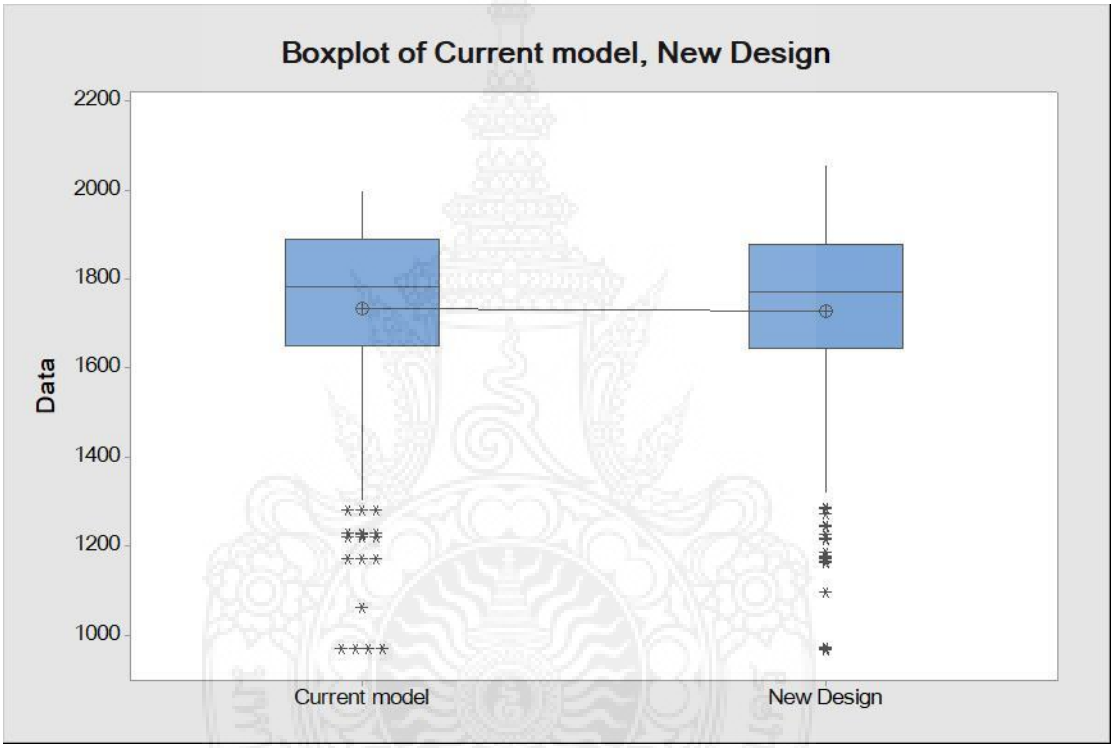
ภาพ 5.6 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บด้วยการจดบันทึกตามปกติและด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)

จากภาพที่ 5.6 เกี่ยวกับกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำเชิงเปรียบเทียบระหว่าง 2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่า ระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่เก็บด้วยการจดบันทึกตามปกติและด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอัตโนมัติระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 มีความคล้ายคลึงกันเป็นอย่างมากจนทำให้เส้นกราฟของทั้ง 2 วิธีแทบจะเป็นเส้นเดียวกัน

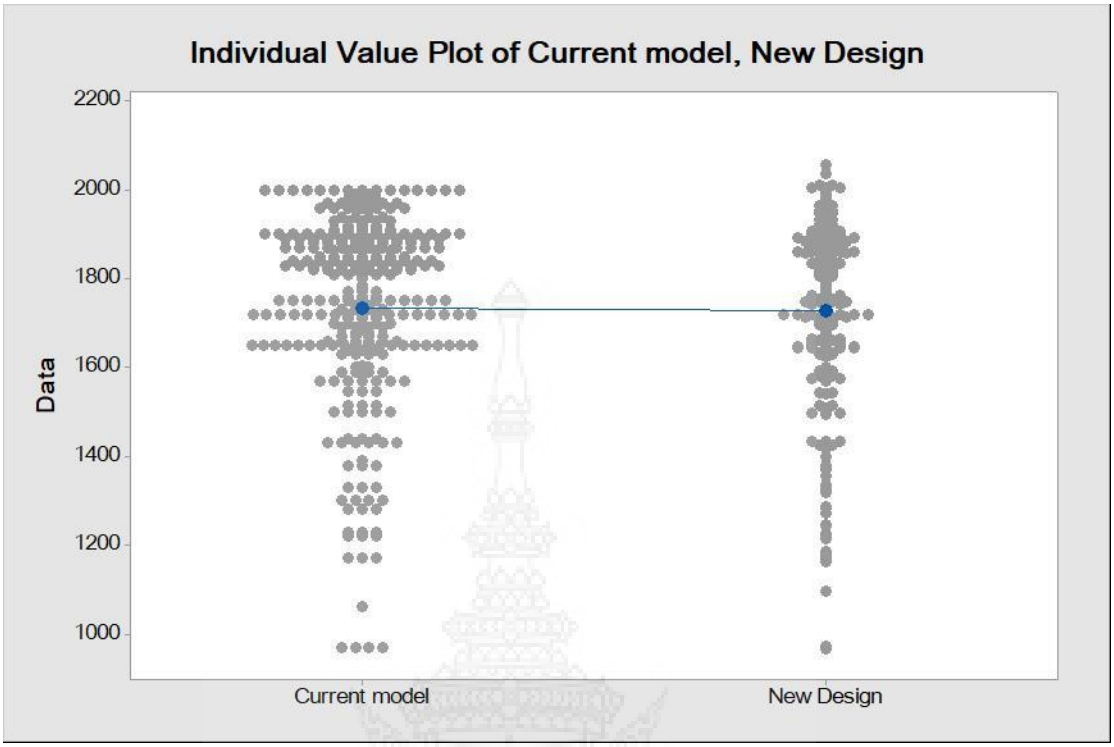
5.4 ผลการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานเพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และที่วัดด้วยการจดบันทึกตามปกติ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปสำหรับประมวลผลทางสถิติจากที่กำหนดไว้เป็นสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation);

$$.rXY = \frac{n\Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{[n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2][n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}$$



ภาพ 5.7 Boxplot of Current model ,New Design



ภาพ 5.8 Individual Value Current model, New Design

Two-Sample T-Test and CI: Current model, New Design

Two-sample T for Current model vs New Design

	N	Mean	StDev	SE Mean
Current model	320	1735	214	12
New Design	320	1728	214	12

Difference = μ (Current model) - μ (New Design)

Estimate for difference: 6.4

95% CI for difference: (-26.8, 39.6)

T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = 0.38

P-Value = 0.705 DF = 638

Both use Pooled StDev = 213.8346

Accept Ho: $\mu_1 = \mu_2$

ในการศึกษาสถิติความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรคือค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และที่วัดด้วยการจดบันทึกตามปกติ ประกอบด้วย GT BTG 1400. GT BTG 600 และโดยรวม (ค่าเฉลี่ยของ 2 บ่อ)

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และที่วัดด้วยการจดบันทึกตามปกติ (N = 320)

บ่อเก็บน้ำ		ข้อมูลที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึกตามปกติ		
		GT BTG 1400	GT BTG 600	โดยรวม
ข้อมูลที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอัตโนมัติ	GT BTG 1400	r = 0.984 (Sig.0.000)		
	GT BTG 600		r = 0.992 (Sig. 0.000)	
	โดยรวม			r = 0.993 (Sig. 0.000)

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่า ค่าปริมาตรน้ำบาดาลรายบ่อโดยรวมที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลโดยรวมที่วัดด้วยการจดบันทึกตามปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 1 จึงยอมรับสมมติฐานที่ตั้งไว้ เมื่อพิจารณาแบบรายบ่อ พบว่า ค่าปริมาตรน้ำบาดาลทั้ง 2 แห่งที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลของแต่ละบ่อที่วัดด้วยการจดบันทึกตามปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 1 จึงยอมรับสมมติฐานที่ตั้งไว้เช่นกัน ซึ่งทุกคู่ของบ่อเก็บน้ำที่แสดงค่าปริมาตรน้ำบาดาลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกันอยู่ในระดับที่สูงมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ระหว่าง 0.984 ถึง 0.993

บทที่ 6

อภิปรายผล

ในครั้งนี้มุ่งศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำ 2 แห่งของบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด แทนการเฝ้าติดตามวัดและจดบันทึกด้วยการใช้แรงงานคนตามที่กำหนดไว้ทุก 3 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่องทุกวัน ซึ่งทำให้เกิดความสิ้นเปลืองในการจ้างบุคลากรเพิ่ม มีกระบวนการวัดและจดบันทึกที่ยุ่งยากและเกิดความผิดพลาดและความไม่ต่อเนื่องมากกว่า ดังเช่นการนำข้อมูลที่เป็นค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดและจดบันทึกด้วยมือในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษามาใช้ศึกษาเปรียบเทียบพบว่าจุดเวลาของบางวันไม่ปรากฏการบันทึกค่าปริมาตรน้ำบาดาล ซึ่งเป็นผลมาจากพนักงานที่รับผิดชอบโดยตรงได้ละทิ้งหน้าที่หรือลาหยุดงานโดยกะทันหัน จึงทำให้การวัดและบันทึกข้อมูลไม่มีความต่อเนื่องและขาดความน่าเชื่อถือ โดยในการศึกษาได้แก้ปัญหาด้วยการนำค่าของจุดเวลาก่อนและหลังมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้แทนค่าของจุดเวลาที่หายไป อีกทั้งยังพบว่า ณ เวลา 3.00 น.ของวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2559 ปริมาตรน้ำบาดาลของบ่อ GT BTG 600 บันทึกค่าไว้เป็น 4,480 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นผลมาจากความผิดพลาดในการป้อนข้อมูลที่มีแนวโน้มจะเป็น 480 ลูกบาศก์เมตรแทน จึงได้ทำการปรับค่าก่อนนำมาใช้ศึกษา โดยปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากความผิดพลาดของบุคคลจะสามารถกำจัดไปให้หมดไปได้

ในการนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้วัดระดับปริมาตรน้ำบาดาลจะทำให้การดำเนินการมีความต่อเนื่อง โดยในการศึกษาได้กำหนดให้โปรแกรมดำเนินการวัด บันทึก และแสดงค่าทุก 3 ชั่วโมงเพื่อนำค่าที่ได้มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับค่าในวันและเวลาเดียวกันที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยมือตามปกติ ซึ่งสามารถปรับความถี่ในการดำเนินการของโปรแกรมได้ตามที่ต้องการในทางปฏิบัติจริงเพื่อเฝ้าติดตามการทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลโดยรวมของบริษัทฯ ได้อย่างใกล้ชิดในการป้องกันการหยุดทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลเป็นผลทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ขับเคลื่อนโรงงานไม่เพียงพอต่อกระบวนการผลิตและการดำเนินการผลิตของโรงงานต้องหยุดชะงัก โดยผลการศึกษาบ่งชี้ว่าค่าที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยมือและด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีความใกล้เคียงกันอย่างมากและมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด จึงสามารถนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ มาใช้ควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลได้อย่างมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับแนวคิดของ อนุชา และคณะ (2551) ที่กล่าวไว้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็กและราคาถูกแต่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง จึงได้รับความนิยมใช้ควบคุมโปรแกรมการสั่งงานระบบที่มีความซับซ้อนได้อย่างลงตัว และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุจิตร์ (2555) ที่ทำการศึกษาระบบ

ควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก) ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ โดยพบว่า ระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้านึ่ง (ข้าวฮางงอก) ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก)ได้จริงจากความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิที่ช่วยลดความชื้นได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งถาดอบส่งผลทำให้ข้าวเต็มเมล็ดมีคุณภาพดีไม่แตกร้าว ผลการศึกษาของ กิติพร, (2553) ที่ทำการพัฒนาระบบควบคุม PWM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับวงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ โดยพบว่าระบบควบคุม PWM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมการทำงานวงจรได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับระบบควบคุมอนาล็อกแบบเดิมที่มีความยุ่งยากในการออกแบบ และผลการศึกษาของ สุรชัย (2555) ที่ทำการศึกษาระบบควบคุมมอเตอร์แบบตรวจสอบสถานการณ์ทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์แบบตรวจสอบสถานการณ์ทำงาน 30 ครั้งมีความเที่ยงตรงและถูกต้องทุกครั้ง ตลอดจนความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ มนตรี (2555) ที่ศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อควบคุมระบบเครื่องกรองน้ำมันอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยพบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถใช้ควบคุมระบบเครื่องกรองน้ำมันอัตโนมัติได้จากการตั้งค่าในระบบไว้ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 30%RH ระบบจะทำการปิดระบบเองโดยอัตโนมัติเมื่อการทำงานของเครื่องได้จนถึงค่าเป้าหมาย

บทที่ 7

สรุปผล

ในครั้งนี้มุ่งศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำ 2 แห่งของบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด แบบอัตโนมัติ โดยกำหนดวัตถุประสงค์ที่ 1 ไว้เพื่อออกแบบและสร้างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติที่ได้กำหนดการออกแบบระบบตามหลักกรทำงานปกติและขั้นตอนการดำเนินโครงงานการออกแบบและสร้างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ระเบียบวิธีวิจัย พื้นที่ศึกษาจำแนกออกเป็นบริเวณบ่อเก็บน้ำและห้องปฏิบัติการภายในบริษัทฯ ในอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี และเครื่องมือวิจัยทั้งอุปกรณ์ฮาร์ทแวร์และอุปกรณ์ซอฟท์แวร์ ตลอดจนการกำหนดกระบวนการทดลองทั้งในส่วนของการเตรียมตัวก่อนทำการทดสอบและขั้นตอนการศึกษา รวมไปถึงการกำหนดกลุ่มตัวอย่างที่กลุ่มข้อมูลเกี่ยวกับค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึกตามปกติและที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ สถิติที่เกี่ยวข้อง และการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับใช้ศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติจากการเปรียบเทียบค่าที่จดบันทึกได้ในช่วงเวลาเดียวกันตามวัตถุประสงค์ที่ 2 ซึ่งผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าปริมาตรน้ำบาดาลในแต่ละบ่อเก็บน้ำและโดยรวมที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยมือและบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยสามารถพิจารณาได้จากการนำค่าทั้งหมดมาสร้างเป็นกราฟเส้นเปรียบเทียบ จึงจะทำให้เห็นภาพได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งค่าปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกกันสูงมากจนเกือบจะสมบูรณ์ จึงสรุปได้ว่าสามารถนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลได้เป็นอย่างดีและแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของเครื่องสูบน้ำบาดาลได้เป็นปกติ โดยสามารถนำแนวทางและผลการศึกษาที่ได้มาเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์ในเชิงปฏิบัติการจากการนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้พัฒนาแนวทางการจดบันทึกระดับปริมาตรน้ำบาดาลในแต่ละบ่อของบริษัทฯ ด้วยวิธีการจดบันทึกโดยใช้แรงงานคนแบบเดิมให้มาเป็นแบบอัตโนมัติในเวลาจริง (Real Time) และการแสดงผลเป็นระยะอย่างต่อเนื่องที่มีความถูกต้องแม่นยำและเชื่อถือได้ ทำให้โรงงานจะมีน้ำบาดาลในปริมาณที่เพียงพอต่อกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ และการแจ้งเตือนจุดวิกฤติของปริมาณน้ำบาดาลขั้นต่ำตามเกณฑ์ที่สามารถกำหนดได้จากพฤติกรรมการใช้น้ำในแต่ละช่วงเวลาที่ผ่านมาสำหรับป้องกันผลกระทบจากการหยุดชะงักของกระบวนการผลิต ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ในช่วง 40 วันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559

ที่ทำการศึกษาสำหรับ 2 บ่อ คือ GT BTG 1400 และ GT BTG 600 เท่ากับ 1,234.45 ลูกบาศก์เมตร และ 493.72 ลูกบาศก์เมตร โดยมีค่าเฉลี่ยโดยรวมของ 2 บ่อเท่ากับ 1,728.14 ลูกบาศก์เมตรจากสถานการณ์การผลิตปกติที่ในกรณีที่ทางบริษัทฯ ไม่ได้เปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตมากนักก็อาจสามารถนำผลการศึกษาดังกล่าวนี้มาใช้เป็นเกณฑ์กำหนดมาตรฐานระดับปริมาตรน้ำบาดาลของแต่ละบ่อและโดยรวมไว้ใช้งานได้ และยังสามารถปรับเกณฑ์ตามสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงในปริมาณการผลิตได้ตามความเหมาะสมอีกด้วย ซึ่งยังมีส่วนช่วยประหยัดต้นทุนการผลิตจากการใช้แรงงานคนได้อย่างยั่งยืนอีกด้วย และเป็นประโยชน์ในเชิงวิชาการที่ทำให้ได้แนวทางการควบคุมปริมาณน้ำบาดาลที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในแต่ละพื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่ที่ขาดแคลนแหล่งน้ำผิวดินสามารถนำมาเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้ระบบการรับส่งข้อมูลตามความเหมาะสมของโครงสร้างและลักษณะการทำงานขององค์กรกับการควบคุมปริมาณทั้งน้ำบาดาล และน้ำหรือของเหลวประเภทอื่นๆ โดยเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีใช้เองภายในประเทศที่มีราคาถูกและใช้งานง่าย นอกจากนี้ ยังสามารถนำแนวทางและผลการศึกษาที่ได้ไปใช้อ้างอิงเพื่อต่อยอดการศึกษาต่างๆ ในอนาคตได้อีกด้วย

บทที่ 8

แผนการนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาในครั้งนี้ได้ผ่านการทดสอบโดยการเปรียบเทียบข้อมูลกับที่ทำกรจดบันทึกตามปกติอย่างต่อเนื่องทุกวันรวม 40 วันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 โดยเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีความถี่สูงแบบทุก 3 ชั่วโมง รวม 8 ครั้งในแต่ละวันเพื่อสร้างความมั่นใจว่าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกมาสามารถนำมาใช้ตรวจวัดระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อพักน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพจริง ซึ่งผลการทดสอบและเปรียบเทียบค่าที่เก็บได้จาก 2 วิธีในช่วงเวลาเดียวกันมีความแตกต่างกันน้อยมาก จึงสามารถยืนยันได้ว่าบริษัทฯ สามารถนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบมาใช้เป็นเครื่องมือควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อพักน้ำที่จะนำไปใช้ขับเคลื่อนกระบวนการผลิตของโรงงานได้ต่อไป โดยสามารถกำหนดเกณฑ์มาตรฐานไว้เฝ้าระวังจุดวิกฤติตามค่าเฉลี่ยของแต่ละบ่อที่ทำการศึกษาได้หรือ GT BTG 1400 เท่ากับ 1,234.45 ลูกบาศก์เมตร และ GT BTG 600 เท่ากับ 493.72 ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าเฉลี่ยโดยรวมของ 2 บ่อเท่ากับ 1,728.14 ลูกบาศก์เมตร โดยที่บริษัทฯ ยังปรับเกณฑ์ตามสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงในปริมาณการผลิตได้ตามความเหมาะสมอีกด้วย ซึ่งจะมีส่วนช่วยบริษัทฯ ลดต้นทุนด้านการจ้างแรงงานมาทำการจดบันทึกแบบเดิม แต่สามารถเพิ่มปริมาณงานให้พนักงานให้มีความรับผิดชอบในการดูแลการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นระยะอย่างสม่ำเสมอได้โดยค่าที่ได้สามารถเก็บสะสมเป็นฐานข้อมูลที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ ทั้งนี้ ระดับปริมาตรน้ำบาดาลที่ลดลงจากการบันทึกที่ได้ในบางครั้งยังเป็นเครื่องแจ้งเตือนถึงเวลาในการซ่อมบำรุงเครื่องสูบน้ำที่อาจเริ่มชำรุดตลอดจนการตรวจสอบและทำความสะอาดบ่อพักน้ำก่อนที่จะเกิดปัญหาใหญ่จนส่งผลกระทบทำให้กระบวนการผลิตของโรงงานต้องหยุดชะงักได้อีกด้วย

นอกจากนี้ บริษัทฯ ควรพิจารณาเพิ่มจำนวนบ่อพักน้ำเพื่อใช้เป็นแหล่งน้ำสำรองสำหรับกักเก็บน้ำไว้ใช้ได้มากขึ้นโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนหรือน้ำหลาก ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนในสถานการณ์ที่ขาดแคลนหรือมีความต้องการใช้น้ำแบบเร่งด่วนหรือแบบไม่ทันคาดคิด และยังสามารถใช้เป็นแหล่งน้ำเพิ่มสำหรับการขยายกิจกรรมด้านการผลิตในอนาคตอีกด้วย ทั้งนี้ บริษัทฯ อาจต้องพิจารณาบริหารจัดการน้ำทิ้งจากโรงงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นร่วมด้วย โดยการพิจารณานำน้ำที่ยังมีคุณภาพดีไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นหรือการปรับสภาพก่อนนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตใหม่ตามความเหมาะสมต่อไป

ในการวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าตามตัวเลขทางการเงินจากการประยุกต์ใช้งานจริงที่มีการลงทุนเริ่มแรกรวม 13,800 บาท ซึ่งถือว่าเป็นสินทรัพย์ไม่หมุนเวียนที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 1 ปี และมีค่าใช้จ่ายคงที่ในรูปแบบของค่าไฟฟ้าในการเปิดใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เชื่อมต่ออย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่ประมาณการไว้เดือนละ 1,500 บาท โดยถือว่าเป็นจุดคุ้มทุนเมื่อบริษัทฯ ได้รับผลประโยชน์จากการติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติแล้ว จึงสรุปได้ว่าบริษัทฯ เกิดความคุ้มค่าจากการลงทุนอย่างแน่นอน เนื่องจากบริษัทฯ จะได้รับผลประโยชน์จากการประหยัดค่าจ้างแรงงาน 1 ตำแหน่งในอัตราปัจจุบันเดือนละ 22,000 บาทที่มากกว่าจุดคุ้มทุนด้งกล่าว ซึ่งยังไม่นับรวมถึงประโยชน์จากการป้องกันผลกระทบเชิงลบที่อาจจะเกิดกับกระบวนการผลิตของโรงงาน โดยไม่สามารถตีค่าความเสียหายได้อีกด้วย

ตารางที่ 8.1 แสดงประโยชน์ที่ได้รับตามที่ปรากฏและที่ได้รับสุทธิ

ต้นทุนคงที่		ประโยชน์ที่ได้รับตามที่ปรากฏ		ผลต่างที่ได้รับ (สุทธิ)	
รายเดือน	รายปี	รายเดือน	รายปี	รายเดือน	รายปี
1,500	18,000	22,000	264,000	20,500	246,000

จากตารางที่ 8.1 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนคงที่กับประโยชน์ที่ได้รับตามที่ปรากฏและที่ได้รับสุทธิหลังหักต้นทุนคงที่แล้ว พบว่า บริษัทฯ จะได้รับประโยชน์ในรูปแบบตัวเงินที่นับได้ เท่ากับ 20,500 บาทต่อเดือนหรือ 246,000 บาทต่อปี และเป็นจำนวนมหาศาลในระยะยาวต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2549). **โครงการจัดทำแผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล.** รายงานฉบับสมบูรณ์

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2553, ตุลาคม). **โครงการสำรวจสถานภาพบ่อน้ำบาดาล ศึกษากำหนดเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์และประเมินการใช้น้ำบาดาลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลของประเทศ.** รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 2/10 รายงานหลัก

กองควบคุมยา สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. (2547). **ระบบน้ำที่ใช้อุตสาหกรรมยา.** พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งระเทศไทย จำกัด

กิติพร พาวังราช. (2553). **การพัฒนาระบบควบคุม PWM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับวงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์.** วิทยานิพนธ์หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เครือเบทาโกร. (2559). **ความเป็นมา.** [ออนไลน์] เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2559 จาก http://www.betagro.com/history_th.php

ณัฐพล ดวงศรีทอง ระพีพันธ์ ใจมา และศรัณย์ เขียวเหล็ก. (2557). **การวัดระดับน้ำโดย Arduino.** ปริญญานิพนธ์นี้หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ถาวร ทันใจ. (2556). **การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น.** เอกสารประกอบการบรรยาย สมาคมประสามวิทยาศาสตร์ภาคตะวันออกเฉลี่ยงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ทวีศักดิ์ พูนศรีเจริญกุล. (2557). **แนวทางการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการจัดการระบบสาธารณูปโภคและซ่อมบำรุง.** รายงานวิจัยภาควิชาระบบควบคุมและเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด. (2558). **ปริมาณน้ำบาดาลที่สูบได้และใช้ประจำปี 2558**. รายงานภายในบริษัท

บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด. (2559). **ประวัติ BFI**. เอกสารแสดงแฟ้มประวิติของบริษัทฯ

ปฏิภาณ ดำรงธรรมสกุล ธิติ อัคราภิรมย์ และประณต ไชยศล. (2558). **ระบบควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ.** รายงานปริญญานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ประสิทธิ์ เรืองฤทธิ์. (2559). **ระบบบำบัดน้ำเสีย บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด.** รายงานการนำเสนอ

มนตรี โนนพะยอม. (2555). **การประยุกต์ใช้ทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อควบคุมระบบเครื่องกรองน้ำมันอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.** วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ยุทธพล วงศ์จงใจหาญ. (2548). **ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวลในเขตจังหวัดสมุทรปราการ.** รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

วจี รามณรงค์และสมชัย วงศ์สวัสดิ์. (2542). **ทรัพยากรน้ำใต้ดินในประเทศไทย.** กรุงเทพมหานคร: ชมรมนักอุทกวิทยา

วสันต์ จันทร์แสดง. (2552). **ความต้องการใช้น้ำบาดาลและการรับรู้ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำบาดาลของประชาชนพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ.** รายงานปัญหาพิเศษหลักสูตรปริญญารัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารทั่วไป มหาวิทยาลัยบูรพา

วิฑิต ศิริโภคากิจ. (2543). **การสำรวจน้ำบาดาล (เอกสารประกอบกรบรรยายวิชา 505343 เล่ม 2).** นครราชสีมา: อุทกธรณีวิทยาของประเทศไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สามารถ ริมใหม่. (2550). **ความต้องการใช้น้ำบาดาลของประชาชนในเขตอำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย.** รายงานการศึกษาอิสระสาขาวิชาการจัดการทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2556). **รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2555.** พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด

สุกัญญา หนูทอง. (2550). **การวางแผลงสุ่มตัวอย่างเพื่อคำนวณปริมาณการสูบน้ำบาดาลระดับตื้น.** วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

สุจิตร์ สุราช. (2555). **ระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก) ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์.** วิทยานิพนธ์หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สุทธีรัตน์ หมวดจันทร์. (2555). **การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในโรงงานผลิตซอสปรุงรส.** รายงานโครงงานศึกษาทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สุรชัย จันทนา. (2555). **ระบบควบคุมมอเตอร์แบบตรวจสอบสถานการณ์ทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.** วิทยานิพนธ์หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สุรพล อารีย์กุล. (2534). **ศักยภาพน้ำบาดาลในแอ่งหาดใหญ่.** รายงานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อนุชา หิรัญวัฒน์ นฤพนธ์ พนากุลชัยวิทย์ และสมชัย ตรีรัตนจารุ (2551). **การควบคุมอัตโนมัติและการประยุกต์ใช้พีแอลซี (ขั้นกลาง).** กรุงเทพมหานคร: ธนินชัด

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ค่าระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำแบบราย 3 ชั่วโมงที่เก็บรวบรวมโดยการจดบันทึกตามปกติและผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 จำแนกตามรายบ่อและโดยรวม

ภาคผนวก ข การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 5 ประจำปี 2559

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
1	6:00	1,220	550	1,770	1,214	549	1,763
	9:00	1,235	525	1,760	1,231	528	1,759
	12:00	1,250	500	1,750	1,251	498	1,749
	15:00	1,330	550	1,880	1,325	551	1,876
	18:00	1,370	570	1,940	1,377	571	1,947
	21:00	1,340	550	1,890	1,333	551	1,884
	0:00	1,310	530	1,840	1,317	529	1,845
	3:00	1,350	550	1,900	1,347	551	1,898
2	6:00	1,380	580	1,960	1,325	551	1,876
	9:00	1,385	580	1,965	1,357	539	1,897
	12:00	1,390	580	1,970	1,432	574	2,006
	15:00	1,380	575	1,955	1,297	592	1,889
	18:00	1,370	570	1,940	1,439	559	1,997
	21:00	1,390	590	1,980	1,279	614	1,892
	0:00	1,340	550	1,890	1,367	534	1,900
	3:00	1,300	530	1,830	1,274	551	1,825
3	6:00	1,380	580	1,960	1,373	579	1,952
	9:00	1,385	580	1,965	1,381	583	1,964
	12:00	1,390	580	1,970	1,391	578	1,969
	15:00	1,380	575	1,955	1,374	576	1,951
	18:00	1,370	570	1,940	1,377	571	1,947
	21:00	1,390	590	1,980	1,383	591	1,974
	0:00	1,340	550	1,890	1,347	549	1,896
	3:00	1,300	530	1,830	1,297	531	1,828

ภาคผนวก ก-1 ค่าระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำแบบราย 3 ชั่วโมงที่เก็บรวบรวมโดยการจดบันทึกตามปกติและผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 จำแนกตามรายบ่อและโดยรวม

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
4	6:00	1340	530	1,870	1,335	527	1,862
	9:00	1,345	535	1,880	1,342	531	1,874
	12:00	1350	540	1,890	1,354	539	1,894
	15:00	1350	550	1,900	1,342	552	1,894
	18:00	1,355	555	1,910	1,362	554	1,916
	21:00	1360	560	1,920	1,349	562	1,911
	0:00	1370	560	1,930	1,373	558	1,931
	3:00	1400	590	1,990	1,397	592	1,990
5	6:00	1320	540	1,860	1,313	539	1,852
	9:00	1,360	550	1,910	1,356	553	1,909
	12:00	1400	560	1,960	1,401	558	1,959
	15:00	1,395	575	1,970	1,389	576	1,966
	18:00	1390	590	1,980	1,397	591	1,988
	21:00	1300	540	1,840	1,294	541	1,835
	0:00	1300	540	1,840	1,307	539	1,845
	3:00	1300	540	1,840	1,297	541	1,838
6	6:00	1,390	540	1,930	1,384	537	1,922
	9:00	1,390	540	1,930	1,387	536	1,923
	12:00	1,390	540	1,930	1,394	539	1,934
	15:00	1,390	540	1,930	1,382	542	1,923
	18:00	750	220	970	754	220	973
	21:00	750	220	970	744	221	965
	0:00	750	220	970	752	219	971
	3:00	750	220	970	749	221	969

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
7	6:00	750	550	1,300	720	523	1,243
	9:00	750	550	1,300	735	512	1,247
	12:00	750	550	1,300	773	545	1,317
	15:00	750	550	1,300	705	567	1,272
	18:00	800	260	1,060	840	255	1,095
	21:00	900	325	1,225	828	338	1,166
	0:00	1,000	390	1,390	1,020	378	1,398
	3:00	1,100	445	1,545	1,078	463	1,541
8	6:00	1,200	500	1,700	1,194	499	1,693
	9:00	1,200	500	1,700	1,196	503	1,699
	12:00	1,200	500	1,700	1,201	498	1,699
	15:00	1,200	500	1,700	1,195	501	1,696
	18:00	1,200	500	1,700	1,206	501	1,707
	21:00	1,280	540	1,820	1,274	541	1,815
	0:00	1,315	545	1,860	1,322	544	1,865
	3:00	1,350	550	1,900	1,347	551	1,898
9	6:00	1,290	550	1,840	1,285	547	1,832
	9:00	1,290	550	1,840	1,287	546	1,834
	12:00	1,290	550	1,840	1,294	549	1,843
	15:00	1,350	550	1,900	1,342	552	1,894
	18:00	1,310	560	1,870	1,317	559	1,875
	21:00	1,280	500	1,780	1,270	502	1,772
	0:00	1,250	590	1,840	1,253	588	1,841
	3:00	1,200	480	1,680	1,198	482	1,680

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
10	6:00	1,030	410	1,440	1,025	409	1,434
	9:00	1,090	425	1,515	1,087	427	1,514
	12:00	1,150	440	1,590	1,151	438	1,589
	15:00	1240	470	1,710	1,235	471	1,706
	18:00	1,220	470	1,690	1,226	470	1,697
	21:00	1,210	460	1,670	1,204	461	1,665
	0:00	1,200	450	1,650	1,206	449	1,655
	3:00	1,115	430	1,545	1,113	430	1,543
11	6:00	1,030	410	1,440	1,025	409	1,434
	9:00	1,090	425	1,515	1,087	427	1,514
	12:00	1,150	440	1,590	1,151	438	1,589
	15:00	1240	470	1,710	1,235	471	1,706
	18:00	1,220	470	1,690	1,226	470	1,697
	21:00	1,210	460	1,670	1,204	461	1,665
	0:00	1,200	450	1,650	1,206	449	1,655
	3:00	1,115	430	1,545	1,113	430	1,543
12	6:00	1,030	410	1,440	1,026	408	1,434
	9:00	1,090	425	1,515	1,088	422	1,510
	12:00	1,150	440	1,590	1,153	440	1,593
	15:00	1240	470	1,710	1,233	471	1,704
	18:00	1,220	470	1,690	1,226	469	1,695
	21:00	1,210	460	1,670	1,200	462	1,662
	0:00	1,200	450	1,650	1,202	449	1,651
	3:00	1,220	465	1,685	1,218	467	1,684

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
13	6:00	1240	480	1,720	1,234	479	1,713
	9:00	1240	480	1,720	1,236	482	1,719
	12:00	1240	480	1,720	1,241	478	1,719
	15:00	1200	450	1,650	1,195	451	1,646
	18:00	1200	460	1,660	1,206	460	1,666
	21:00	1200	450	1,650	1,194	451	1,645
	0:00	1150	420	1,570	1,156	419	1,575
	3:00	1100	400	1,500	1,098	400	1,498
14	6:00	1240	480	1,720	1,190	456	1,646
	9:00	1240	480	1,720	1,215	446	1,662
	12:00	1240	480	1,720	1,277	475	1,752
	15:00	1200	450	1,650	1,128	464	1,592
	18:00	1200	460	1,660	1,260	451	1,711
	21:00	1200	450	1,650	1,104	468	1,572
	0:00	1150	420	1,570	1,173	407	1,580
	3:00	1100	400	1,500	1,078	416	1,494
15	6:00	1240	480	1,720	1,234	479	1,713
	9:00	1240	480	1,720	1,236	482	1,719
	12:00	1240	480	1,720	1,241	478	1,719
	15:00	1200	450	1,650	1,195	451	1,646
	18:00	1200	460	1,660	1,206	460	1,666
	21:00	1200	450	1,650	1,194	451	1,645
	0:00	1150	420	1,570	1,156	419	1,575
	3:00	1100	400	1,500	1,098	400	1,498

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
16	6:00	1240	480	1,720	1,235	478	1,713
	9:00	1240	480	1,720	1,238	477	1,714
	12:00	1240	480	1,720	1,244	480	1,723
	15:00	1200	450	1,650	1,193	451	1,644
	18:00	1200	460	1,660	1,206	459	1,665
	21:00	1200	450	1,650	1,190	452	1,642
	0:00	1150	420	1,570	1,152	419	1,571
	3:00	1100	400	1,500	1,098	402	1,499
17	6:00	1240	480	1,720	1,234	479	1,713
	9:00	1240	480	1,720	1,236	482	1,719
	12:00	1240	480	1,720	1,241	478	1,719
	15:00	1200	450	1,650	1,195	451	1,646
	18:00	1200	460	1,660	1,206	460	1,666
	21:00	1200	450	1,650	1,194	451	1,645
	0:00	1150	420	1,570	1,156	419	1,575
	3:00	1100	400	1,500	1,098	400	1,498
18	6:00	1,050	380	1,430	1,045	379	1,424
	9:00	1,015	365	1,380	1,012	367	1,379
	12:00	980	350	1,330	981	349	1,330
	15:00	910	320	1,230	906	321	1,227
	18:00	950	330	1,280	955	330	1,285
	21:00	900	320	1,220	896	321	1,216
	0:00	850	320	1,170	854	319	1,174
	3:00	1,150	280	1,430	1,148	280	1,428

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
19	6:00	1,050	380	1,430	1,046	378	1,424
	9:00	1,015	365	1,380	1,013	362	1,375
	12:00	980	350	1,330	983	350	1,333
	15:00	910	320	1,230	905	321	1,226
	18:00	950	330	1,280	955	329	1,284
	21:00	900	320	1,220	893	321	1,214
	0:00	850	320	1,170	852	319	1,171
	3:00	1,150	280	1,430	1,148	281	1,429
20	6:00	1,050	380	1,430	1,008	361	1,369
	9:00	1,015	365	1,380	995	339	1,334
	12:00	980	350	1,330	1,009	347	1,356
	15:00	910	320	1,230	855	330	1,185
	18:00	950	330	1,280	998	323	1,321
	21:00	900	320	1,220	828	333	1,161
	0:00	850	320	1,170	867	310	1,177
	3:00	1,150	280	1,430	1,127	291	1,418
21	6:00	1,150	450	1,600	1,144	449	1,593
	9:00	1,240	510	1,750	1,236	513	1,749
	12:00	1,330	570	1,900	1,331	568	1,899
	15:00	1,280	530	1,810	1,275	531	1,806
	18:00	1,300	550	1,850	1,307	551	1,857
	21:00	1,400	600	2,000	1,393	601	1,994
	0:00	1,400	600	2,000	1,407	599	2,006
	3:00	1,400	600	2,000	1,397	601	1,998

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
22	6:00	1400	600	2,000	1,394	597	1,991
	9:00	1,375	595	1,970	1,372	591	1,963
	12:00	1350	590	1,940	1,354	589	1,943
	15:00	1,375	595	1,970	1,367	597	1,964
	18:00	1400	600	2,000	1,407	599	2,006
	21:00	1,365	595	1,960	1,354	597	1,951
	0:00	1330	590	1,920	1,333	588	1,921
	3:00	1300	550	1,850	1,297	552	1,850
23	6:00	1,330	580	1,910	1,323	579	1,902
	9:00	1,325	550	1,875	1,321	553	1,874
	12:00	1,320	520	1,840	1,321	518	1,839
	15:00	1,310	510	1,820	1,305	511	1,816
	18:00	1,300	520	1,820	1,307	521	1,827
	21:00	1,310	500	1,810	1,303	501	1,804
	0:00	1,320	450	1,770	1,327	449	1,776
	3:00	1,300	450	1,750	1,297	450	1,748
24	6:00	1,330	580	1,910	1,277	551	1,828
	9:00	1,325	550	1,875	1,299	512	1,810
	12:00	1,320	520	1,840	1,360	515	1,874
	15:00	1,310	510	1,820	1,231	525	1,757
	18:00	1,300	520	1,820	1,365	510	1,875
	21:00	1,310	500	1,810	1,205	520	1,725
	0:00	1,320	450	1,770	1,346	437	1,783
	3:00	1,300	450	1,750	1,274	468	1,742

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
25	6:00	1270	600	1,870	1,264	599	1,862
	9:00	1,310	570	1,880	1,306	573	1,879
	12:00	1350	540	1,890	1,351	538	1,889
	15:00	1300	530	1,830	1,295	531	1,826
	18:00	1300	530	1,830	1,307	531	1,837
	21:00	1,325	540	1,865	1,318	541	1,859
	0:00	1350	550	1,900	1,357	549	1,906
	3:00	1340	530	1,870	1,337	531	1,868
26	6:00	1270	600	1,870	1,265	597	1,862
	9:00	1,310	570	1,880	1,307	566	1,873
	12:00	1350	540	1,890	1,354	539	1,894
	15:00	1300	530	1,830	1,292	532	1,824
	18:00	1300	530	1,830	1,307	529	1,835
	21:00	1,325	540	1,865	1,314	542	1,857
	0:00	1350	550	1,900	1,353	548	1,901
	3:00	1340	530	1,870	1,337	532	1,869
27	6:00	1270	600	1,870	1,264	599	1,862
	9:00	1,310	570	1,880	1,306	573	1,879
	12:00	1350	540	1,890	1,351	538	1,889
	15:00	1300	530	1,830	1,295	531	1,826
	18:00	1300	530	1,830	1,307	531	1,837
	21:00	1,325	540	1,865	1,318	541	1,859
	0:00	1350	550	1,900	1,357	549	1,906
	3:00	1340	530	1,870	1,337	531	1,868

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
28	6:00	1270	600	1,870	1,265	597	1,862
	9:00	1,310	570	1,880	1,307	566	1,873
	12:00	1350	540	1,890	1,354	539	1,894
	15:00	1300	530	1,830	1,292	532	1,824
	18:00	1300	530	1,830	1,307	529	1,835
	21:00	1,325	540	1,865	1,314	542	1,857
	0:00	1350	550	1,900	1,353	548	1,901
	3:00	1340	530	1,870	1,337	532	1,869
29	6:00	1270	600	1,870	1,219	570	1,789
	9:00	1,310	570	1,880	1,284	530	1,814
	12:00	1350	540	1,890	1,391	535	1,925
	15:00	1300	530	1,830	1,222	546	1,768
	18:00	1300	530	1,830	1,365	519	1,884
	21:00	1,325	540	1,865	1,219	562	1,781
	0:00	1350	550	1,900	1,377	534	1,911
	3:00	1340	530	1,870	1,313	551	1,864
1	6:00	1,300	550	1,850	1,295	547	1,842
	9:00	1,290	515	1,805	1,287	511	1,799
	12:00	1,280	480	1,760	1,284	480	1,763
	15:00	1,300	500	1,800	1,292	502	1,794
	18:00	1,250	500	1,750	1,256	499	1,755
	21:00	1,300	550	1,850	1,290	552	1,842
	0:00	1,200	460	1,660	1,202	459	1,661
	3:00	1,150	420	1,570	1,148	422	1,569

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
2	6:00	1,150	440	1,590	1,144	439	1,583
	9:00	1,150	445	1,595	1,147	447	1,594
	12:00	1,150	450	1,600	1,151	448	1,599
	15:00	1,200	450	1,650	1,195	451	1,646
	18:00	1,200	450	1,650	1,206	450	1,656
	21:00	1,200	450	1,650	1,194	451	1,645
	0:00	1,200	450	1,650	1,206	449	1,655
	3:00	1,200	450	1,650	1,198	450	1,648
3	6:00	1,200	450	1,650	1,152	428	1,580
	9:00	1,225	465	1,690	1,201	432	1,633
	12:00	1,250	480	1,730	1,288	475	1,763
	15:00	1,250	480	1,730	1,175	494	1,669
	18:00	1,260	500	1,760	1,323	490	1,813
	21:00	1,250	480	1,730	1,150	499	1,649
	0:00	1,200	450	1,650	1,224	437	1,661
	3:00	1,190	450	1,640	1,166	468	1,634
4	6:00	1,190	440	1,630	1,184	439	1,623
	9:00	1,190	440	1,630	1,186	442	1,629
	12:00	1,190	440	1,630	1,191	438	1,629
	15:00	1,190	440	1,630	1,185	441	1,626
	18:00	1,150	420	1,570	1,156	420	1,576
	21:00	1,170	435	1,605	1,164	436	1,600
	0:00	1,190	450	1,640	1,196	449	1,645
	3:00	1,200	470	1,670	1,198	470	1,668

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
5	6:00	1,260	490	1,750	1,254	489	1,743
	9:00	1,260	490	1,750	1,256	492	1,749
	12:00	1,260	490	1,750	1,261	488	1,749
	15:00	1,255	490	1,745	1,250	491	1,741
	18:00	1,250	490	1,740	1,256	490	1,747
	21:00	1,240	480	1,720	1,234	481	1,715
	0:00	1,250	490	1,740	1,256	489	1,745
	3:00	1,250	480	1,730	1,248	480	1,728
6	6:00	1,310	510	1,820	1,258	485	1,742
	9:00	1,355	555	1,910	1,328	516	1,844
	12:00	1,400	600	2,000	1,442	594	2,036
	15:00	1,400	600	2,000	1,316	618	1,934
	18:00	1,400	600	2,000	1,470	588	2,058
	21:00	1,400	600	2,000	1,288	624	1,912
	0:00	1,400	600	2,000	1,428	582	2,010
	3:00	1,400	600	2,000	1,372	624	1,996
7	6:00	1,400	600	2,000	1,393	599	1,992
	9:00	1,400	600	2,000	1,396	603	1,999
	12:00	1,350	530	1,880	1,351	528	1,879
	15:00	1,320	520	1,840	1,315	521	1,836
	18:00	1,300	510	1,810	1,307	511	1,817
	21:00	1,300	520	1,820	1,294	521	1,815
	0:00	1,380	580	1,960	1,387	579	1,966
	3:00	1,350	550	1,900	1,347	551	1,898

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
8	6:00	1,400	560	1,960	1,394	557	1,952
	9:00	1,350	540	1,890	1,347	536	1,884
	12:00	1,300	520	1,820	1,304	519	1,823
	15:00	1,275	510	1,785	1,267	512	1,779
	18:00	1,250	500	1,750	1,256	499	1,755
	21:00	1,250	500	1,750	1,240	502	1,742
	0:00	1,250	500	1,750	1,253	499	1,751
	3:00	1,250	500	1,750	1,248	502	1,750
9	6:00	1,190	450	1,640	1,184	449	1,633
	9:00	1,210	470	1,680	1,206	472	1,679
	12:00	1,230	490	1,720	1,231	488	1,719
	15:00	1,300	510	1,810	1,295	511	1,806
	18:00	1,330	520	1,850	1,337	521	1,857
	21:00	1,320	530	1,850	1,313	531	1,844
	0:00	1,350	540	1,890	1,357	539	1,896
	3:00	1,350	540	1,890	1,347	541	1,888
10	6:00	1,360	540	1,900	1,355	537	1,892
	9:00	1,305	520	1,825	1,302	516	1,819
	12:00	1,250	500	1,750	1,254	500	1,753
	15:00	1,400	590	1,990	1,392	592	1,983
	18:00	1,350	550	1,900	1,357	549	1,906
	21:00	1,360	540	1,900	1,349	542	1,891
	0:00	1,400	570	1,970	1,403	568	1,971
	3:00	1,320	540	1,860	1,317	542	1,860

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

วันที่	เวลา	จดบันทึกตามปกติ			ผ่านระบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์		
		GT BTG1400	GT BTG600	รวม	GT BTG1400	GT BTG600	รวม
11	6:00	1,400	600	2,000	1,344	570	1,914
	9:00	1,360	565	1,925	1,333	525	1,858
	12:00	1,320	530	1,850	1,360	525	1,884
	15:00	1,335	550	1,885	1,255	567	1,821
	18:00	1,350	570	1,920	1,418	559	1,976
	21:00	1,375	585	1,960	1,265	608	1,873
	0:00	1,400	600	2,000	1,428	582	2,010
	3:00	1,350	550	1,900	1,323	572	1,895

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
THE FEDERATION OF THAI INDUSTRIES

THE FEDERATION OF THAI INDUSTRIES AND RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON

Certificate of presentation

This is to certify that

Rapeepat Suvannapum, Prin Boonkanit and Saharat Wongsisa

Participated and presented the research paper titled:

Developing Microcontroller Board for Investigating Groundwater Volume

In the 5 th Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

Held at Bangkok International Trade & Exhibition Centre

October 4th, 2016

Ms. Panrat Phechpakdee
Senior Director of The Industrial Environmental Institute, The Federation of Thai Industries

Asst.prof.Saharat Wongsisa
Vice-President for Planning and Infrastructure, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

Natworapol Rachsirwatcharabul, Ph.D
Associate Dean for Planning, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

ภาคผนวก ข-1 การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 5 ประจำปี 2559

ภาคผนวก ข-2 หน้าปกเอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

ลำดับ	เวลา	ชื่อบทความ	ชื่อเจ้าของผลงาน	หน่วยงาน
ภาคเช้า				
5	11.30–11.45 น.	การพัฒนากระจกเปลี่ยนสีตามอุณหภูมิโดยใช้ฟิล์มโคบอลต์คลอไรด์สำหรับติดตั้งผนัง	วรพงษ์ เทียมสอน, ณัฐวรรธน์ คำมูลอินทร์, อติวิชญ์ เด่นประวัติ, นิภาภณธ์ ศิริพล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
6	11.45–12.00 น.	การดูดซับสีย้อมมาลาไคท์กรีนโดยใช้ฟิล์มคอมโพสิตธรรมชาติ	พัชราภรณ์ จันทวี, จักรกฤษณ์ อัมพุช	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ภาคบ่าย				
7	13.00-13.15 น.	การพัฒนาวงจรขับหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบหรี่ได้สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	อรัญ ประกอบสัญท์, ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8	13.15–13.30 น.	การพัฒนาประสิทธิภาพลูกหินดินขาวอุดรธานีโดยกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง	ธิติกานต์ บุญแข็ง ,จรวยพร แสนทวีสุข, นลิน เพียรทอง, หัถชัย เขาแก้ว, สุรพงศ์ บางพาน	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา
9	13.30–13.45 น.	มหาวิทยาลัยสีเขียว กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกวิทยาเขตบางพระ	เสกศิลป์ มีดี, อัมพิกา ไกรฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
10	13.45–14.00 น.	การออกแบบบ่อบำบัดน้ำเสียในโรงงานผลิตอาหารสัตว์	ปรารถนา ทวีโชติ, วันชัย ริจิรวนิช	มหาวิทยาลัยสยาม
11	14.00–14.15 น.	การยืนยันตัวบุคคลสำหรับยานยนต์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้พื้นฐานสมองกลฝังตัว	สมชาย ดอกไม้เงิน, ปริญญ์ บุญกนิษฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
พักรับประทานอาหารว่าง				
12	14.30–14.45 น.	การวิเคราะห์สาเหตุความชำรุดของสลักปากขอพ่วงที่ใช้สำหรับรถบรรทุกสินค้าในการรถไฟแห่งประเทศไทย	อัศวิน มุ่งนากลาง, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, ประภาพร พลอยยอด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
13	14.45–15.00 น.	การพัฒนาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาล	ระพีพัฒน์ สุวรรณภูมิ, ปริญญ์ บุญกนิษฐ์, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
14	15.00–15.15 น.	การประเมินทางการยศาสตร์สำหรับงานยกในโรงงานผลิตรถยนต์	นิพนธ์ กิติวนารัตน, ปริญญ์ บุญกนิษฐ, ประภาพร พลอยยอด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคผนวก ข-3 เอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

สารบัญ (ต่อ)

ชื่อบทความ	หน้า
การยืนยันตัวบุคคลสำหรับยานยนต์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้พื้นฐานสมองกลฝังตัว สมชาย ดอกไม้เงิน, ปริญญ์ บุญกนิษฐ	93
การวิเคราะห์สาเหตุความชำรุดของสลักปากขอพ่วงที่ใช้สำหรับรถบรรทุกสินค้าในการรถไฟแห่งประเทศไทย อัศวิน มุ่งนากลาง, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, ประภาพร พลอยยอด	98
การพัฒนาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาล ระพีพัฒน์ สุวรรณภูมิ, ปริญญ์ บุญกนิษฐ, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	104
การประเมินทางการยศาสตร์สำหรับงานยกในโรงงานผลิตรถยนต์ นิพนธ์ กิติวนารัตน,ปริญญ์ บุญกนิษฐ, ประภาพร พลอยยอด	113
การวิเคราะห์โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ชาตรี บุญเชิดชู,ปริญญ์ บุญกนิษฐ	121
การควบคุมแรงดันไฟฟ้าส่วนเกินโดยการสร้างแรงดันผลักกลับ พรชัย สวัสดิวงศ์, ปริญญ์ บุญกนิฐ	127
แนวทางการส่งเสริมการมีส่วนร่วมในการพัฒนาชุมชนเชิงนิเวศ กรณีศึกษาตำบลคลองเปรง อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา อุมาพร ทองสาดี, วิสาขา ภู่จินดา	133
สถานะและการคาดการณ์บริษัทที่ให้บริการทางด้านระบบการวางแผนทรัพยากรทางธุรกิจองค์กรโดยรวม (เอ็นเทอร์ไพร์ส รีซอร์ท แพลนนิ่ง : อีอาร์พี) เพื่อเป็นบริษัทที่ปรึกษาด้านธุรกิจที่ยั่งยืน กรณีศึกษาของนิคมอุตสาหกรรมบางปู สืบศักดิ์ พยัคฆา, ปริญญ์ บุญกนิฐ, ประภาพร พลอยยอด	141

ภาคผนวก ข-4 เอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 5 ประจำปี 2559

การพัฒนาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ตรวจสอบระดับปริมาตรน้ำบาดาล
Developing Microcontroller Board for Investigating Groundwater Volume

ระพีพัฒน์ สุวรรณภูมิ[1], ปริญญ์ บุญกนิษฐ์[1], สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อกรุงเทพมหานคร 10800
rapeepats2202@gmail.com

บทคัดย่อ
น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆและน้ำบาดาลเป็นทางเลือกในการช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลแหล่งน้ำผิวดิน บริษัท บีฟู้ดส์โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ในเครือเบทาโกร ตั้งอยู่ในจังหวัดลพบุรี ใช้น้ำบาดาลเป็นปริมาณมากในการขับเคลื่อนกระบวนการผลิตของโรงงานแต่ละวัน การวัดและจดบันทึกค่าระดับน้ำบาดาลที่มีอยู่ในบ่อ 2 แห่ง ตามปริมาตรของน้ำ ณ จุดเวลาของทุก 3 ชั่วโมง ต้องทำต่อเนื่องทุกวัน เพื่อป้องกันการขาดแคลนน้ำที่ใช้ป้อนเข้าสู่โรงงานจนส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของโรงงานได้ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นมีสาเหตุหลักจากการหยุดทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลต่างๆ ที่ไม่สามารถคาดคะเนได้ การทราบถึงระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้สามารถเร่งปรับปรุงแก้ไขและทำให้เครื่องสูบน้ำบาดาลกลับมาใช้งานได้ตามปกติอย่างรวดเร็ว จึงไม่ส่งผลกระทบหรือส่งผลกระทบต่อโรงงานได้น้อยที่สุด การพิจารณาใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลจะช่วยทำให้บริษัทฯ สามารถติดตามระดับน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำได้อย่างใกล้ชิดแบบเวลาจริงและต่อเนื่อง โดยการศึกษาในครั้งนี้ทำการต่อยอดการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการจัดการระบบสาธารณูปโภคและซ่อมบำรุงจากการออกแบบใช้เครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำร่วมกับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบไร้สาย เพื่อทำการทดสอบการวัดและเก็บรวบรวมปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำทุก 3 ชั่วโมงทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 รวมระยะเวลา 40 วัน โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึกในช่วงเวลาเดียวกัน ผลการศึกษาพบว่าค่าที่วัดและเก็บรวบรวมด้วย 2 วิธี มีความใกล้เคียงและมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จำลองขึ้นสามารถนำมาใช้ควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลโดยอัตโนมัติได้อย่างมีประสิทธิภาพและเครื่องสูบน้ำบาดาลของบริษัทฯ มีประสิทธิภาพในการทำงานโดยรวมได้ตามปกติ ซึ่งบริษัทฯ สามารถนำมาใช้ติดตามระดับน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้น้ำในแต่ละช่วงเวลา ที่ผ่านมาในการป้องกันผลกระทบจากการหยุดชะงักของกระบวนการผลิตที่เกิดจากการมีปริมาณน้ำบาดาลใช้ไม่เพียงพอและยังเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้เพื่อการพัฒนาขององค์กรอื่นๆและการศึกษาต่อยอดอีกด้วย

คำสำคัญ: บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์; ระดับปริมาตรน้ำบาดาล; การเฝ้าติดตามแบบเวลาจริง

ABSTRACT
Water is becoming an important factor for propelling production process of any industries or factories and groundwater was option for production cost reduction, especially in areas where had no surfacewater. B.Foods Product International Company Limited, an affiliate of Betagro Group, was located in Lop Buri Province to daily consume huge quantity of groundwater for production process in its factory. Measuring and recording levels of groundwater in 2 ground tanks related to volume of the water at time point of

ภาคผนวก ข-5 เอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

every 3 hours must continually be done every day in order to prevent lack of water fed into the factory that may impact its production process. The main problem was caused of unexpected non-working of pumps. Knowing fluctuation of water levels could provide their immediate improvement and recover to avoid serious impacts. A microcontroller board could be employed to control groundwater volume in order that the company could closely follow up levels of groundwater in the ground tanks in real time and continuity. This study went on designing the microcontroller board for managing utility system and maintenance by using with level meter and wireless receiver and transmitter for testing working efficiency every 3 hours of each every day during 1 February 2016 till 11 March 2016, totally 40 days. It was compared with those of same duration done manually. The findings revealed that the figured from 2 methods became similar and had very close relationship with each other. It could indicate that the simulated microcontroller board could be employed to automatically control groundwater volume efficiently. The company could bring it to appropriately trace levels of groundwater in the tanks in accordance with water usage behavior in each period of time for disruption of production process caused by insufficient quantity of groundwater. And, this could be adaptable benefits for improvement of any organizations and also for any further studies.

Keywords: Microcontroller Board; Groundwater Volume; Real Time Monitoring

1. บทนำ (Introduction)

น้ำบาดาลเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่สำคัญต่อทั้งภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่ไม่มีน้ำผิวดิน น้ำบาดาลได้รับความนิยมใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคอย่างแพร่หลาย ซึ่งปริมาณการใช้น้ำบาดาลจริงตามใบอนุญาต ณ วันที่ 31 กรกฎาคม 2555 ทั่วประเทศรวมทั้งสิ้น 1,339,313 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จำแนกออกเป็นเพื่อธุรกิจ 795,724 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เพื่ออุปโภคบริโภค 339,481 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเพื่อเกษตรกรรม 204,108 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยพื้นที่ภาคกลางใช้น้ำในปริมาณมากที่สุดหรือเท่ากับ 664,648 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งรวมเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล 7 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นครปฐม นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ สมุทรสาคร และพระนครศรีอยุธยา ใช้น้ำบาดาลรวมทั้งสิ้น 238,557 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2556: 59) โดยแหล่งน้ำบาดาลมักถูกทำให้สกปรกหรือเป็นมลภาวะได้ยากกว่าน้ำผิวดิน จึงทำให้น้ำบาดาลมีคุณสมบัติ ส่วนประกอบทางเคมี และอุณหภูมิคงที่ และมักไม่มีสี ไม่ขุ่น อีกทั้งมักปราศจากจุลินทรีย์ที่เป็นพาหนะนำเชื้อโรคต่างๆ อย่างไรก็ตาม การขุดเจาะน้ำบาดาลมาใช้มักก่อให้เกิดปัญหาการทรุดตัวของชั้นดินที่เป็นผลมาจากความดันน้ำในดินที่มีส่วนช่วยพยุงเนื้อดินลดลงและชั้นดินอัดตัวเข้าหากันตามมา (สุรพล อารีย์กุล, 2534: 1-2) บริษัท ปี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (2558) ในเครือเบทาโกร (2559) ประกอบธุรกิจเกี่ยวกับอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปไก่สดและไก่ปรุงสุกแช่แข็งเพื่อจำหน่ายภายในประเทศและส่งออก ซึ่งมีฐานการผลิตเต็มรูปแบบตั้งอยู่เลขที่ 39 หมู่ 5 ถนนสระบุรี-หล่มสัก ตำบลช่องสาริกา อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี ได้เลือกใช้น้ำบาดาลเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมมานานกว่า 26 ปีตั้งแต่ในปี 2533 เพื่อลดต้นทุนการผลิตจากการใช้น้ำจากการประปาส่วนภูมิภาค โดยสามารถประหยัดต้นทุนการผลิตด้านสาธารณูปโภคประเภทน้ำได้มากกว่าร้อยละ 80 และสามารถประหยัดได้มากขึ้นตามปริมาณน้ำที่ใช้เพิ่มขึ้น ในปี 2558 บริษัทฯ สามารถสูบน้ำบาดาลได้ทั้งปีรวม 3,396,322 ลูกบาศก์เมตร และใช้น้ำบาดาลไปทั้งปีรวม 3,113,302 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 91.67 ของปริมาณน้ำที่สูบได้

ในปัจจุบันบริษัทฯ มีกำลังการผลิตน้ำบาดาลโดยรวมสูงสุดได้ประมาณวันละ 27,360 ลูกบาศก์เมตร หรือมีกำลังการผลิตน้ำบาดาลโดยเฉลี่ยต่อบ่อ เท่ากับ 60 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งบริษัทฯ ใช้บ่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว กระจายห่างกันประมาณ 400-500 เมตรจากรัศมีโดยรอบ

ภาคผนวก ข-6 เอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

รวม 12 บ่อ สำหรับขุดเจาะและสูบน้ำบาดาลป้อนส่งโรงงานที่ตั้งอยู่ในเนื้อที่ของบริษัทฯ ที่มีการควบคุมดูแลตลอดเวลาโดยอยู่ห่างจากโรงงานประมาณ 3 กิโลเมตร ในการควบคุมการสูบและการส่งน้ำบาดาลที่ได้ บริษัทฯ ให้ความสำคัญทั้งในด้านปริมาณและด้านคุณภาพของน้ำบาดาลที่สูบได้ โดยได้จัดทีมงานรับผิดชอบทำการตรวจสอบน้ำบาดาลในแต่ละบ่อทุก 3 ชั่วโมง รวมวันละ 8 รอบ และทำการตรวจระดับน้ำบาดาลที่ได้ในแต่ละบ่อทุกเช้าและเย็น เพื่อสร้างความมั่นใจว่าโรงงานจะมีระดับน้ำเพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งขั้นตอนการตรวจวัดระดับน้ำบาดาลมีความยุ่งยากและใช้เวลามากจนกว่าจะดำเนินการได้ครบทุกบ่อ อย่างไรก็ตาม ปัญหาจากเหตุการณ์ที่ผ่านมาเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่สูบได้ไม่เพียงพอต่อการใช้งานในแต่ละช่วงจนส่งผลทำให้โรงงานไม่สามารถดำเนินการผลิตต่อไปได้และทำให้บริษัทฯ ได้รับความเสียหายเป็นอย่างมากมาจากการหยุดทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลที่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาและไม่สามารถประเมินหรือคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าได้ ทั้งนี้เกณฑ์ปริมาตรน้ำบาดาลขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในแต่ละบ่อต้องสูบน้ำได้ไม่น้อยกว่า 60 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงในทุกขณะจึงจะไม่ส่งผลกระทบทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงัก (บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, 2559)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการใช้น้ำบาดาลต่อกระบวนการผลิตของบริษัทฯ และเกณฑ์ปริมาตรน้ำบาดาลขั้นต่ำที่สูบได้สำหรับป้อนสู่โรงงาน จึงเลือกศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ควบคุมโปรแกรมการสั่งงานระบบที่มีความซับซ้อนได้อย่างลงตัว โดยสามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอลเข้าไปแล้วทำการประมวลผลเพื่อส่งผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อมูลดิจิตอลสำหรับการนำไปใช้งานได้ตามที่ต้องการ (อนุชา หิรัญวัฒน์ นฤพนธ์ พนากุลชัยวิทย์ และสมชัย ตรีรัตนจารุ, 2551) เพื่อใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติสำหรับส่งค่าที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดระดับปริมาณน้ำที่ติดตั้งไว้ภายในแต่ละบ่อไปให้ตัวรับสัญญาณที่ติดตั้งไว้ที่ป้อมรักษาการณ์ของบริเวณบ่อขุดเจาะน้ำบาดาลสำหรับส่งข้อมูลต่อไปบันทึกและแสดงผลที่จอภาพในห้องปฏิบัติการของโรงงานที่มีผู้ควบคุมดูแลตลอด 24 ชั่วโมงอยู่แล้ว ส่งผลทำให้บริษัทฯ สามารถลดภาระการจ้างผู้ตรวจวัดปริมาตรน้ำ 3 คนเพื่อสลับเวรกันปฏิบัติหน้าที่ทุก 3 ชั่วโมงสำหรับ 3 กะต่อวันได้ ทำให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดและทันต่อสถานการณ์ปัจจุบันอย่างต่อเนื่องภายใต้การควบคุมดูแลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยผู้ควบคุมในห้องปฏิบัติการ โดยสามารถตั้งความถี่ในการวัดบันทึก และแสดงผลลงในโปรแกรมได้ตามความต้องการ เช่น ทุกนาที หรือ 5 นาที ทุกครึ่งชั่วโมงหรือชั่วโมง เป็นต้น และยังทำให้สามารถเร่งแก้ปัญหาการหยุดทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลให้สามารถทำงานได้เป็นปกติต่อไปไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของโรงงานและไม่เกิดการสูญเสียจากการปิดระบบตลอดไป นอกจากนี้ หากปริมาตรน้ำบาดาลในแต่ละบ่อมีมากเพียงพออาจจะพิจารณาให้เครื่องสูบน้ำบาดาลได้หยุดพักจากการเดินเครื่องต่อเนื่องเป็นเวลายาวนานและเดินเครื่องใช้งานใหม่เมื่อระดับน้ำในถังจัดเก็บลดลงจนใกล้ถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้จากการอ้างอิงค่าที่แสดงไว้เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องสูบน้ำบาดาลต่างๆ ได้อีกด้วย

2. การทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

อนุชา หิรัญวัฒน์ นฤพนธ์ พนากุลชัยวิทย์ และสมชัย ตรีรัตนจารุ (2551) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ควบคุมโปรแกรมการสั่งงานระบบที่มีความซับซ้อนได้อย่างลงตัว โดยสามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอลเข้าไปแล้วทำการประมวลผลเพื่อส่งผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อมูลดิจิตอลสำหรับการนำไปใช้งานได้ตามที่ต้องการ จึงมีขนาดเล็กและราคาถูกแต่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง จึงได้รับความนิยมใช้

สุจิตร์ สุราช (2555) ทำการศึกษาระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก) ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ โดยพบว่า ระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก) ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก) ได้จริงจากความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิที่ช่วยลดความชื้นได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งถาดอบส่งผลทำให้ข้าวเต็มเม็ดมีคุณภาพดีไม่แตกร้าว

กิติพร พาวังราช (2553) ทำการพัฒนาระบบควบคุม PWM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ โดยพบว่า ระบบควบคุม PWM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมการทำงานวงจรได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับระบบควบคุมอนาล็อกแบบเดิมที่มีความยุ่งยากในการออกแบบ

สุรชัย จันทนา (2555) ทำการศึกษาระบบควบคุมมอเตอร์แบบตรวจสอบสถานการณ์ทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์แบบตรวจสอบสถานการณ์ทำงาน 30 ครั้ง มีความเที่ยงตรงและถูกต้องทุกครั้ง

มนตรี โนนพะยอม (2555) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อควบคุมระบบเครื่องกรองน้ำมันอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยพบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถใช้ควบคุมระบบเครื่องกรองน้ำมันอัตโนมัติได้จากการตั้งค่าในระบบไว้ที่ระดับ

ภาคผนวก ข-7 เอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

ความชื้นสัมพัทธ์ 30% RH ระบบจะทำการปิดระบบเองโดยอัตโนมัติเมื่อการทำงานของเครื่องได้จนถึงค่าเป้าหมาย

3. วิธีการดำเนินวิจัย (Research Methodology)

3.1 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติต้นแบบที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาตรน้ำบาดาลโดยรวมในบ่อเก็บน้ำระหว่างค่าที่จดบันทึกจากลูกตุ้งวัดระดับที่บริษัทฯ ใช้แบบเติมตามปกติ กับค่าที่ส่งบันทึกและแสดงผ่านการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และการศึกษาถึงสถานะการทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลต่างๆ

3.2 พื้นที่ศึกษา

บริเวณภายในบริษัท บี ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี ในส่วนพื้นที่ของบ่อเก็บน้ำและห้องปฏิบัติการควบคุมดูแล โดยได้ทำการขออนุญาตและได้รับการอนุมัติอย่างถูกต้องในการใช้สถานที่เพื่อทำการศึกษาและทดลองก่อนล่วงหน้าแล้ว ซึ่งพื้นที่หลักที่ใช้ศึกษามี 2 แห่ง ดังนี้

1. บ่อเก็บน้ำ (Ground Tank)

ใช้สำหรับกักเก็บและพักน้ำบาดาลที่สูบได้จากการเชื่อมท่อต่อกับทั้ง 12 บ่อขุดเจาะและสูบน้ำบาดาลของบริษัทฯ ก่อนส่งน้ำที่เก็บไว้ไปใช้ในโรงงานผ่านระบบท่อส่ง ซึ่งในปัจจุบัน บริษัทฯ มีบ่อเก็บน้ำ 2 บ่อที่เชื่อมต่อกัน ประกอบด้วย GT BTG1400 ที่มีความจุน้ำถึง 1,400 ลูกบาศก์เมตร (14เมตร x 35เมตร x 3เมตร) และ GT BTG 600 ที่มีความจุน้ำถึง 600 ลูกบาศก์เมตร (14 เมตร x 15เมตร x 3เมตร) สรุปได้ว่าบ่อเก็บน้ำทั้งหมดมีความสามารถในการจุน้ำสูงสุดได้ถึง 2,000 ลูกบาศก์เมตร (คิว) โดยน้ำบาดาลที่สูบได้จะส่งกระจายมาเก็บพักไว้ในทั้ง 2 บ่อก่อนและส่งน้ำออกไปใช้จากบ่อใหญ่ (GT BTG 1400) ซึ่งทั้ง 2 บ่อมีการต่อท่อภายในเชื่อมโยงถึงกันทำให้ปริมาณน้ำบาดาลของทั้ง 2 บ่อโดยทั่วไปเท่ากันเสมอ กล่าวคือระดับปริมาณน้ำบาดาลของทั้ง 2 บ่อจะปรับเท่ากันในทันทีเมื่อมีการสูบน้ำเข้าและ/ หรือส่งน้ำออก ในการศึกษาโดยติดตั้งเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำภายในบ่อใดบ่อหนึ่งจึงสามารถใช้งานได้เหมือนกันและไม่จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำไว้ภายในทั้ง 2 บ่อเพื่อทำการศึกษา แต่เพื่อความแม่นยำในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่สามารถนำข้อมูล 2 ชุดมาศึกษาเปรียบเทียบกันในภายหลังได้ ผู้วิจัยจึงเลือกติดตั้งเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบไร้สายไว้ภายในบ่อเก็บน้ำทั้ง 2 แห่งๆ ละ

1 เครื่อง ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา

2. ห้องปฏิบัติการ (Laboratory)

ใช้เป็นที่ตั้งของเครื่องควบคุมหลัก ซึ่งมีผู้ควบคุมดูแลปฏิบัติงานตลอด 24 ชั่วโมงเป็นประจำอยู่แล้ว โดยสามารถให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการสุ่มตรวจสถานะของการทดลองจากการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทุกขณะอย่างต่อเนื่อง

3.3 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือวิจัยได้มาจากการออกแบบและประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. เครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำ

เป็น Ultrasonic Module HC-SR04 Distance Measuring Transducer Sensor ที่เชื่อมต่อกับท่อที่ติดตั้งไว้กับผนังของบ่อภายในบ่อเก็บน้ำ 2 แห่งๆ ละ 1 ชุด รวม 2 ชุด เพื่อใช้วัดระดับน้ำในระยะประมาณ 4.0 เมตร โดยมีความละเอียดประมาณ 1 นิ้ว สามารถใช้วัดได้อย่างต่อเนื่องสูงสุดทุกๆ 50 มิลลิวินาที

2. เครื่องรับส่งสัญญาณแบบไร้สาย

เป็น NodeMCU V2 LUA based ESP8266-12E NodeMCU V2 Development Kit จำนวน 4 เครื่อง สำหรับใช้กับบ่อเก็บน้ำแห่งละ 2 เครื่อง โดยเครื่องแรกเชื่อมต่อกับเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำด้วยสายเคเบิ้ลโดยตรงซึ่งติดตั้งอยู่เหนือบ่อเก็บน้ำเพื่อรับข้อมูลจากเครื่องวัดระดับปริมาตรน้ำแล้วส่งต่อข้อมูลผ่านโมดูลการสื่อสารบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายไปยังเครื่องที่ 2 ที่ติดตั้งไว้ที่ป้อมรักษาการณ์ของบริเวณบ่อขุดเจาะน้ำบาดาลและบ่อเก็บน้ำเพื่อทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ควบคุมย่อยในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์วัดปลายทางและส่งข้อมูลไปยังเครื่องควบคุมหลักทั้งนี้การรับส่งสัญญาณในละจุดของพื้นที่โล่งที่ทำการศึกษามีประสิทธิภาพเพียงพอและไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นหรือปัจจัยต่างๆ รอบข้างรบกวน โดยเฉพาะไม่พบการชนกันของคลื่นที่มาจาก

2 เครื่องรับส่งสัญญาณ

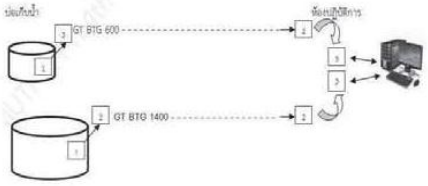
3. เครื่องควบคุมหลัก

เป็นอุปกรณ์ประมวลและแสดงผลส่วนกลาง จำนวน 2 ชุดแยกออกตามบ่อเก็บน้ำทั้ง 2 แห่ง โดยเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น Arduino MEGA 2560 - R3 มีคุณสมบัติโดยรวม ประกอบด้วย ATmega 328 microcontroller, Input voltage - 7-12V, 14 Digital I/O Pins (6 PWM outputs), 6 Analog Inputs, 32k Flash Memory, 16Mhz Clock Speed ซึ่งใช้ร่วมกับ WeMos mini NodeMCU WIFI ESP-8266, 4 Channel 5V relay 4 ช่อง แบบ isolation control Relay Module Shield 250V/10A, Portable 3G/4G Wireless N RouterTL-MR3020 และ Mini Mobile Wifi 3g Wireless

ภาคผนวก ข-8 เอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

Router USB SIM Card Modem Dongle WCDMA TF Card Slot สำหรับควบคุมการทำงานของเซนเซอร์วัดปริมาณน้ำของโหนดการวัดปลายทางเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของโหนดที่ทำหน้าที่เซนเซอร์และโหนดที่ทำหน้าที่ส่วนกลาง โดยทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับ บันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำเอสดี และแสดงผลทางหน้าจอ ทั้งนี้ ได้ทำการเชื่อมต่อเครื่องควบคุมเข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จากการต่อยอดการศึกษาของทวีศักดิ์ พูนศรีเจริญกุล (2557) ที่ได้ทำการศึกษาแนวทางการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับการจัดการระบบสาธารณูปโภคและซ่อมบำรุง โดยเลือกบริษัท บี.พู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัดเป็นกรณีศึกษาและได้ออกแบบและจำลองบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้จัดการระบบสาธารณูปโภคและซ่อมบำรุงภายในบริษัทฯ ขึ้น ผู้วิจัยจึงเลือกนำเอาบางส่วนของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่เขียนขึ้นมาประยุกต์ใช้อย่างจริงจังให้เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปของหน่วยควบคุมหลักในการทดลอง โดยใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์กลางของห้องปฏิบัติการภายในบริเวณของโรงงาน ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากบ่อเก็บน้ำประมาณ 3 กิโลเมตรเพื่อใช้เก็บรวบรวมข้อมูลโดยอัตโนมัติสำหรับทดสอบถึงความเป็นได้ในการควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาล โดยสามารถกำหนดให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการวัด บันทึก และแสดงผลระดับน้ำบาดาลได้แบบเวลาจริง (Real time) หรือตามความถี่ที่ต้องการ ซึ่งในการทดลองได้กำหนดให้บันทึกและแสดงผลราย 3 ชั่วโมงเพื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่จดบันทึกข้อมูลที่มีอยู่แล้ว และผลที่ประมวลได้และแสดงออกมามีค่าเป็นหน่วยลูกบาศก์เมตรที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาได้ทันที

เครื่องมือวิจัยทุกชิ้นได้ทำการติดตั้งเพื่อทำการทดสอบคุณภาพด้วยการสุ่มวัดระดับน้ำบาดาลแล้วนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่าที่จดบันทึกตามปกติก่อนทำการทดลองจริง เป็นระยะเวลา 7 วันๆ ละ 2 ครั้งในช่วงเช้าและช่วงบ่าย โดยไม่ได้เจาะจงเวลาทดสอบที่แน่นอนไว้ รวม 14 ครั้ง ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่าที่ได้ตลอด 7 วันมีความใกล้เคียงกับค่าที่บริษัทฯ จดบันทึกไว้ นอกจากนี้ ยังมีอุปกรณ์การจดบันทึกทั่วไปและแฟ้มข้อมูลเกี่ยวกับค่าระดับน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาสำหรับใช้อ้างอิงและทำการเปรียบเทียบ



ภาพที่ 1 แสดงผังของพื้นที่และการเชื่อมต่อของเครื่องมือวิจัยตรวจสอบระดับน้ำบาดาลแบบเวลาจริง

3.4 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาเป็นชุดข้อมูลแสดงค่าระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำแบบราย 3 ชั่วโมงที่เก็บรวบรวมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยอัตโนมัติจากการตั้งค่าให้โปรแกรมทำการวัด ส่ง บันทึก และแสดงค่าทุกๆ 3 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับการกำหนดช่วงเวลาของวิธีการปฏิบัติงานด้วยการจดบันทึกตามปกติ จำแนกออกเป็นบ่อใหญ่ (GT BTG1400) และบ่อเล็ก (GT BTG600) คิดเป็นวันละ 8 ครั้ง เป็นระยะเวลาต่อเนื่องทุกวันตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาในภาคสนามระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 รวม 40 วัน คิดเป็นชุดข้อมูลประเภทละ 320 ตัวอย่างเท่ากัน

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการบันทึกและแสดงค่าระดับน้ำบาดาลของบ่อเก็บน้ำทั้ง 2 แห่งแบบราย 3 ชั่วโมง (ทุก 3 ชั่วโมง) ตลอดระยะเวลา 40 วันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 โดยผู้วิจัยเฝ้าติดตามและตรวจค่าที่แสดงไว้ด้วยการสุ่มเปรียบเทียบกับค่าที่จดบันทึกตามปกติ ณ เวลาและวันเดียวกันอย่างต่อเนื่อง เมื่อครบระยะเวลาที่ทำการศึกษาแล้วจึงได้นำชุดข้อมูลที่เป็นค่าแสดงระดับน้ำบาดาลจำแนกออกตามรายบ่อเก็บน้ำทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์และทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ต่อไป

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

นส่วนของชุดข้อมูลที่เก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึกเป็นการนำข้อมูลที่มีบริษัทฯ เก็บรวบรวมด้วยวิธีการปกติและใช้อุปกรณ์การวัดแบบเดิมที่มีอยู่แล้วมาใช้ สำหรับข้อมูลที่เก็บรวบรวมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยการจำลองวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยอัตโนมัติแบบ Real Time ซึ่งสามารถกำหนดค่าความถี่ในการวัดและแสดงผลได้ในทันที โดยผู้วิจัยได้กำหนดการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นค่าระดับปริมาตรน้ำบาดาลทุกๆ 3 ชั่วโมงโดยบอร์ดมโครคอนโทรลเลอร์ ที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์ด้วย 2 แนวทาง ดังนี้

ภาคผนวก ข-9 เอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระดับปริมาตรน้ำบาดาลโดยรวมในบ่อเก็บน้ำ

เป็นศึกษาปริมาตรน้ำบาดาลโดยรวมในแต่ละบ่อและในภาพรวมในแต่ละช่วง 3 ชั่วโมงของแต่ละวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 โดยทำการเปรียบเทียบปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำตามบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับการจดบันทึกแบบราย 3 ชั่วโมง ซึ่งนำค่าปริมาตรน้ำบาดาลแท้จริงที่มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรมาวิเคราะห์ โดยพิจารณาใช้สถิติค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร่วมกับการใช้กราฟเส้นประกอบการอธิบายลักษณะของปริมาตรน้ำบาดาลต่างๆ โดยสามารถนำผลการศึกษาที่ได้มาใช้คาดคะเนสถานะการทำงานเบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำบาดาลต่างๆ จากการเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์มาตรฐานของปริมาตราน้ำบาดาลขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในแต่ละบ่อได้

2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาตรน้ำบาดาลโดยรวมในบ่อเก็บน้ำ

เป็นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาตรน้ำบาดาลจำแนกตามรายบ่อและโดยรวมที่เก็บรวบรวมได้ในทุกๆ 3 ชั่วโมงของแต่ละวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 จากการใช้ 2 วิธีในภาพรวมซึ่งนำค่าปริมาตรน้ำบาดาลแท้จริงที่มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 1 และสามารถนำมาใช้สอบยันถึงประสิทธิภาพในการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จากการวัดระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำได้

3.7 สมมติฐานการวิจัย

ในการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้เป็นเครื่องตรวจวัดปริมาตรน้ำบาดาลแบบอัตโนมัติ ผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับการจดบันทึกและทำการยอมรับความคาดเคลื่อนในระดับร้อยละ 1 จึงได้กำหนดสมมติฐานสำหรับใช้ในการทดสอบไว้เป็น " ค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่จดบันทึก"

4. ผลการศึกษา (Results)

ตารางที่ 1 แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึกทุกๆ 3 ชั่วโมงต่อเนื่องทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (N – 320 หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)

บ่อเก็บน้ำ	ข้อมูลที่จดบันทึก			
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
GT BTG 1400	750.00	1,400.00	1,239.70	143.48
GT BTG 600	220.00	600.00	494.84	79.02
โดยรวม	970.00	2,000.00	1,734.55	213.57

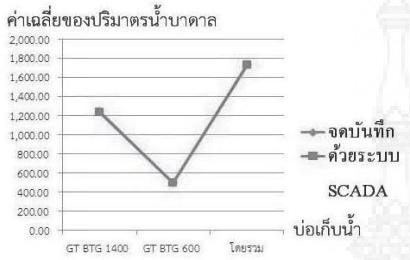
ตารางที่ 2 แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทุกๆ 3 ชั่วโมงต่อเนื่องทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 (N – 320 หน่วย: ลูกบาศก์เมตร)

บ่อเก็บน้ำ	ข้อมูลจากระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์			
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
GT BTG 1400	705	1,470	1,234.45	145.42
GT BTG 600	219	624	493.72	78.81
โดยรวม	965	2,058	1,728.14	214.10

จากตารางที่ 1 และ 2 แสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเกี่ยวกับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่เก็บด้วยการจดบันทึกตามปกติและด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบอัตโนมัติทุกๆ 3 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาทุกวันระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2559 พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำ GT BTG 1400 (บ่อใหญ่) GT BTG 600 (บ่อเล็ก) และ 2 บ่อรวมกันที่วัดและเก็บรวบรวมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เท่ากับ 1,234.45 ลูกบาศก์เมตร 493.72 ลูกบาศก์เมตร และ 1,728.14 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยมีค่าต่ำกว่าที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึกเล็กน้อย ซึ่งเท่ากับ 1,239.70 ลูกบาศก์เมตร 494.84 ลูกบาศก์เมตร และ 1,734.55 ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดในภาพรวม พบว่าปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อใหญ่ บ่อเล็ก และ 2 บ่อรวมกันที่วัดและเก็บรวบรวมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าต่ำสุด

ภาคผนวก ข-10 เอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

น้อยกว่าที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึก ในขณะที่ปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อใหญ่ บ่อเล็ก และ 2 บ่อรวมกันที่วัดและเก็บรวบรวมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ มีค่าสูงสุดมากกว่าที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึก



ภาพที่ 2 แสดงกราฟค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึกและบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (หน่วย: ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ทำการจดบันทึกและค่าที่ได้จากระบบ SCADA นั้น มีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และที่วัดด้วยการจดบันทึก (N = 320)

บ่อเก็บน้ำ		ข้อมูลที่วัดและจดบันทึก		
		GT BTG 1400	GT BTG 600	โดยรวม
ข้อมูลที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยระบบ SCADA	GT BTG 1400	r = 0.984 (Sig. 0.000)		
	GT BTG 600		r = 0.992 (Sig. 0.000)	
	โดยรวม			r = 0.993 (Sig. 0.000)

หมายเหตุ: ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

จากตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าค่าปริมาตรน้ำบาดาลรายบ่อโดยรวมที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลโดยรวมที่วัดด้วยการจดบันทึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 1 จึงยอมรับสมมติฐานที่ตั้งไว้ เมื่อพิจารณาแบบรายบ่อ พบว่า ค่าปริมาตรน้ำบาดาลทั้ง 2 แห่งที่วัดได้ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรน้ำบาดาลของแต่ละบ่อที่วัดด้วยการจดบันทึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 1 จึงยอมรับสมมติฐานที่ตั้งไว้เช่นกัน ซึ่งทุกคู่ของบ่อเก็บน้ำที่แสดงค่าปริมาตรน้ำบาดาลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกันอยู่ในระดับที่สูงมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ระหว่าง 0.984 ถึง 0.993

5. อภิปรายผล (Discussion)

การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำ 2 แห่งของบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัดแทนการเฝ้าติดตามวัดและจดบันทึกตามที่กำหนดไว้ทุก 3 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่องทุกวัน ซึ่งทำให้เกิดความสิ้นเปลืองในการจ้างบุคลากรเพิ่ม มีกระบวนการวัดและจดบันทึกที่ยุ่งยาก และเกิดความผิดพลาดและความไม่ต่อเนื่องมากกว่า ดังเช่นการนำข้อมูลที่เป็นค่าปริมาตรน้ำบาดาลที่วัดและจดบันทึกในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษามาใช้ศึกษาเปรียบเทียบพบว่าจุดเวลาของบางวันไม่ปรากฏการบันทึกค่าปริมาตรน้ำบาดาล ซึ่งเป็นผลมาจากพนักงานที่รับผิดชอบโดยตรงได้ละทิ้งหน้าที่หรือลาหยุดงานโดยกะทันหัน จึงทำให้การวัดและบันทึกข้อมูลไม่มีความต่อเนื่องและขาดความน่าเชื่อถือ โดยในการศึกษาได้แก้ปัญหาด้วยการนำค่าของจุดเวลาก่อนและหลังมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้แทนค่าของจุดเวลาที่หายไป อีกทั้งยังพบว่า ณ เวลา 3.00 น.ของวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2559 ปริมาตรน้ำบาดาลของบ่อ GT BTG 600 บันทึกค่าไว้เป็น 4,480 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นผลมาจากความผิดพลาดในการป้อนข้อมูลที่มีแนวโน้มจะเป็น 480 ลูกบาศก์เมตรแทน จึงได้ทำการปรับค่าก่อนนำมาใช้ศึกษา โดยปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากความผิดพลาดของบุคคลเหล่านี้สามารถกำจัดไปให้หมดไปได้

ในการนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้วัดระดับปริมาตรน้ำบาดาลจะทำให้การดำเนินการมีความต่อเนื่อง โดยในการศึกษาได้กำหนดให้โปรแกรมดำเนินการวัด บันทึกและแสดงค่าทุก 3 ชั่วโมงเพื่อนำค่าที่ได้มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับค่าในวันและเวลาเดียวกันที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึกตามปกติ ซึ่งสามารถปรับความถี่ในการดำเนินการของโปรแกรมได้ตามที่ต้องการในทางปฏิบัติจริงเพื่อเฝ้าติดตามการทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลโดยรวมของบริษัทฯ ได้อย่างใกล้ชิดในการป้องกันการหยุดทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาลเป็นผลทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ขับเคลื่อนโรงงานไม่เพียงพอต่อกระบวนการผลิตและการดำเนินการผลิตของโรงงานต้องหยุดชะงัก โดยผลการศึกษาบ่งชี้ว่าค่าที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึกและด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีความใกล้เคียงกันอย่างมากและมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด จึงสามารถนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ มาใช้ควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาล

RMUTP & FTI 5th Sustainable Industrial Engineering

ภาคผนวก ข-11 เอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

ได้อย่างมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับแนวคิดของอนุชา หิรัญวัฒน์ นฤพนธ์ พนากุลชัยวิทย์ และสมชัย ตรีรัตนจารุ (2551) ที่กล่าวไว้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็กและราคาถูกแต่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง จึงได้รับความนิยมใช้ควบคุมโปรแกรมการสั่งงานระบบที่มีความซับซ้อนได้อย่างลงตัว และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของสุจิตร์ สุราช (2555) ที่ทำการศึกษาระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก) ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ โดยพบว่า ระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก) ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก) ได้จริงจากความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิที่ช่วยลดความชื้นได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งถาดอบส่งผลทำให้ข้าวเต็มเมล็ดมีคุณภาพดีไม่แตกร้าว ผลการศึกษาของกิติพร พาวังราช (2553) ที่ทำการพัฒนาระบบควบคุม PWM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับวงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ โดยพบว่าระบบควบคุม PWM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมการทำงานวงจรได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับระบบควบคุมอนาล็อกแบบเดิมที่มีความยุ่งยากในการออกแบบ และผลการศึกษาของสุรชัย จันทนา (2555) ที่ทำการศึกษาระบบควบคุมมอเตอร์แบบตรวจสอบสถานการณ์ทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์แบบตรวจสอบสถานการณ์ทำงาน 30 ครั้ง มีความเที่ยงตรงและถูกต้องทุกครั้ง ตลอดจนความสอดคล้องกับผลการศึกษาของมนตรี โนนพะยอม (2555) ที่ศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อควบคุมระบบเครื่องกรองน้ำมันอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยพบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถใช้ควบคุมระบบเครื่องกรองน้ำมันอัตโนมัติได้จากการตั้งค่าในระบบไว้ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 30%RH ระบบจะทำการปิดระบบเองโดยอัตโนมัติเมื่อการทำงานของเครื่องได้จนถึงค่าเป้าหมาย

6. สรุปผล (Conclusion)

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าปริมาตรน้ำบาดาลในแต่ละบ่อเก็บน้ำและโดยรวมที่วัดและเก็บรวบรวมด้วยการจดบันทึกและบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยสามารถพิจารณาได้จากการนำค่าทั้งหมดมาสร้างเป็นกราฟเส้นเปรียบเทียบ จึงจะทำให้เห็นภาพได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งค่าปริมาตรน้ำบาดาลในบ่อเก็บน้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกกันสูงมากจนเกือบจะสมบูรณ์ จึงสรุปได้ว่าสามารถนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ควบคุมระดับปริมาตรน้ำบาดาลได้เป็นอย่างดีและแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของเครื่องสูบน้ำบาดาลได้เป็นปกติ โดยสามารถนำแนวทางและผลการศึกษาที่ได้มาเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์ในเชิงปฏิบัติการจากการนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ มาประยุกต์ใช้พัฒนาแนวทางการจดบันทึกระดับปริมาตรน้ำบาดาลในแต่ละบ่อของบริษัทฯ ด้วยการจดบันทึกแบบเดิมให้มาเป็นแบบอัตโนมัติในเวลาจริง (Real Time) และการแสดงผลเป็นระยะอย่างต่อเนื่องที่มีความถูกต้องแม่นยำและเชื่อถือได้ ทำให้โรงงานจะมีน้ำบาดาลในปริมาณที่เพียงพอต่อกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ และการแจ้งเตือนจุดวิกฤติของปริมาณน้ำบาดาลขั้นต่ำตามเกณฑ์ที่สามารถกำหนดได้จากพฤติกรรมการใช้น้ำในแต่ละช่วงเวลาที่ผ่านมาสำหรับป้องกันผลกระทบจากการหยุดชะงักของกระบวนการผลิต ซึ่งยังมีส่วนช่วยประหยัดต้นทุนการผลิตจากการใช้แรงงานคนได้อย่างยั่งยืนอีกด้วยและเป็นประโยชน์ในเชิงวิชาการที่ทำให้ได้แนวทางการควบคุมปริมาณน้ำบาดาลที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในแต่ละพื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่ที่ขาดแคลนแหล่งน้ำผิวดินสามารถนำมาเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้ระบบการรับส่งข้อมูลตามความเหมาะสมของโครงสร้างและลักษณะการทำงานขององค์กรกับการควบคุมปริมาณทั้งน้ำบาดาล และน้ำหรือของเหลวประเภทอื่นๆ โดยเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีใช้เองภายในประเทศที่มีราคาถูกและใช้งานง่าย นอกจากนี้ ยังสามารถนำแนวทางและผลการศึกษาที่ได้ไปใช้อ้างอิงเพื่อต่อยอดการศึกษาต่างๆ ในอนาคตได้อีกด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ์ และ ผศ. สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาและการควบคุมจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านอย่างสูง และขอขอบคุณบริษัท ปี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัดที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และให้ความร่วมมือประสานงานเป็นอย่างดีมีส่วนช่วยส่งเสริมให้ศึกษาสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตามที่กำหนดไว้ และขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวและเพื่อนๆ ทุกท่านที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนต่างๆ

คุณค่าและประโยชน์ที่พึงได้รับจากการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นความกตัญญูกตเวทิตาให้แก่บิดามารดาตลอดจนบูรพาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอน และประสิทธิประสาทวิชาให้ ซึ่งผู้วิจัยได้นำมาพัฒนาการทำงานให้เป็นประโยชน์ทั้งแก่ตนเองและผู้อื่น

8. เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก ข-12 เอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

[1] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2555, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด,2556

[2] สุรพล อารีย์กุล, ศักยภาพน้ำบาดาลในแอ่งหาดใหญ่, รายงานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2534

[3] บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, ปริมาณน้ำบาดาลที่สูบได้และใช้ประจำปี 2558, รายงานภายในบริษัท, 2558

[4] เครือเบทาโกร, ความเป็นมา, ข้อมูลจาก http://www.betagro.com/history th.php (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 กุมภาพันธ์ 2559)

[5] บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, ประวัติ BFI. เอกสารแสดงแฟ้มประวัติของบริษัทฯ 2559

[6] อนุชา หิรัญวัฒน์ นฤพนธ์ พนากุลชัยวิทย์ และ สมชัย ตรีรัตนจารุ, การควบคุมอัตโนมัติและการประยุกต์ใช้พีแอลซี (ขั้นกลาง). กรุงเทพมหานคร: ธนินชัต, 2551

[7] ทวีศักดิ์ พูนศรีเจริญกุล, แนวทางการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการจัดการระบบสาธารณูปโภคและซ่อมบำรุง. รายงานวิจัยภาควิชาระบบควบคุมและเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2557

[8] สุจิตร์ สุราช, ระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบแห้งข้าวนึ่ง (ข้าวฮางงอก) ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์, วิทยานิพนธ์หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2555

[9] กิติพร พาวังราช, การพัฒนาระบบควบคุม PWM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับวงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์, วิทยานิพนธ์หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553

[10] สุรชัย จันทนา, ระบบควบคุมมอเตอร์แบบตรวจสอบสถานการณ์ทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ วิทยานิพนธ์หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2555

[11] มนตรี โนนพะยอม, การประยุกต์ใช้ทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อควบคุมระบบเครื่องกรองน้ำมันอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2555

RMUTP Proceedings Sustainable Industrial Management Engineering

ภาคผนวก ข-13 เอกสารตีพิมพ์ Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2016

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล ระพีพัฒน์ สุวรรณภูมิ

วัน เดือน ปีเกิด 22 กุมภาพันธ์ 2521

ภูมิลำเนา เลขที่ 13 หมู่ 4 ตำบลหินซ้อน อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี 18110

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
เทคโนโลยีบัณฑิต	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี	**2555**

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

ผู้จัดการส่วนวิศวกรรมซ่อมบำรุง บริษัท บี.ฟู้ดโปรดักส์อินเตอร์เนชั่นแนลจำกัด เลขที่ 39 หมู่ที่ 5 ถนนสระบุรี-หล่มสัก ตำบลช่องสาริกา อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี 15220