รหัสโครงการ SUT 7-709-58-12-28

รายงานการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาระบบการให้น้ำอัตโนมัติ ด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี

(Design and Development of Automatic Watering System Using Fuzzy Controller)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT 7-709-58-12-28

รายงานการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาระบบการให้น้ำอัตโนมัติ ด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี

(Design and Development of Automatic Watering System Using Fuzzy Controller)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2560

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2558

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิศวกรรมศาสตร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร มิชิโกวา อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันวิจัยพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความสะดวกในด้านข้อมูล งานเอกสารแบบฟอร์มต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย จนทำให้งานเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณนายธีระภัทร เจริญปรุ นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ช่วยงานวิจัยในด้านต่าง ๆจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ประโยชน์ คำสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอ การออกแบบและการพัฒนาเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายและตัวควบคุมแบบฟัซซีสำหรับการให้น้ำในระบบน้ำหยด เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้นใช้ระบบสมองกลฝังตัวสมรรถนะสูง ARM 32-bits Cortex M3 ในการควบคุมระบบโดยโหนดเราท์เตอร์จะทำหน้าที่ในการอ่านค่าจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งในบริเวณแปลงเพาะปลูกเช่น ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุณหภูมิ และค่าศักย์ของน้ำในดิน จากนั้นจะส่งค่าการตรวจวัดผ่านเครือข่ายสื่อสารแบบไร้สายไปยังโหนดโคออร์ดิเนเตอร์เพื่อการประมวลผลการรดน้ำด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้กลไกการอนุมานของ Mamdani โดยใช้ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญในการสร้างกฎพื้นฐานของฟัซซีเพื่อให้ได้ระยะเวลาของการให้น้ำที่เหมาะสมกับมันสำปะหลัง ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทั้งในห้องปฏิบัติการด้วยการจำลองการทำงานและทดสอบจริงในแปลงทดลองการปลูกมันสำปะหลังของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลจากทดสอบการใช้งานในเบื้องต้นพบว่า ระบบดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพและตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ABSTRACT

This research project presents design and development of wireless sensor network and fuzzy logic controller for drip irrigation system. The proposed wireless sensor network mainly used the high performance ARM 32-bits Cortex M3 embedded system for control various sensors modules. Different types of sensors, which are significant for growing of plant, were installed at the router node in the farm of cassava including: relative humidity, temperature, and soil water potential sensors. These sensors sense the climate variables and wirelessly transmit the data to the coordinator node for fuzzy logic based irrigation control system. The climatic variables were inserted into that system by sets of trapezoidal form and a Mamdani-type fuzzy inference mechanism in which the knowledge of an expert is registered through the fuzzy rules. Then, a fuzzy system evaluates the necessary duration of irrigation. The effectiveness of the fuzzy logic based irrigation control system has been verified through experiments both in laboratory and cassava field. The experimental results show that the system is stable and reliable and can fully meet the design goals and criteria.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน 3

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 3

1.5 วิธีการดำเนินงาน 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายเมื่อสิ้นสุดการวิจัย 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system) 5

2.2 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) 6

2.3 ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic) 7

2.4 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.5 สรุป 11

บทที่ 3 การออกแบบระบบ 12

3.1 บทนำ 12

3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ 13

3.2.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดเราท์เตอร์ 13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ 14
3.2.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ชุดขับโซลินอยด์วาล์ว 15
3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์ 17
3.3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดเราท์เตอร์ 17
3.3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ 18
3.3.3 การออกแบบตัวควบคุมด้วยฟัซซีสำหรับโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ 19
3.3.4 การออกแบบซอฟต์แวร์ชุดขับโซลินอยด์วาล์ว 25
3.4 การติดตั้งชุดทดลอง 26
3.5 สรุป 28
บทที่ 4 ผลการวิจัย 29
4.1 บทนำ 29
4.2 การทดสอบเก็บข้อมูลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ 29
4.3 การทดสอบชุดขับโซลินอยด์วาล์ว 31
4.4 การทดสอบระบบการให้น้ำอัตโนมัติด้วยฟัซซี 32
4.4.1 การจำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีด้วยเซ็นเซอร์ Watermark 32
4.4.2 การจำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีด้วยเซ็นเซอร์ EC-5 35
4.4.3 การทดสอบติดตั้งระบบในแปลงทดลอง 39
4.5 การคำนวณปริมาณทรัพยากรที่ใช้งาน 43
4.5.1 การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบน้ำหยดของโครงการวิจัย 43
4.5.2 การคำนวณปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า 44
4.5.3 การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลังโดยวิธีการทางสถิติ 46
4.6 สรุป 47
บทที่ 5 สรุป 48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1 สรุปผลการวิจัย 48

5.1.1 การออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย 48

5.1.2 การออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ 49

5.1.3 การติดตั้งชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ 49

5.2 ข้อเสนอแนะ แนวทางในการวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต 50

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ฟัซซีลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่มันสำปะหลัง 9
3. 1 เงื่อนไขการตัดสินใจของระบบควบคุมด้วยฟัซซี..... 24
4.1 ผลการทดสอบชุดขับโซลินอยด์วาล์ว 32
4.2 เงื่อนไขการตัดสินใจของระบบควบคุมด้วยฟัซซี 38
4.3 ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab Simulink 38
4.4 ผลการทดลองให้น้ำแก่แปลงปลูกมันสำปะหลังด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี 43
4.5 ค่าโดยประมาณของการใช้น้ำและการใช้กระแสไฟฟ้าในแปลงทดลอง 44
4.6 อัตราการใช้น้ำในการเพาะปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ขนาดต่างๆ 45
4.7 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลังในแต่ละช่วงอายุ 46
4.8 การใช้น้ำของพืชอ้างอิงของพื้นที่เพาะปลูกในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา..... 46

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ระบบสมองกลฝังตัวในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย 5
2.2 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย 6
2.3 แบบจำลองการให้น้ำด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ 8
3.1 แผนภาพของระบบการให้น้ำแบบอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี 12
3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดเราท์เตอร์ 13
3.3 การติดตั้งโหนดเราท์เตอร์ในการทดลอง 14
3.4 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ 15
3.5 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของชุดขับโซลินอยด์วาล์ว 16
3.6 การทำงานของโปรแกรมในโหนดเราท์เตอร์ 17
3.7 การทำงานของโปรแกรมในโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ 19
3.8 การออกแบบตัวควบคุมด้วยฟัซซีโดยโปรแกรม Matlab Simulink 20
3.9 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 1 21
3.10 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 10 22
3.11 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของเอาต์พุต 23
3.12 การกำหนดเงื่อนไขพื้นฐานของฟัซซี 24
3.13 การทำงานของโปรแกรมชุดขับโซลินอยด์วาล์ว 25
3.14 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่าศักย์ของน้ำในดิน 26
3.15 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ 27
4.1 การแสดงค่าศักย์ของน้ำในดินในรูปแบบกราฟ 29
4.2 การแสดงค่าความชื้นในอากาศในรูปแบบกราฟ 30
4.3 การแสดงค่าสถานะเปิด-ปิดปั๊มน้ำในรูปแบบกราฟ 30
4.4 การนำข้อมูลออกเป็นไฟล์สกุล xls 31
4.5 จำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีด้วยโปรแกรม Matlab Simulink 33
4.6 จำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีด้วยโปรแกรม Matlab Simulink 33

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.7 จำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีด้วยโปรแกรม Matlab Simulink 34
4.8 การออกแบบระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในระยะเริ่มต้น 35
4.9 การออกแบบระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในระยะเริ่มต้นวิจัย 36
4.10 การออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ฟัซซีลอกจิก 37
4.11 แสดงความสำพันธระหว่าง 2 อินพุตและ 1 เอาพุตแบบสามมิติ 37
4.12 การออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ฟัซซีลอกจิก 38
4.13 ผลการให้น้ำครั้งที่ 1 40
4.14 ผลการให้น้ำครั้งที่ 2 40
4.15 ผลการให้น้ำครั้งที่ 3 41
4.16 ผลการให้น้ำครั้งที่ 4 41
4.17 ผลการให้น้ำครั้งที่ 5 42
4.18 ผลการให้น้ำครั้งที่ 6 42

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบัน สินค้าเกษตรในตลาดโลกมีการแข่งขันมากขึ้น ทำให้ประเทศไทยต้องยกระดับประสิทธิภาพการสร้างผลิตผลสินค้าทางการเกษตรเพื่อให้สามารถแข่งขันกับภายนอกประเทศได้ ซึ่งแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการพัฒนาระบบชลประทาน การชลประทาน (Irrigation) หมายถึงการให้น้ำ ในขนาดที่พอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งน้ำจะถูกบรรจุลงในช่องว่างระหว่างเม็ดดินเพื่อให้ดินนั้นมีความชุ่มชื้นพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช โดยอาจรวมถึงการเก็บกักและการทดน้ำ เป็นต้น วัตถุประสงค์ของการชลประทานนั้นก็เพื่อให้ดินนั้นมีความชุ่มชื้นที่พอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช เพื่อเป็นหลักประกันว่าพืชจะไม่ขาดน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูก เพื่อทำให้ดินอ่อนนุ่มสะดวกต่อการเตรียมดินและรากสามารถขยายตัวได้ดีขึ้น นอกจากนี้การชลประทานยังทำให้เกษตรกรสามารถปลูกพืชได้หลายครั้งต่อปีอีกด้วย

ในประเทศไทย ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศมีอาชีพทางการเกษตรและเกษตรต่อเนื่อง โดยจากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร [1] รายงานว่าในปี 2553 ประเทศไทยมีพื้นที่ 320.6 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ถือครองเพื่อการเกษตรประมาณ 132.7 ล้านไร่ และมีแนวโน้มว่าจะขยายตัวเพิ่มขึ้น (พื้นที่การเกษตรมีความต้องการใช้น้ำสูง) แต่ทว่าปัจจุบันมีพื้นที่ชลประทานที่สนับสนุนภาคการเกษตร ได้ 29.3 ล้านไร่ ส่วนพื้นที่การเกษตรที่เหลือจะต้องพึ่งแต่น้ำฝนตามธรรมชาติซึ่งมีความไม่แน่นอน ส่งผลให้ฐานรายได้ภาคการเกษตรมีความไม่แน่นอนตามไปด้วย และจากสภาพการกระจายตัวของน้ำฝนและน้ำท่าที่ไม่สม่ำเสมอตลอดปี ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาอุทกภัยและปัญหาการขาดแคลนน้ำรุนแรงขึ้น ดังนั้นประเทศไทยจะต้องมีการพัฒนาระบบชลประทานเพื่อการเก็บกักและจะต้องมีการใช้งานระบบชลประทานหรือมีวิธีการใช้น้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้นักวิเคราะห์ของ UNESCO [2] ยังได้กล่าวว่า “โลกอีก 50 ปีข้างหน้า จะประสบปัญหาวิกฤตการณ์การขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรง สาเหตุเนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากรโลกและขาดแคลนการแก้ไขปัญหาเรื่องน้ำที่เป็นระบบและมีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง” แนวทางหนึ่งที่จะสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้คือ การใช้ระบบชลประทานที่สามารถควบคุมการใช้น้ำภาคการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและคุ้มค่ากับผลผลิตทางการเกษตร

เนื่องจากในปัจจุบัน เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมและเครือข่ายคอมพิวเตอร์มีความเจริญรุดหน้าไปมาก การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออำนวยความสะดวกในการเฝ้าติดตาม การบริหารและการจัดการฟาร์มเกษตรกรรมในรูปแบบที่เรียกว่า ระบบฟาร์มอัจฉริยะ (Smart farm system) เป็นกุญแจสำคัญดอกหนึ่งของการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงและใช้งานเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบฟาร์มอัจฉริยะซึ่งได้รับการขนานนามว่าเป็นเกษตรกรรมความแม่นยำสูง (Precision agriculture) [3] โดยเป็นระบบที่หลอมรวมเอาเทคโนโลยีด้าน อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ การสื่อสารและโทรคมนาคม มาผสมผสานให้เกิดการประยุกต์ใช้งาน เช่น เทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยความถี่คลื่นวิทยุ (RFID) เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย (Wireless communication) เทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer network) เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligent) และเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ (Sensor technology) เครือข่ายเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในฟาร์มเกษตรโดยทั่วไปจะเป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) โดยมีการเชื่อมต่อหลาย ๆ โหนดเข้าด้วยกันให้เป็นเครือข่าย (Network) ตามโครงสร้างของเครือข่าย (Topology network) ที่ได้กำหนดขึ้น ซึ่งองค์ประกอบหลักของโหนดเซ็นเซอร์ไร้สายคือ ตัวเซ็นเซอร์ (Sensors) อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย โมโครคอนโทรลเลอร์และแบตตารี่ขนาดเล็ก โดยข้อมูลต่าง ๆที่ตรวจวัดได้จากโหนดเซ็นเซอร์ต่าง ๆ จะถูกรวบรวมโดยสถานีฐาน (Base station หรือ Sink node) จากนั้นสถานีฐานจะทำการส่งข้อมูลมายังศูนย์กลางการควบคุม (Control center) โดยผ่านเครือข่ายสื่อสารระยะใกล้

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอ การพัฒนาระบบการให้น้ำแบบอัตโนมัติ (Automatic watering system) โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy controller) เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมการใช้น้ำในภาคการเกษตรให้มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ากับการลงทุน โดยผู้วิจัยจะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ระบบสมองกลฝังตัวและเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ ซึ่งเครือข่ายเซ็นเซอร์ที่พัฒนาขึ้นจะสามารถส่งข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่การเกษตรที่แตกต่างกันเข้าสู่ศูนย์กลางการควบคุมที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่การเพาะปลูกผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สายโดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ (Solar cell) เป็นหลัก

ในการพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติสำหรับการใช้น้ำในภาคการเกษตรให้มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ากับการลงทุนนั้น ระบบจะต้องมีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆโดยใช้ข้อมูลจากศูนย์กลางการควบคุม ในการวิเคราะห์และคำนวณอัตราการให้น้ำที่เหมาะสมกับแปลงเกษตร โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะประยุกต์ใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic) ในการอธิบายความคลุมเครือหรือความไม่ชัดเจนของข้อมูลตัวแปรโดยใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy set) ดังนั้นปริมาณต่าง ๆของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำของพืชจะถูกแทนด้วยตัวแปรฟัซซีได้ตามขั้นตอนของการทำฟัซซี (Fuzzification) เช่น อุณหภูมิ (Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative humidity)

ความชื้นในดิน (Soil moisture) ซึ่งจะได้จากการตรวจวัดโดยเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในแปลงเกษตรมาประกอบการตัดสินใจในการควบคุมการจ่ายน้ำให้ได้อย่างถูกต้องตามสภาพภูมิอากาศของพื้นที่แปลงเกษตรขณะนั้น

ระบบดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารและการจัดการฟาร์มเกษตรกรรมในรูปแบบของระบบฟาร์มอัจฉริยะ ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรน้ำให้เป็นไปอย่างแม่นยำและตรงต่อความต้องการของพืช จึงสามารถช่วยในการเพิ่มผลผลิตและช่วยลดการสูญเสียทรัพยากรน้ำได้อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อดำเนินการออกแบบฮาร์ดแวร์สำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุมระบบ

1.2.2 เพื่อดำเนินการออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมการส่งข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ติดตั้งในบริเวณพื้นที่เพาะปลูก

1.2.3 เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติที่ใช้ข้อมูลจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ติดตั้งในบริเวณพื้นที่เพาะปลูกจริงมาประกอบการตัดสินใจในการจ่ายน้ำด้วยควบคุมแบบฟัซซี

1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน

1.3.1 ทำการออกแบบโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายตามมาตรฐานโปรโตคอล Zigbee/IEEE 802.15.4

1.3.2 ทำการออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบสมองกลฝังตัว

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ทำการวัดค่าสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรกรรมตลอด 24 ชั่วโมง โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ 10 นาที

1.4.2 การเชื่อมโยงเครือข่ายที่ใช้งานเป็นแบบเมช (Mesh)

1.4.3 เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่ามีทั้งหมด 2 ชนิด คือ เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์และเซ็นเซอร์วัดศักย์ของน้ำในดิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5 วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินการวิจัย: มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.5.1 ศึกษาเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบสมองกลฝังตัว

1.5.2 ดำเนินการออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

1.5.3 ดำเนินการออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำแก่พืชแบบอัตโนมัติโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี

1.5.4 ดำเนินการทดสอบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบควบคุมการให้น้ำแก่พืช

1.5.5 ดำติดตั้งระบบควบคุมการให้น้ำในแปลงทดลองการปลูกพืชในฟาร์มมหาวิทยาลัย

1.5.6 เก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

1.5.7 จัดทำบทความตีพิมพ์และรายงานการวิจัย

สถานที่วิจัย: มีสถานที่ดังต่อไปนี้

1.5.8 อาคารเครื่องมือ 4 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.9 ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้องค์ความรู้ในด้านการออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สำหรับฟาร์มเกษตรกรรม

1.6.2 ได้ชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลส์

1.6.3 ได้บทความเผยแพร่ในวารสารหรือการประชุมวิชาการระดับชาติและ/หรือนานาชาติ

1.6.4 องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยจะนำไปใช้ในการเรียนการสอนนักศึกษาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมไฟฟ้าและวิศวกรรมโทรคมนาคม ทั้งในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท

1.6.5 ได้นักวิจัยรุ่นใหม่

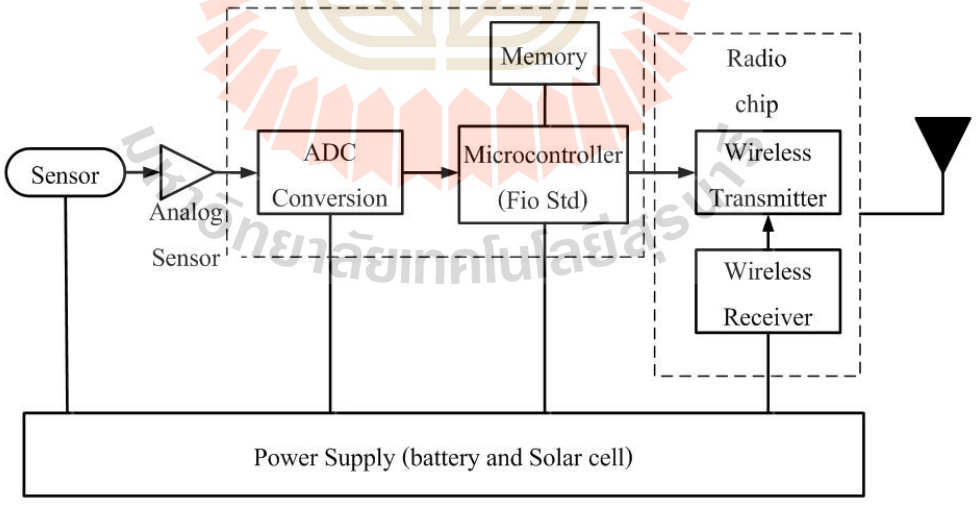
1.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายเมื่อสิ้นสุดการวิจัย

จัดทำบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่ในระดับชาติ และ/หรือ ระดับนานาชาติ เมื่องานวิจัยแล้วเสร็จ จะขยายผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีในรูปแบบการจัดแสดงนิทรรศการหรืออื่น ๆตามความเหมาะสม

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system)

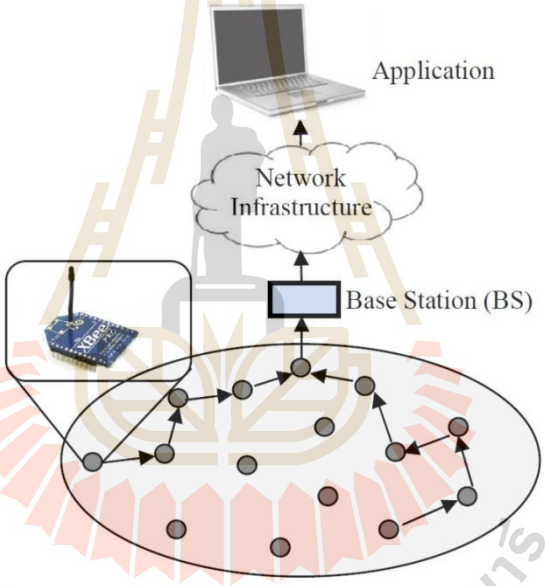
ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system) เปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) หรือคอมพิวเตอร์วางตัก (Notebook) ที่คนส่วนใหญ่รู้จักและใช้งานทุกวันนี้ แต่ระบบสมองกลฝังตัวจะเป็นการย่อเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เล็กลงโดยเหลือเพียงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กและมีขีดความสามารถน้อยกว่า วัตถุประสงค์หลักของการใช้งานระบบสมองกลฝังตัวคือนำไปใส่ในอุปกรณ์ที่ต้องการให้ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ เสมือนมีสมองกลฝังตัวอยู่ภายใน ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในชีวิตประจำวัน เช่น หม้อหุงข้าว เครื่องซักผ้า ตู้เย็น (รุ่นอัจฉริยะ) โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิตอล กล้องวีดิทัศน์ หรืออุปกรณ์ควบคุมที่มีความซับซ้อน เช่น ระบบควบคุมการจ่ายน้ำมันหรือก๊าซในรถยนต์ อากาศยานไร้คนขับ เป็นต้น ระบบสมองกลฝังตัวได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมต่าง ๆ เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำระบบสมองกลฝังตัวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมต่าง ๆ ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ระบบสมองกลฝังตัวในการประยุกต์ใช้ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแสดงในรูปที่ 1 โดยมอดูลเซ็นเซอร์ (Sensor module) ที่ใช้ทดสอบในโครงการนี้จะประกอบด้วย เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นในอากาศ เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นในดิน และเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง



รูปที่ 2.1 ระบบสมองกลฝังตัวในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

2.2 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network)

การสื่อสารไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee เป็นเทคโนโลยีที่ถูกคิดค้นขึ้นสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) ที่ใช้อัตราการส่งข้อมูลต่ำโดยเฉพาะ โดยชุดอุปกรณ์มีราคาถูกและประหยัดพลังงาน และถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นเครือข่ายส่วนบุคคลแบบไร้สาย (Wireless personal area network, WPAN) โดยมีแอพพลิเคชั่นรองรับจำนวนมาก เครือข่ายไร้สาย ZigBee ลักษณะนี้ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างเครื่องตรวจวัดหรือตัวเซ็นเซอร์ที่ต้องการสื่อสารแบบไร้สายเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนสำหรับการติดตั้ง เช่น การสร้างระบบเครือข่ายอัตโนมัติ ระบบรักษาความปลอดภัยภายในบ้าน ระบบเครือข่ายในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบเครือข่ายตรวจสอบรถบรรทุกภายในเหมืองแร่ ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการตรวจวัดค่าทางด้านการเกษตรกรรม ระบบเฝ้าระวังการเกิดน้ำท่วม ระบบเฝ้าระวังการเกิดดินถล่มและระบบเฝ้าระวังการเกิดไฟป่า เป็นต้น แผนภาพเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2.2 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อเปรียบเทียบการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่ายอื่น ๆ แล้วพบว่า ระบบเครือข่าย ZigBee มีความซับซ้อนน้อยกว่า ใช้ทรัพยากรน้อยกว่า และที่สำคัญคือเป็นมาตรฐานการสื่อสารไร้สายที่ใช้เทคโนโลยี IEEE 802.15.4 สำหรับการรับส่งข้อมูลเบื้องต้นในวงจรเครื่องรับวิทยุ (Physical layer) และการควบคุมการรับส่ง (Link layer) ซึ่งมีช่องสัญญาณย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้มี 3 ย่านความถี่ โดยแต่ละย่านความถี่ยังแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณต่าง ๆ มีอัตราการการรับส่งข้อมูลที่ความเร็วประมาณ 20 – 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) ระยะทางในการติดต่อสื่อสารประมาณ 10 – 1,500 เมตร และความสามารถในการปรับแต่งเครือข่ายและความปลอดภัยของระบบที่ดี ระบบเครือข่าย ZigBee มีช่องสัญญาณย่านความถี่สำหรับการทำงานเป็น 3 ย่านความถี่ คือ 2.4 GHz 915 MHz และ 868 MHz ในแต่ละย่านความถี่จะมีจำนวนช่องสัญญาณที่กำหนดอยู่

ช่วงหนึ่ง ซึ่งย่านความถี่ 2.4 GHz จะมีช่องสัญญาณ 16 ช่องและมีย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ในประเทศไทย

2.3 ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic)

ตรรกศาสตร์คลุมเครือ ใช้ในการอธิบายความคลุมเครือหรือความไม่ชัดเจนของข้อมูลตัวแปร ซึ่งใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy set theory) ในการแทนระดับความคลุมเครือ โดยฟัซซีเซตสามารถนำมาอธิบายและให้ความหมายกับลักษณะงานที่มีความไม่ชัดเจนหรือคลุมเครือของปริมาณงานได้ดีกว่าการอธิบายด้วยเซตแบบดั้งเดิม ฟัซซีเซตสามารถอธิบายภาษามนุษย์ในการควบคุมได้เป็นอย่างดีจึงถูกใช้ในการควบคุมทางอุตสาหกรรมและด้านอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะกระบวนการทางอุตสาหกรรมหรือระบบที่มีการทำงานร่วมกันอย่างซับซ้อนนั้นยากที่จะอธิบายด้วยสมการคณิตศาสตร์โดยละเอียดได้ ซึ่งแบบจำลองของกระบวนการนี้จึงนับว่ามีความสำคัญมากต่อการออกแบบระบบควบคุมซึ่งต้องอ้างอิงอยู่กับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่สำหรับการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy controller) นั้นไม่จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่อย่างใด

ในปัจจุบัน ตัวควบคุมแบบฟัซซี ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายและใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานควบคุมที่มีความซับซ้อนและมีความไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก ในช่วงเริ่มต้นของการนำตัวควบคุมแบบฟัซซีมาประยุกต์ใช้งานนั้นจะใช้การปรับแต่งตัวควบคุมจากประสบการณ์ของผู้ออกแบบเป็นหลัก และในระยะต่อมาได้มีการคิดค้นและพัฒนาให้เป็นตัวควบคุมที่ปรับตัวได้ (Adaptive fuzzy controller) อย่างไรก็ตามการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีด้วยความเชี่ยวชาญของผู้ใช้งานยังคงมีการใช้งานอยู่เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้ทฤษฎีการคำนวณที่ซับซ้อนและง่ายต่อการออกแบบแก้ไข องค์ประกอบที่สำคัญของตัวควบคุมแบบฟัซซีแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้คือ

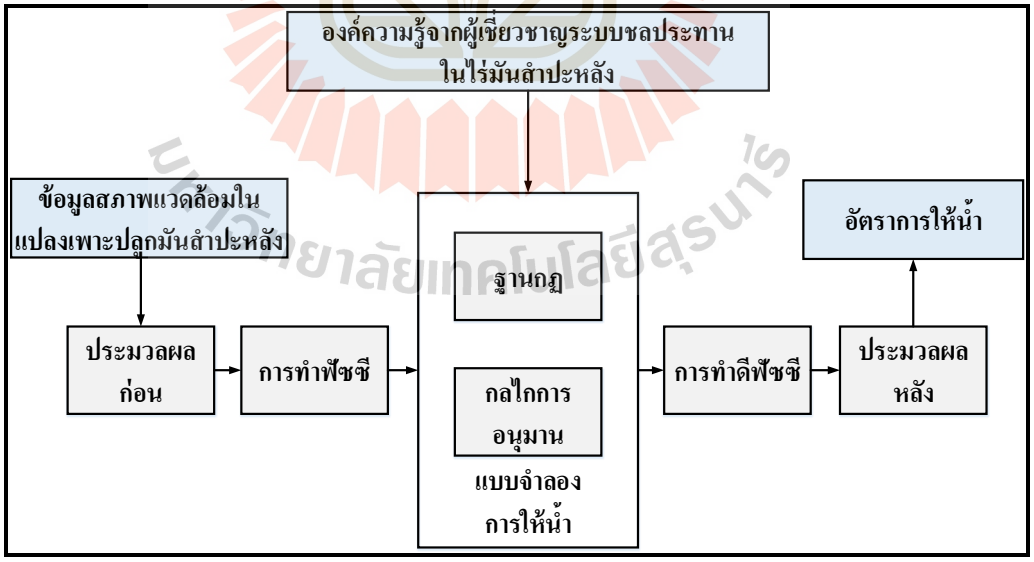
การทำฟัซซี (Fuzzification) คือกระบวนการทำการแปลงค่าอินพุตที่ได้จากการตรวจวัด (Numerical input) จากกระบวนการวัดจริงไปเป็นค่าฟัซซีเพื่อใช้เป็นอินพุตให้ระบบฟัซซี และจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของตัวแปรเชิงภาษาที่เหมาะสมต่อไป

กลไกการอนุมาน (Inference engine) เป็นกระบวนการหาข้อสรุปโดยนำค่าอินพุตแบบฟัซซีที่รับเข้ามาไปพิจารณาร่วมกับกฎการควบคุมซึ่งได้ตั้งไว้โดยพิจารณากฎทีละข้อแล้วจึงรวมข้อสรุปที่ได้จากกฎทุกข้อเข้าด้วยกัน (Aggregation)

การทำดีฟัซซี (Defuzzification) คือกระบวนการที่ทำการแปลงค่าเอาต์พุตแบบฟัซซีที่ได้จากกลไกการอนุมานให้เป็นค่าเอาต์พุตที่นำไปใช้ในการควบคุม

ฐานกฎ (Knowledge base) คือฐานความรู้ซึ่งใช้ในการทำงานและถือว่าเป็นหัวใจของระบบฟัซซีฐานข้อมูลจะทำหน้าที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรฟัซซีและกฎการควบคุมที่ใช้ในการควบคุมให้ทำงานตามวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบ

ดังที่กล่าวไว้แล้วว่าตรรกศาสตร์คลุมเครือ ใช้ในการอธิบายความคลุมเครือหรือความไม่ชัดเจนของข้อมูลตัวแปร โดยใช้ทฤษฎีฟัซซีเซตในการแทนระดับความคลุมเครือ ดังนั้นปริมาณต่าง ๆ ของข้อมูลที่ทำการตรวจวัดได้ด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจากแปลงเกษตร รวมถึงค่าจากการเก็บรวบรวมทางสถิติ หรือแม้แต่ค่าอินพุตจากผู้ใช้ สามารถแทนด้วยตัวแปรฟัซซีได้ตามขั้นตอนของการทำฟัซซี (Fuzzification) การใช้ตัวแปรฟัซซีในการจำลองตัวแปรของระบบทำให้สามารถใช้งานข้อมูลที่ไม่มีความชัดเจน ซึ่งก็คือข้อมูลที่ได้จากแปลงเกษตร ไม่ว่าจะเป็นจากตัวตรวจรู้ หรือจากการประมาณค่าที่ต้องใช้งานต่าง ๆ (เช่นค่าระยะห่างระหว่างหัวจ่ายน้ำหยด ค่าการอุ้มน้ำของดิน ฯลฯ) จากนั้นระบบฟัซซีจะทำการประมาณค่าเอาต์พุตจากกฎความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรฟัซซีต่าง ๆ กฎเหล่านี้ถูกแปลงจากองค์ความรู้ (Knowledge) ของผู้เชี่ยวชาญ (Expert) ในด้านการให้น้ำหรือการชลประทาน การอนุมานเอาต์พุตจากกฎต่าง ๆ จะนำไปสู่การทำดีฟัซซีเพื่อให้ได้ค่าเชิงตัวเลขของอัตราการให้น้ำของหัวจ่าย แบบจำลองการให้น้ำด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แบบจำลองการให้น้ำด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ

2.4 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2.1 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ฟัซซีลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่มันสำปะหลัง

ปีที่พิมพ์	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2010	N. Watthanawisut N. Tongrod T. Kerdcharoen A. Tuantranont	บทความนี้นำเสนอระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ โดยทำการติดตั้งเครื่อง GPS บนรถไถเพื่อทำการติดตามตำแหน่งรถไถและส่งข้อมูลตำแหน่งที่ได้ผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ZigBee ซึ่งจะทำให้ทราบว่ารถคันดังกล่าววิ่งหรือทำงานไปได้ระยะทางเท่าใดในแต่ละวันเพื่อความสะดวกในการบริหารจัดการฟาร์ม
2005	N. Kimura S. Latifi	บทความนี้นำเสนอการสำรวจบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคและวิธีการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่งมีทรัพยากรในการประมวลผลสัญญาณที่จำกัด ทำให้ไม่สามารถนำอัลกอริทึมการบีบอัดข้อมูลที่มีอยู่แล้วมาประยุกต์ใช้ได้โดยตรง จะต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาใหม่
2005	A. Kulakov D. Davcev	บทความนี้นำเสนอวิธีการเก็บข้อมูลแบบชาญฉลาด โดยประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตในการบีบอัดสัญญาณเพื่อลดขนาดมิติของข้อมูลที่จะส่งผ่านเครือข่ายไร้สายประกอบกับใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้เพื่อทำการแยกแยะข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ทำให้สามารถเฝ้าระวังและติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2006	F. J. Maldonado J. A. Hernandez	บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบสำหรับเซ็นเซอร์อัจฉริยะโดยสามารถทำการปรับตั้งค่าที่ถูกต้องของการวัดได้ด้วยตัวเอง ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการฝึกสอนให้ระบบสามารถรู้จำรูปแบบของค่าที่ถูกต้องได้ โดยการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ฟัซซีลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่มันสำปะหลัง

ปีที่พิมพ์	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2008	J. W. Barron A. I. Moustapha R. R. Selmic	บทความนี้นำเสนอวิธีการตรวจจับข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับตัวเซ็นเซอร์โดยสามารถระบุตำแหน่งของโหนดที่เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ โดยบทความนี้ประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการรู้จำเพื่อสร้างแบบจำลองข้อมูลจากตัวเซ็นเซอร์เพื่อใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์จริง
2008	A. Goh, S. Craciun S. Rao, D. Cheney K. Gugel, J. C. Sanchez J. C. Principe	บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบการบันทึกสัญญาณประสาทและการส่งข้อมูลแบบไร้สายโดยผู้วิจัยใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณแบบเวลาจริงก่อนทำการส่งเพื่อลดขนาดของแบนด์วิดธ์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณและเพื่อประหยัดพลังงาน
2009	X. Chen K. Makki K. Yen	บทความนี้นำเสนอเกี่ยวข้องกับการรักษาความปลอดภัยบนเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยนำเสนอภัยคุกคามที่อาจเกิดขึ้นและแนวทางในการป้องกันภัยเหล่านั้นเพื่อให้เครือข่ายมีความปลอดภัยมากที่สุด
2010	J. Li X. Zhu N. Tang J. Sui	บทความนี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์สถาปัตยกรรมเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ZigBee และอัลกอริทึมในการหาเส้นทางการรับส่งข้อมูล เพื่อให้อุปกรณ์ ZigBee มีระยะเวลาของการใช้งานได้นานที่สุด โดยบทความได้เสนอแนวทางการประหยัดพลังงานในเครือข่ายโดยการลดจำนวนข้อมูลที่ต้องส่งในเครือข่ายด้วยเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูล
2010	J. Wang X. Lin K. Wu	บทความนี้นำเสนอการบีบอัดข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้เวฟเล็ตในการแปลงสัญญาณและใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเลือกค่าพารามิเตอร์ของการแปลงเวฟเล็ต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ฟัซซีลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่มันสำปะหลัง

ปีที่พิมพ์	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2010	M. Nasri A. Helali H. Sghaier H. Maaref	บทความนี้นำเสนอวิธีการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับใช้ในการส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการบีบอัดข้อมูลแบบปรับตัวได้ในโดเมนของการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งทำให้สามารถลดจำนวนบิตข้อมูลและเกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
2011	R. V. Kulkarni G. K. Venayagamoorthy	บทความนี้นำเสนอการสำรวจบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการต่าง ๆของปัญญาเชิงคำนวณ (Computational intelligence) เพื่อให้ทราบถึงหลักการพื้นฐาน เทคนิคและแนวทางในการประยุกต์ใช้งาน
2011	N. Mohsen H. Abdelhamid S. Halim M. Hassen	บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพในโดเมนของการแปลงเวฟเล็ตเพื่อประยุกต์ใช้กับการรับ-ส่งข้อมูลภาพในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบอัลกอริทึมที่สามารถปรับตัวได้โดยยึดหลักของการใช้พลังงานในการคำนวณที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับคุณภาพของสัญญาณภาพที่ได้รับ
2012	Y. Liu, L. Kong B. Xu, T. Du S. Hou, and S. Kang	บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบการควบคุมการให้น้ำแก่พืช โดยใช้ข้อมูลความชื้นใต้ดินในบริเวณรากของพืชที่ระดับความลึกต่าง ๆประกอบการตัดสินใจในการให้สั่งจ่ายน้ำแก่พืชโดยใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ

2.5 สรุป

บทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของระบบสมองกลฝังตัวซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักของงานวิจัยนี้ โดยทำหน้าที่อ่านค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดต่างๆ ติดต่อรับส่งข้อมูลระหว่างโหนด นอกจากนั้นยังนำเสนอทฤษฎีและหลักการของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการตรวจวัดค่าสภาพแวดล้อมในไร่มันสำปะหลัง ในส่วนท้ายได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของตรรกศาสตร์คลุมเครือที่ใช้ในการตัดสินใจให้น้ำแก่ไร่มันสำปะหลังตามความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมในขณะนั้น

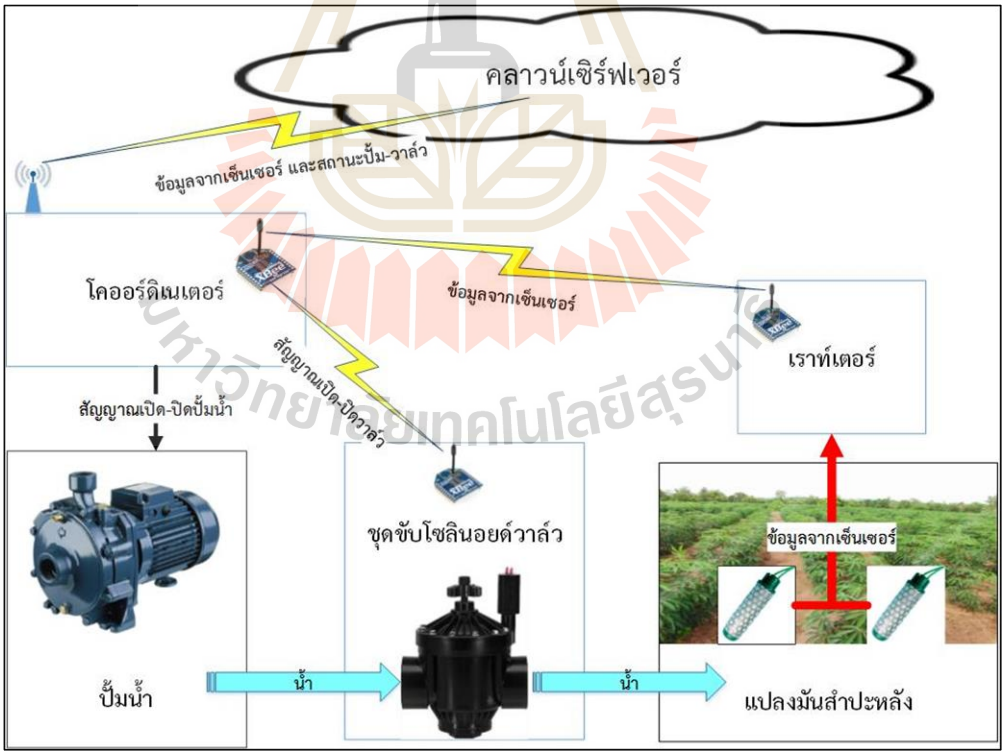
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
การออกแบบระบบ

3.1 บทนำ

บทนี้กล่าวถึงการออกแบบระบบการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีโดยแบ่งออกเป็นสี่ส่วนคือ โหนดเราท์เตอร์ซึ่งมีหน้าที่ตรวจวัดค่าสภาพแวดล้อมต่างๆในแปลงมันสำปะหลังเช่น ศักย์ของน้ำในดินหรือความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเป็นต้น จากนั้นจะส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ซึ่งมีหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต นอกจากนี้โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ยังมีหน้าที่ตัดสินใจเปิดปั๊มน้ำและวาล์วไฟฟ้าโดยใช้เอาต์พุตจากตัวควบคุมแบบฟัซซี และชุดขับโซลินอยดอ์วาล์วซึ่งมีหน้าที่รับสัญญาณควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วจากโหนดโคออร์ดิเนเตอร์

โหนดโคออร์ดิเนเตอร์มีวงจรขับวาล์วจากพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่สำรอง โดยทั้งสามส่วนจะทำงานร่วมกันเป็นระบบ นอกจากนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการติดตั้งชุดทดลองอีกด้วย สรุปผลการออกแบบระบบจะกล่าวถึงในส่วนสุดท้าย ซึ่งการทำงานของระบบควบคุมจะแสดงในรูปที่ 3.1 รายละเอียดของการออกแบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของแต่ละส่วนในระบบดังกล่าวจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



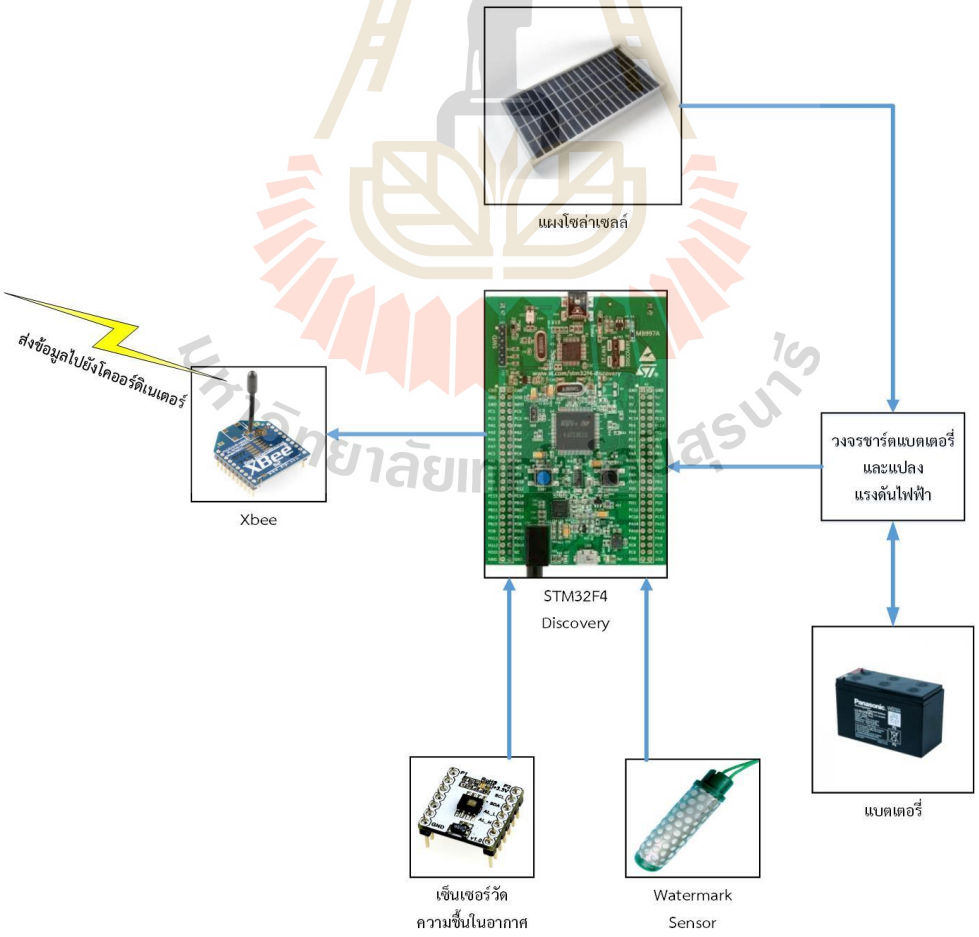
รูปที่ 3.1 แผนภาพของระบบการให้น้ำแบบอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี

3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

การออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีจะแบ่งออกเป็นสามส่วนดังนี้

3.2.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดเราท์เตอร์

โหนดเราท์เตอร์ประกอบไปด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery ซึ่งเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์สองชนิดคือ เซ็นเซอร์ Watermark เพื่อใช้วัดค่าศักย์ของน้ำในดินซึ่งบ่งบอกความต้องการน้ำของพืชโดยติดตั้งไว้บริเวณรากของมันสำปะหลังที่ความลึก 15 เซนติเมตรและ 30 เซนติเมตร และเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ HIH6131 นอกจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ยังเชื่อมต่อกับโมดูลสื่อสารแบบไร้สาย Xbee ผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อใช้ส่งค่าเซ็นเซอร์ที่อ่านได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังโหลดเราท์เตอร์ สำหรับไฟเลี้ยงระบบใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยมีแผงโซล่าเซลล์ขนาด 10 วัตต์จำนวน 1 แผงต่อกับวงจรชาร์ตแบตเตอรี่และแปลงแรงดันไฟฟ้าให้มีขนาด 5 โวลต์สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีแบตเตอรี่ขนาดแรงดัน 12 โวลต์ความจุ 7.1 แอมป์ต่อชั่วโมงจำนวน 1 ก้อน สำหรับสำรองไฟเพื่อใช้งานในเวลากลางคืนอีกด้วย แผนภาพการออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดเราท์เตอร์แสดงดังรูปที่ 3.2 และการติดตั้งโหนดเราท์เตอร์ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.3

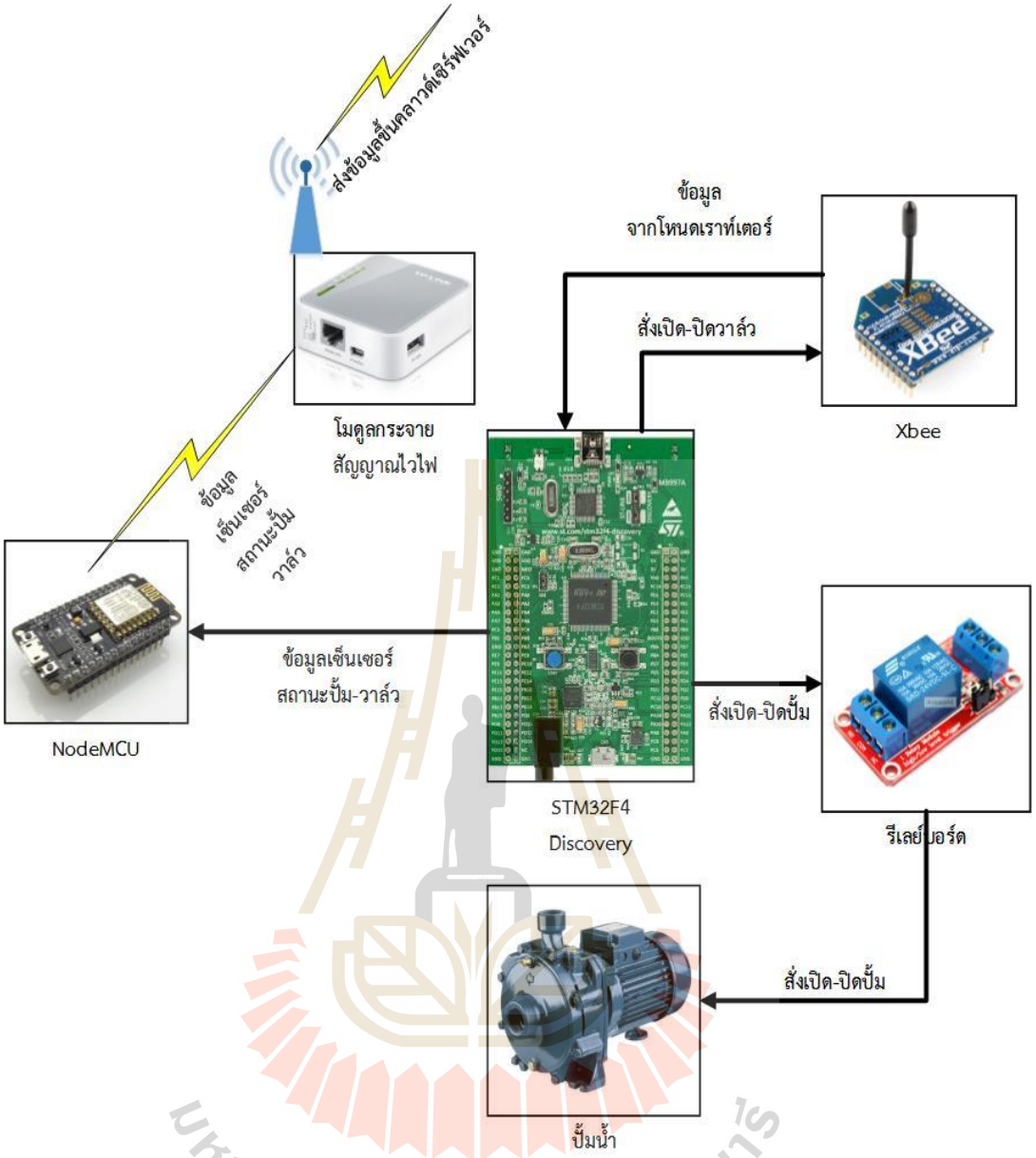


รูปที่ 3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดเราท์เตอร์

รูปที่ 3.3 การติดตั้งโหนดเราท์เตอร์ในการทดลอง

3.2.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดโคออร์ดิเนเตอร์

โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ประกอบไปด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สองชนิด ได้แก่ STM32F4 Discovery และ Node MCU และมีโมดูลสื่อสารสองชนิด ได้แก่ โมดูลสื่อสารแบบไร้สาย Xbee และโมดูลกระจายสัญญาณอินเตอร์เน็ตไร้สาย (Wi-Fi) ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery เชื่อมต่อกับ โมดูลสื่อสารแบบไร้สาย Xbee ผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อรับค่าเซ็นเซอร์จากโหนดเราท์เตอร์สำหรับเป็นอินพุตของตัวควบคุมแบบฟัซซี หลังจากตัวควบคุมแบบฟัซซีได้ตัดสินใจเปิด-ปิดปั้มน้ำจะส่งสัญญาณไปควบคุมรีเลย์บอร์ดซึ่งต่ออยู่กับปั้มน้ำชนิดกระแสสลับ 220 โวลต์ขนาด 2 แรงม้าเพื่อสูบน้ำเข้าสู่ระบบน้ำหยดที่ติดตั้งในแปลงมันสำปะหลัง ในขณะเดียวกันไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery จะส่งสัญญาณสั่งเปิด-ปิดโซลินอยด์วาล์วไปยังโมดูลสื่อสารแบบไร้สาย Xbee เพื่อส่งสัญญาณไปยังชุดขับโซลินอยด์วาล์วเพื่อเปิดวาล์วที่แปลงมันสำปะหลัง นอกจากนั้นข้อมูลเซ็นเซอร์ที่ได้รับมาจากโหนดเราท์เตอร์รวมถึงสถานะของปั้มและโซลินอยด์วาล์วทั้งหมดจะถูกส่งขึ้นคลาวน์เซิร์ฟเวอร์เพื่อเก็บบันทึกข้อมูลและสามารถตรวจสอบสถานะได้แบบเวลาจริง โดยข้อมูลจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ผ่านพอร์ตอนุกรม จากนั้นไมโครคอลโทรลเลอร์ Node MCU ซึ่งเชื่อมต่อสัญญาณอินเตอร์เน็ตจากโมดูลกระจายสัญญาณอินเตอร์เน็ตแบบไวไฟจะทำการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์และอัพโหลดข้อมูลขึ้นสู่เซิร์ฟเวอร์ แผนภาพการออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดโคออร์ดิเนเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.4

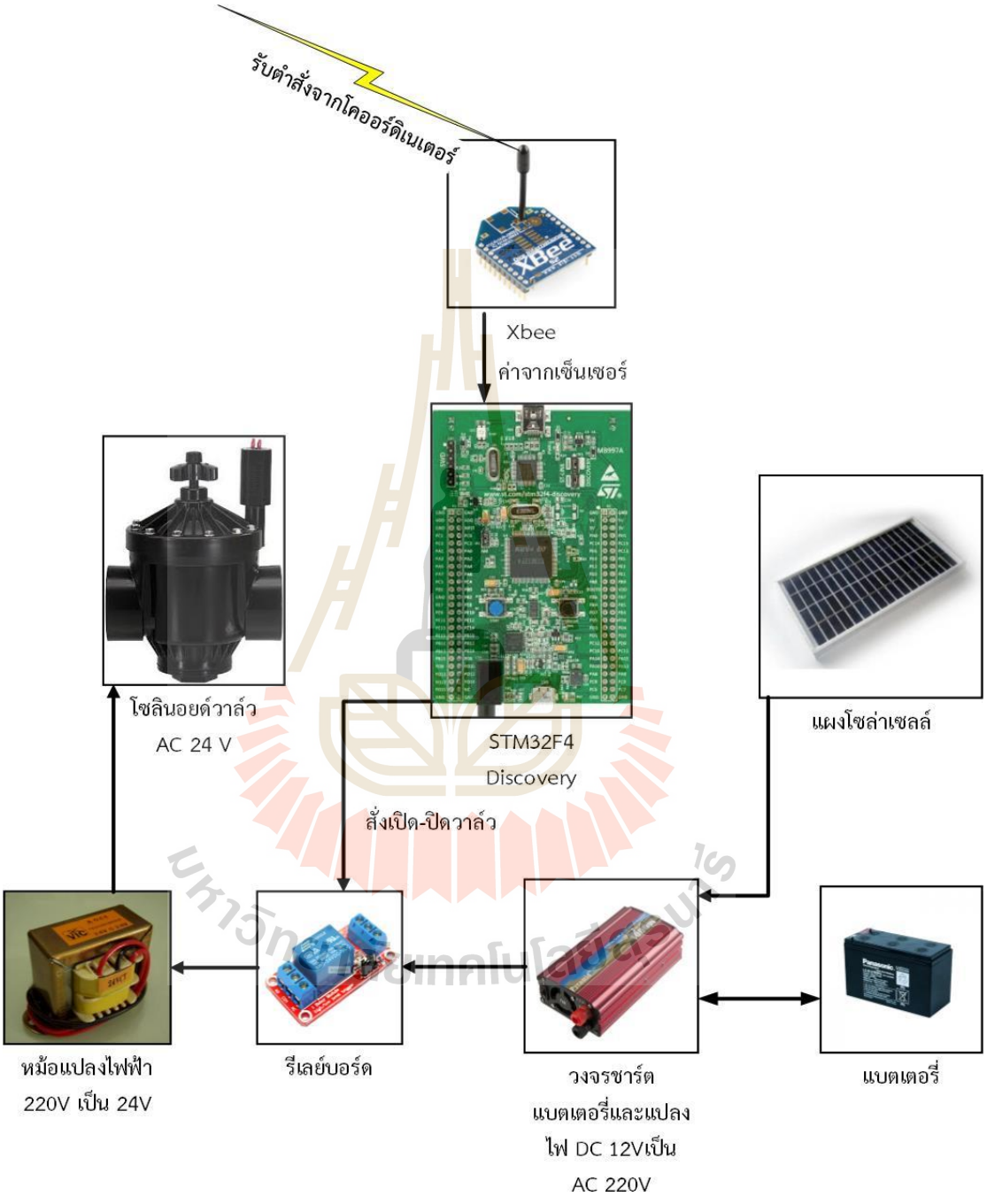


รูปที่ 3.4 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดโคออร์ดิเนเตอร์

3.2.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ชุดขับโซลินอยด์วาล์ว

ชุดขับโซลินอยด์วาล์วประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery ซึ่งรับคำสั่งเปิด-ปิดวาล์วจากโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ด้วยโมดูลสื่อสารแบบไร้สาย Xbee ผ่านทางพอร์ตอนุกรม จากนั้นสั่งให้รีเลย์เปิด-ปิดทันที โดยส่วนสำคัญของชุดขับโซลินอยด์วาล์วคือแหล่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ด้วยแผงโซล่าเซลล์ขนาด 10วัตต์ ต่อกับวงจรชาร์ตแบตเตอรี่ โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ขนาด 7.1 แอมป์ต่อชั่วโมง

โซลินอยด์วาล์วที่ใช้ในงานวิจัยต้องการไฟเลี้ยงกระแสสลับขนาด 24 โวลต์ เริ่มจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์เป็นอินพุตให้แก่วงจรแปลงไฟจากกระแสตรง 12โวลต์เป็นกระแสสลับ 220 โวลต์ จากนั้นเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับ 220 โวลต์ แปลงเป็น กระแสสลับ 24 โวลต์ เข้าสู่โซลินอยด์วาล์ว แผนภาพการออกแบบฮาร์ดแวร์ของชุดขับโซลินอยด์วาล์วแสดงดังรูปที่ 3.5



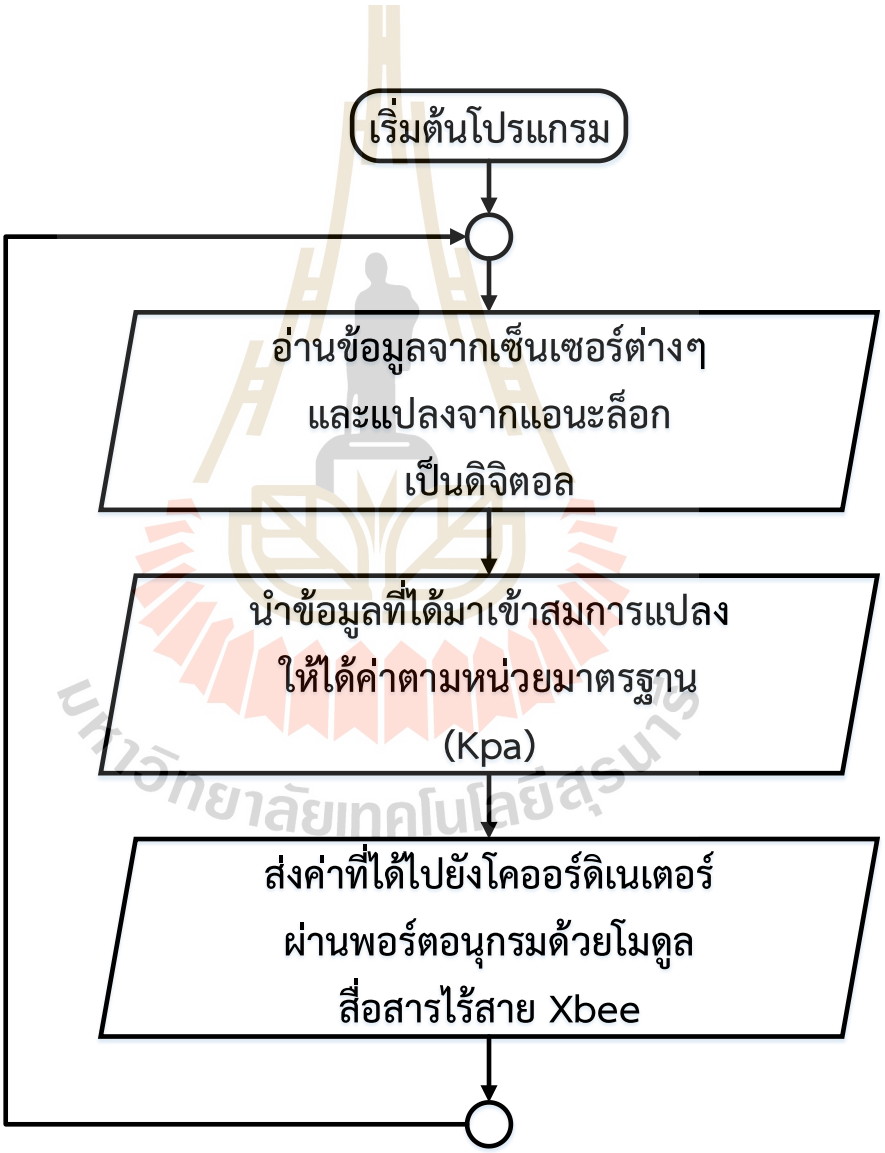
รูปที่ 3.5 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของชุดขับโซลินอยด์วาล์ว

3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์

การออกแบบซอฟต์แวร์จะแบ่งออกเป็นสามส่วนดังนี้

3.3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดเราท์เตอร์

การทำงานของโปรแกรมโหนดเราท์เตอร์เริ่มต้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery อ่านค่าจากเซ็นเซอร์ และแปลงค่าจากแอนะล็อกเป็นดิจิตอล จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดส่งผ่านพอร์ตอนุกรมไปยังโมดูลสื่อสารแบบไร้สาย Xbee เพื่อส่งค่าให้โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมโหนดเราท์เตอร์แสดงดังรูปที่ 3.6

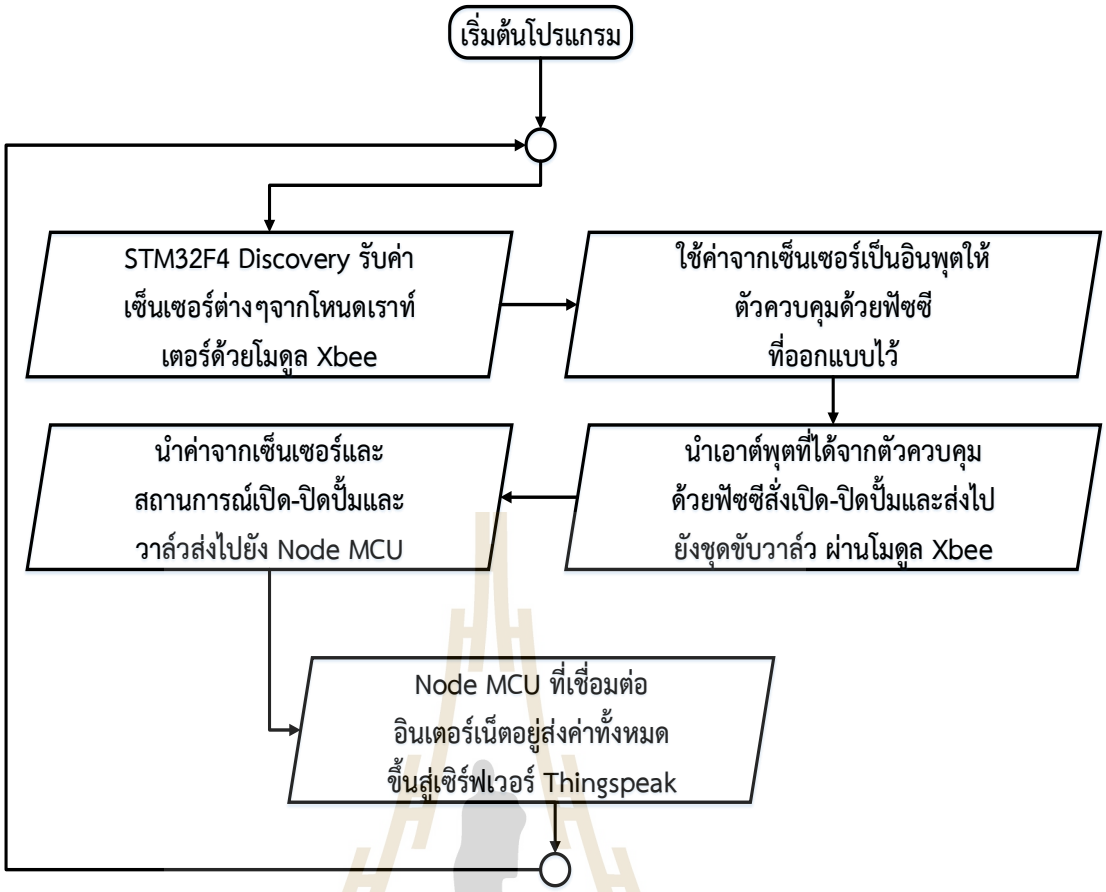


รูปที่ 3.6 การทำงานของโปรแกรมในโหนดเราท์เตอร์

3.3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดโคออร์ดิเนเตอร์

การทำงานของโปรแกรมโหนดโคออร์ดิเนเตอร์เริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery รับค่าเซ็นเซอร์ต่างๆที่ส่งมาจากโหนดเราท์เตอร์ จากนั้นนำค่าค่าศักย์ของน้ำในดินจากเซ็นเซอร์ watermark และค่าความชื้นในอากาศจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศเก็บลงตัวแปรเพื่อเป็นอินพุตให้แก่ตัวควบคุมด้วยฟัซซีที่ออกแบบไว้ซึ่งจะอธิบายออกแบบตัวควบคุมด้วยฟัซซีจะอธิบายในหัวข้อถัดไป หลังจากตัวควบคุมด้วยฟัซซีประมวลผลแล้วเอาต์พุตที่ได้จะถูกแปลงเป็นคำสั่งเปิด-ปิดน้ำและส่งไปควบคุมรีเลย์ที่ต่อกับปั๊มน้ำอยู่พร้อมทั้งถูกส่งไปยังชุดควบคุมโซลินอยด์วาล์ว ดังนั้นถ้าฟัซซีตัดสินใจเปิดน้ำ ปั๊มน้ำและโซลินอยด์วาล์วจะเปิดพร้อมกัน ขั้นตอนต่อไปคือการนำข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทั้งหมดพร้อมทั้งสถานะการเปิด-ปิดน้ำส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ซึ่งต่อแบบอนุกรมอยู่กับ STM32F4 Discovery จากนั้น Node MCU จะเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตจากโมดูลกระจายสัญญาณไวไฟเพื่อส่งค่าทั้งหมดขึ้นไปยังเซิร์ฟเวอร์ www.thingspeak.com เพื่อเก็บข้อมูลและสามารถเฝ้าระวังระบบแบบออนไลน์ได้ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมโหนดโคออร์ดิเนเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.7

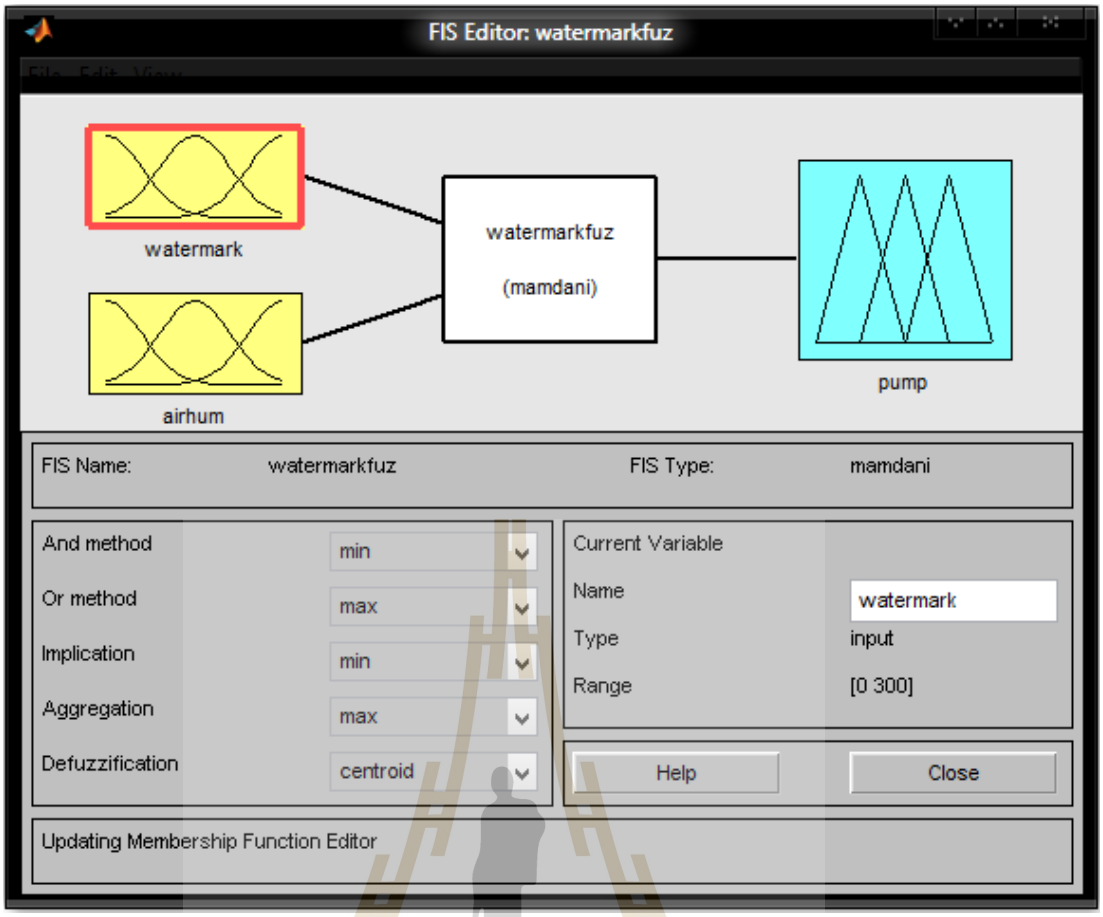
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.7 การทำงานของโปรแกรมในโหนดโคออร์ดิเนเตอร์

3.3.3 การออกแบบตัวควบคุมด้วยฟัซซีสำหรับโหนดโคออร์ดิเนเตอร์

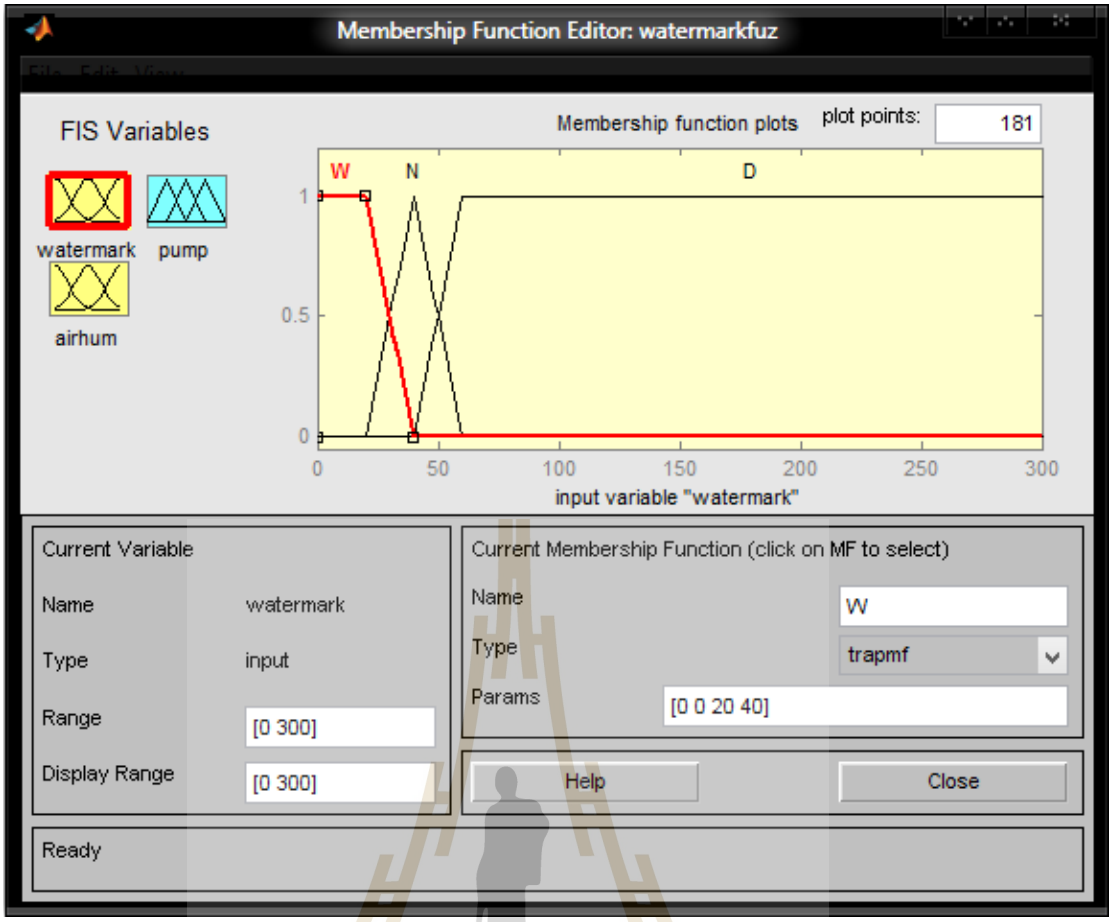
การออกแบบตัวควบคุมด้วยฟัซซีในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือในการออกแบบคือโปรแกรม Matlab Simulink ซึ่งสามารถกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชั่นต่างๆและฐานกฎได้ด้วยกราฟฟิกยูเซอร์อินเตอร์เฟส ทำให้ประหยัดเวลาในการออกแบบและสะดวกในการปรับแต่งหรือแก้ไข ซึ่งรูปภาพแสดงการออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การออกแบบตัวควบคุมด้วยฟัซซีโดยโปรแกรม Matlab Simulink

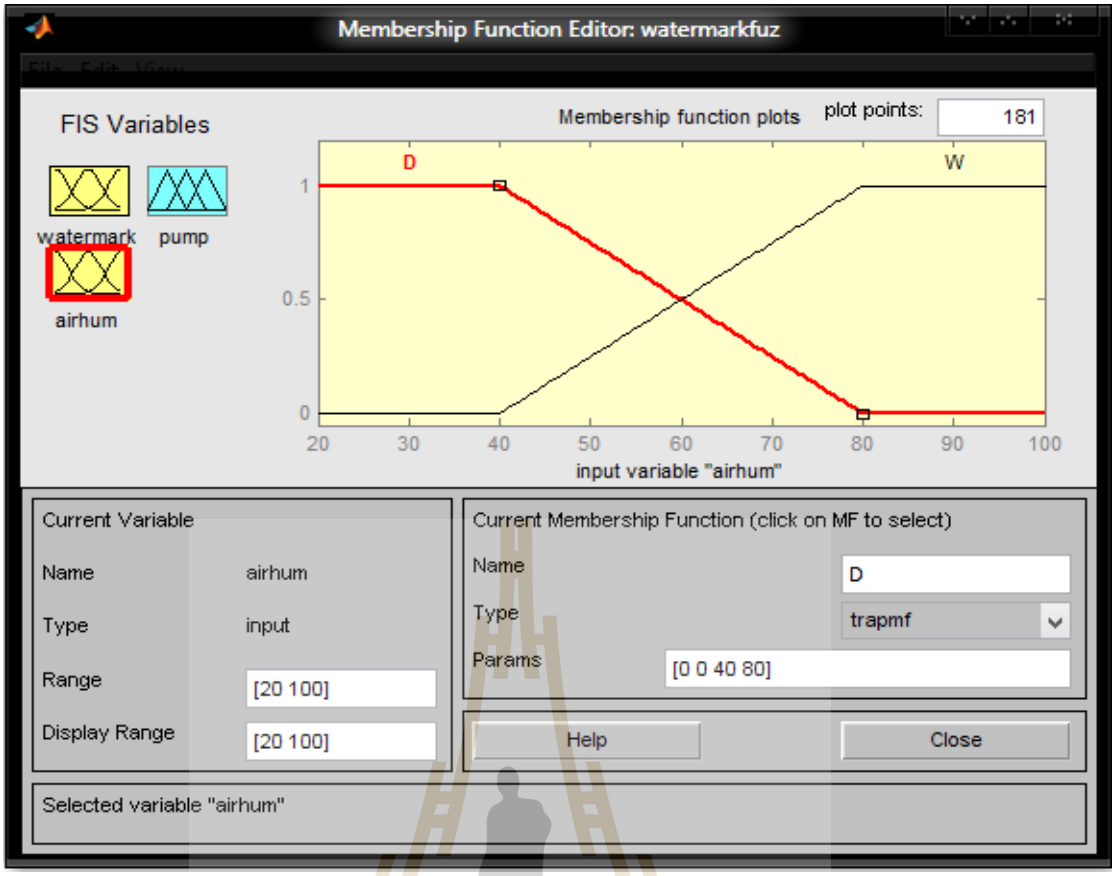
โดยตัวควบคุมด้วยฟัซซีที่ออกแบบขึ้นประกอบด้วย 2 อินพุต คือค่าศักย์ของน้ำในดินจากเซ็นเซอร์ watermark และค่าความชื้นในอากาศ และเอาต์พุตจำนวน 1 เอาต์พุตคือระยะเวลาในการเปิดน้ำเข้าสู่แปลงทดลองโดยมีการออกแบบค่าความสมาชิกของฟังก์ชั่นดังนี้

อินพุตที่ 1 ศักย์ของน้ำในดิน เนื่องจากในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงทดลองก่อนการทดลองพบว่า ค่าค่าศักย์ของน้ำในดินจากเซ็นเซอร์ watermark จะมีช่วงระหว่าง 0 Kpa ถึง 300 Kilo Pascal (Kpa) โดยเมื่อดินมีความชื้นมากที่สุดค่าศักย์ของน้ำในดินจะอยู่ที่ 0 Kpa ส่วนเมื่อดินแห้งมากที่สุดค่าค่าศักย์ของน้ำในดินจะอยู่ที่ 300 Kpa และค่าศักย์ของน้ำในดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังอยู่ที่ประมาณไม่เกิน 30 Kpa ถ้าดินแห้งมากกว่านี้จะทำให้พืชไม่สามารถดึงน้ำที่อยู่ในดินไปใช้ได้ ผู้วิจัยจึงออกแบบค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยแบ่งออกเป็น 3 เซต ดังนี้ เมื่อดินมีความชื้นสูง (W) ซึ่งอยู่ระหว่าง 0 Kpa ถึง 40 Kpa เมื่อดินมีความชื้นปกติ (N) 20 Kpa ถึง 60 Kpa เมื่อดินมีความชื้นต่ำ (D) 40 Kpa ถึง 300 Kpa แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 1

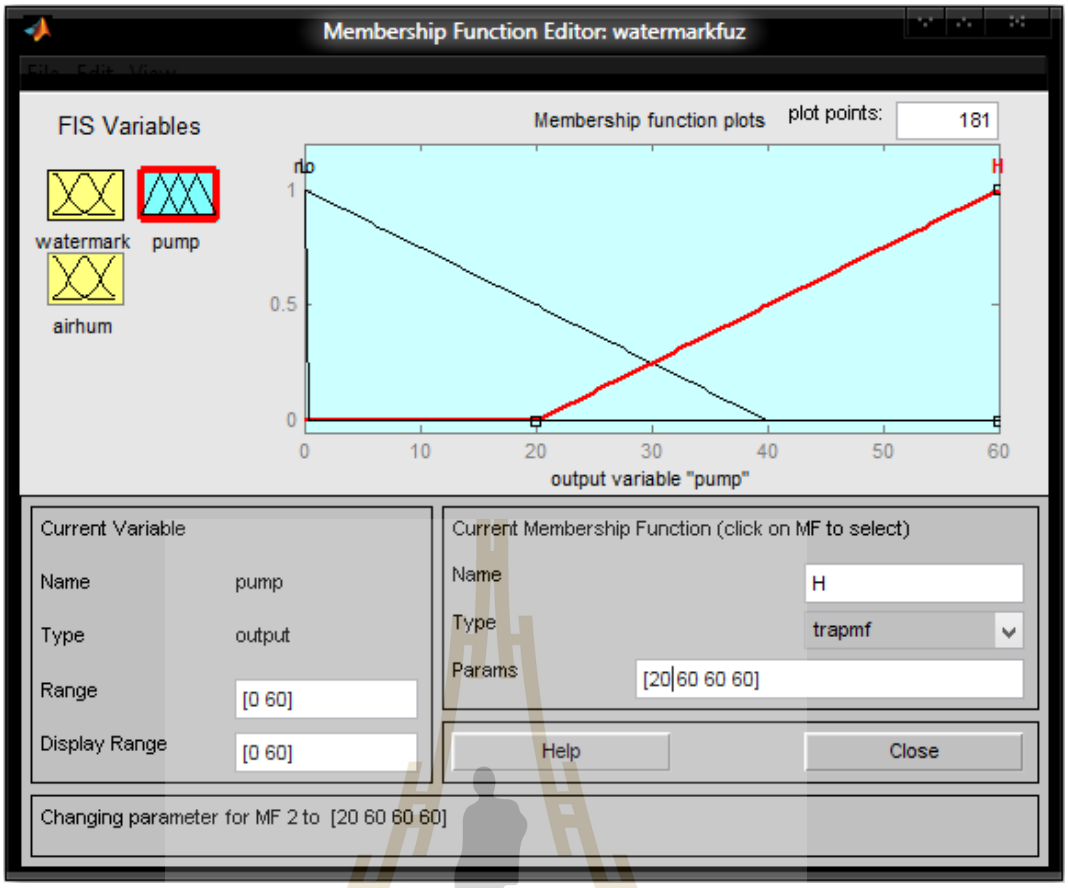
อินพุตที่ 2 ความชื้นในอากาศ เนื่องจากในการศึกษาข้อมูลก่อนการทดลองพบว่า ค่าความชื้นในอากาศมีผลต่ออัตราการคายน้ำของพืชซึ่งแปรผันตรงกับการดูดน้ำจากดิน ผู้วิจัยจึงใช้ค่าความชื้นในอากาศเป็นอินพุตร่วมเพื่อตัดสินใจให้น้ำพืช แต่ให้น้ำหนักของค่าความชื้นในอากาศน้อยกว่าค่าศักย์ของน้ำในดิน โดยจากการเก็บข้อมูลก่อนการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศที่วัดได้จากเซ็นเซอร์จะมีช่วงระหว่าง 40% ถึง 80% โดยเมื่อ ความชื้นในอากาศสูงจะทำให้อัตราการคายน้ำของพืชต่ำลงและอัตราการดูดน้ำจากดินต่ำลงไปด้วย ผู้วิจัยจึงออกแบบค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นโดยแบ่งออกเป็น 2 เซตดังนี้ เมื่อดินมีความชื้นในอากาศสูง (W) ซึ่งอยู่ระหว่าง 40% ถึง 100% เมื่อความชื้นในอากาศต่ำ (D) 0% ถึง 80% Kpa แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของอินพุตที่ 10

เอาต์พุตของตัวควบคุมแบบฟัซซีเนื่องจากระบบน้ำหยดที่ใช้งานในแปลงทดลองไม่สามารถปรับอัตราการไหลต่อชั่วโมงได้ ผู้วิจัยจึงกำหนดปริมาณน้ำของเอาต์พุตในรูปแบบเวลาในการเปิดปั๊มน้ำโดยกำหนดจากเวลา 1 ชั่วโมงหรือ 60 นาทีและกำหนดความเป็นสมาชิกของฟังก์ชั่นดังนี้ ต้องการน้ำมาก (H) 20 นาที ถึง 60 นาที ต้องการน้ำน้อย (L) 0 นาที ถึง 40 นาที และถ้าพืชไม่ต้องการน้ำ (NOP) 0 นาที แสดงดังรูปที่ 3.11

เงื่อนไขในการตัดสินใจให้น้ำแก่มันสำปะหลังได้รับคำแนะนำจากนักวิชาการทางการเกษตร และนักเทคโนโลยีทางการเกษตรซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในด้านระบบน้ำหยดในพืชไร่ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งมีความเชี่ยวชาญในด้านเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดในทางการเกษตรอีกด้วย



รูปที่ 3.11 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นของเอาต์พุต

งานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการรับและส่งข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ส่งข้อมูลขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ รวมถึงคำนวณปริมาณการให้น้ำแก่มันสำปะหลังด้วยฟัซซีลอจิกอีกด้วย ดังนั้นเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพื่อลดการใช้พลังงานซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงออกแบบระบบควบคุมด้วยฟัซซีให้มีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยที่สุดดังนี้

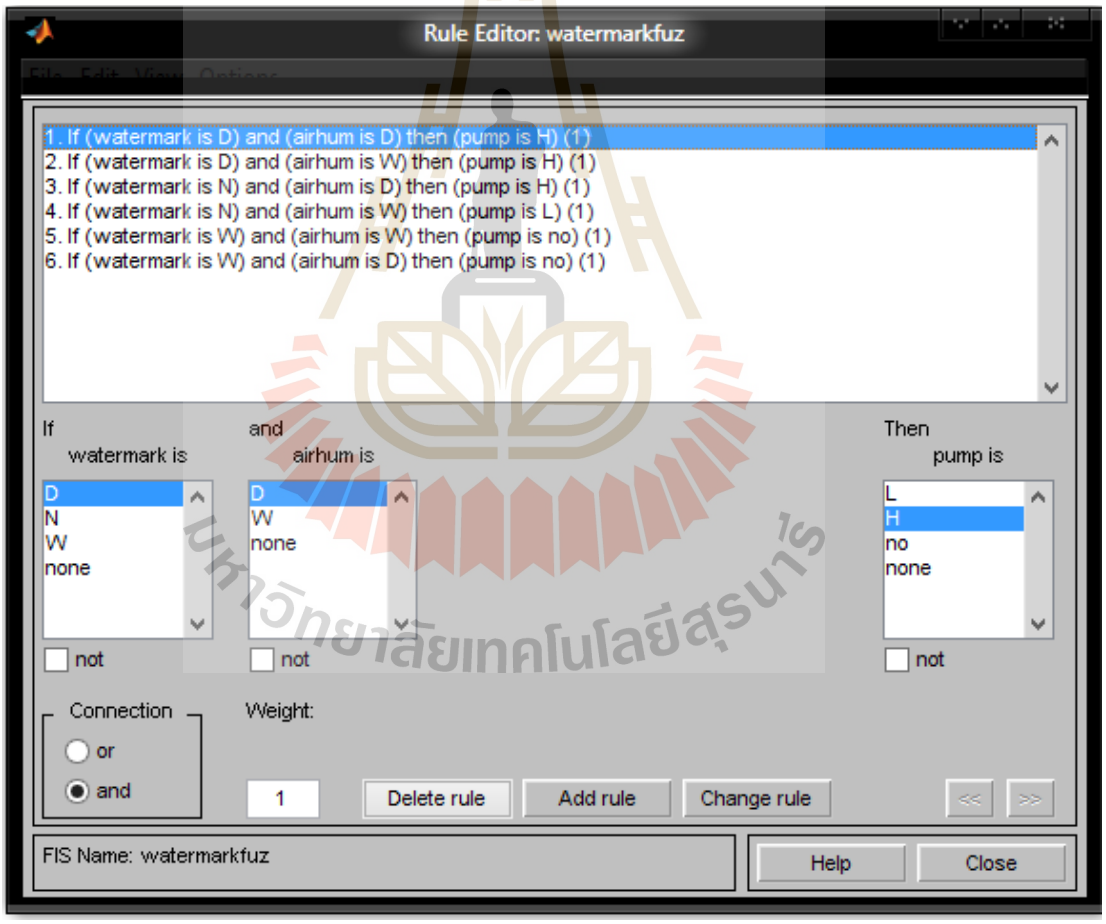
การกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจให้น้ำแก่มันสำปะหลัง ได้มีการออกแบบโดยการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชั่นในฟัซซีเซตแบบสามเหลี่ยมและฟัซซีเซตแบบสี่เหลี่ยมคางหมูเป็นหลัก เนื่องจากอินพุตของระบบเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆและไม่ได้มีความซับซ้อน จึงใช้ฟัซซีเซตที่คาบเกี่ยวกันแบบเชิงเส้น เพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผลข้อมูล

การกำหนดจำนวนของฟัซซีเซตจะพิจารณาจากการให้ความสำคัญของอินพุตแต่ละชนิด เช่นค่าศักย์ของน้ำในดิน เป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงปริมาณของน้ำในดินว่าเพียงพอต่อความต้องการของพืชหรือไม่ จึงเป็นอินพุตที่มีความสำคัญสูงที่สุด ดังนั้นจึงกำหนดจำนวนฟัซซีเซตเป็น 3 เซต ส่วนอินพุตความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ส่งต่ออัตราการใช้น้ำของพืชในกรณีที่มีน้ำเพียงพอต่อการใช้งาน จึงมีความสำคัญเป็นลำดับถัดมา ดังนั้นจึงกำหนดจำนวนฟัซซีเซตเพียง 2 เซต เป็นต้น จากจำนวนฟัซซี

เซตของแต่ละอินพุตดังกล่าวจึงกำหนดเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจได้ทั้งหมด 6 เงื่อนไขดังตารางที่ 3.1 และการกำหนดเงื่อนไขการตัดสินใจในโปรแกรม Matlab Simulink แสดงดังรูปที่ 3.12

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการตัดสินใจของระบบควบคุมด้วยฟัซซี

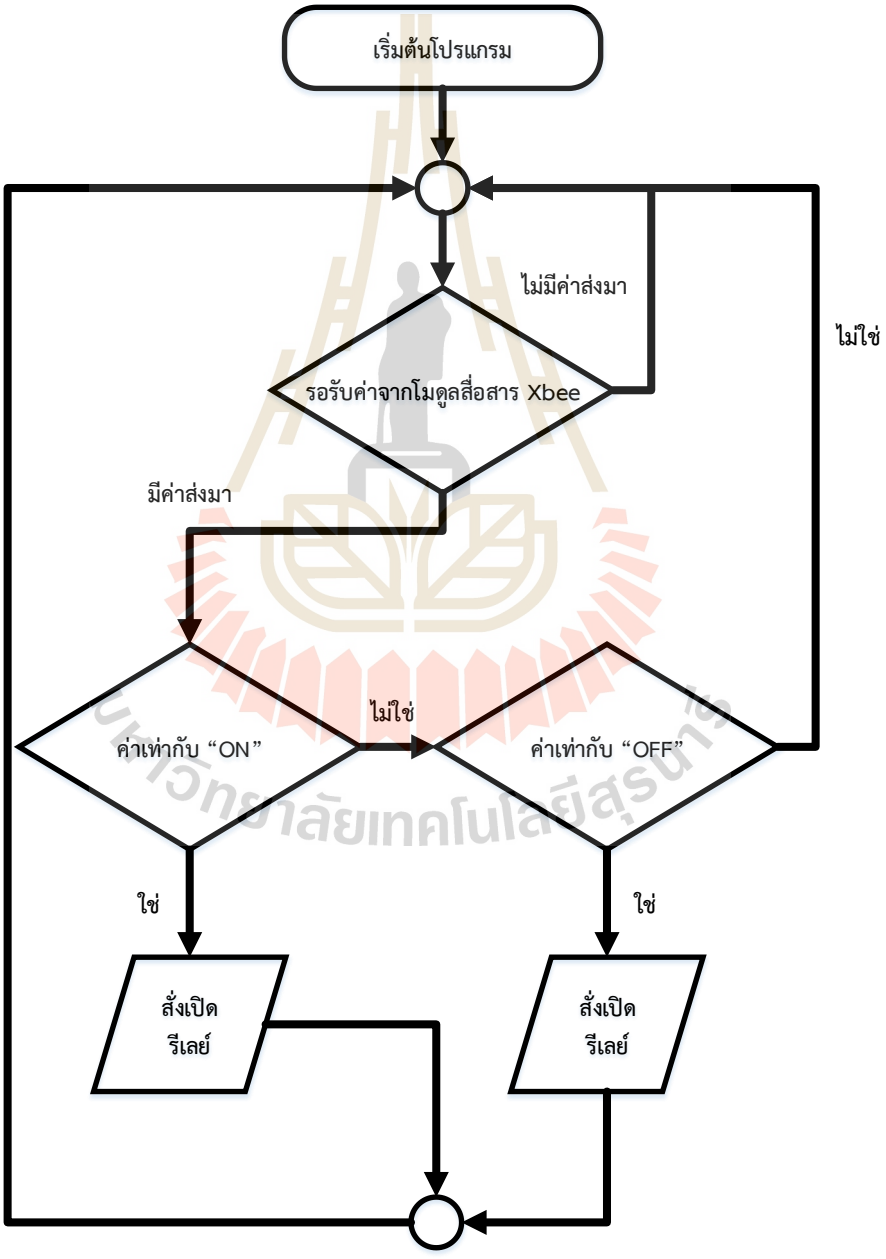
อินพุต 1 ค่าศักย์ของน้ำในดิน	อินพุต 2 ค่าความชื้นในอากาศ	เอาต์พุต ความต้องการน้ำ
ค่าศักย์ของน้ำในดินสูง (D)	ค่าความชื้นในอากาศต่ำ (D)	ความต้องการน้ำสูง (H)
ค่าศักย์ของน้ำในดินสูง (D)	ค่าความชื้นในอากาศสูง (W)	ความต้องการน้ำสูง (H)
ค่าศักย์ของน้ำในดินปกติ (N)	ค่าความชื้นในอากาศต่ำ (D)	ความต้องการน้ำสูง (H)
ค่าศักย์ของน้ำในดินปกติ (N)	ค่าความชื้นในอากาศสูง (W)	ความต้องการน้ำต่ำ (L)
ค่าศักย์ของน้ำในดินต่ำ (W)	ค่าความชื้นในอากาศต่ำ (D)	ไม่ต้องการน้ำ (NOP)
ค่าศักย์ของน้ำในดินต่ำ (W)	ค่าความชื้นในอากาศสูง (W)	ไม่ต้องการน้ำ (NOP)



รูปที่ 3.12 การกำหนดเงื่อนไขพื้นฐานของฟัซซี

3.3.4 การออกแบบซอฟต์แวร์ชุดขับโซลินอยด์วาล์ว

การทำงานของโปรแกรมชุดขับโซลินอยด์วาล์วเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery รอรับค่าจากโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ผ่านพอร์ตอนุกรม ถ้ายังไม่มีค่าใดๆส่งเข้ามาให้รอรับค่าต่อไป ถ้ามีค่าส่งเข้ามาให้ไปตรวจสอบค่าดังกล่าว ถ้าค่าที่ส่งมาเท่ากับ “ON” ให้กำหนดค่าดิจิตอลเอาท์พุตที่ต่อกับรีย์เลย์สั่งให้รีเลย์ทำงานจากนั้นวนไปรอรับค่าใหม่ แต่ถ้าค่าที่ส่งมาไม่เท่ากับ “ON” ตรวจสอบเงื่อนไขที่สอง ถ้าค่าที่ส่งมาเท่ากับ “OFF” ให้กำหนดค่าดิจิตอลเอาท์พุตที่ต่อกับรีย์เลย์สั่งให้รีเลย์หยุดทำงานจากนั้นวนไปรอรับค่าใหม่ แต่ถ้าค่าที่ส่งมาไม่เท่ากับ “OFF” ให้ทำการวนไปรับค่าใหม่ทันที แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การทำงานของโปรแกรมชุดขับโซลินอยด์วาล์ว

3.4 การติดตั้งชุดทดลอง

การติดตั้งเซ็นเซอร์ต่าง ๆเพื่อวัดค่าสภาพแวดล้อม เช่น ค่าศักย์ของน้ำในดินและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีความจำเป็นอย่างมาก ซึ่งค่าสภาพแวดล้อมเหล่านี้ต่างมีผลต่อความต้องการน้ำของมันสำปะหลัง จึงต้องมีติดตั้งที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพในการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซี

การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่าศักย์ของน้ำในดิน ก่อนติดตั้งต้องนำเซ็นเซอร์วัดค่าศักย์ของน้ำในดินไปแช่น้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้น้ำซึมเข้าไปในหัววัดของเซ็นเซอร์และนำหัววัดของเซ็นเซอร์สวมเข้ากับท่อพีวีซีที่มีขนาดเท่ากับหัววัดของเซ็นเซอร์เพื่อป้องกันความเสียหายเวลาติดตั้งหรือมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของเซ็นเซอร์ จากนั้นขุดหลุมลึกประมาณ 30 เซนติเมตรบริเวณรากของมันสำปะหลังโดยห่างจากลำต้นประมาณ 10-15 เซนติเมตรและนำเซ็นเซอร์ฝังลงดินและสุดท้ายใช้ดินกลบหลุมให้สนิท การติดตั้งเซ็นเซอร์ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่าศักย์ของน้ำในดิน

การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศต้องให้เซ็นเซอร์อยู่ในที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกและไม่เปียกน้ำจึงใช้กล่องทำจากแผ่นอะคลิลิคเพื่อกันน้ำ และมีช่องด้านข้างสำหรับระบายอากาศโดยกล่องดังกล่าวจะยึดติดที่บริเวณข้างกล่องใส่วงจรของโหลดเราท์เตอร์และเจาะรูเพื่อสอดสายสัญญาณต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ การติดตั้งเซ็นเซอร์ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ

จากรูปที่ 3.15 จะเห็นว่ามีช่องระบายอากาศอยู่ด้านข้างกล่อง แต่ในขณะเดียวกันเมื่อฝนตกน้ำไม่สามารถเข้าไปยังเซ็นเซอร์ได้ ทำให้ค่าที่อ่านได้มีความแม่นยำและเซ็นเซอร์ไม่เสียหาย

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบระบบให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี ประกอบด้วยภาพรวมของระบบพร้อมทั้งแผนภาพแสดงรายละเอียดการออกแบบระบบให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีอย่างชัดเจน การออกแบบฮาร์ดแวร์ซึ่งแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ การออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดเราท์เตอร์ การออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ และการออกแบบฮาร์ดแวร์ชุดขับโซลินอยด์วาล์ว โดยรวมถึงอุกปกรณ์แต่ละอย่างและวิธีการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ดังกล่าว การออกแบบซอฟต์แวร์ซึ่งแบ่งออกเป็นสี่ส่วน คือ การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดเราท์เตอร์ การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ การออกแบบตัวควบคุมด้วยฟัซซีสำหรับโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ และการออกแบบซอฟต์แวร์ชุดขับโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งแสดงในลักษณะของแผนผังการเขียนโปรแกรม ในบทถัดไปจะนำเสนอการทดสอบระบบเพื่อการวิเคราะห์และปรับปรุงระบบต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิจัย

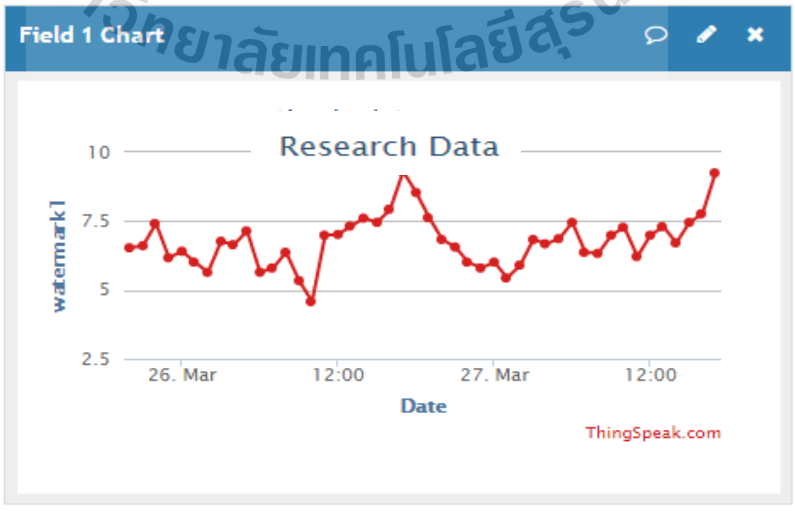
4.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบระบบต่างๆ ที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นดังรายละเอียดที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 โดยเนื้อหาจะแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ส่วนแรกคือบทนำ ส่วนที่สองคือการทดสอบเก็บข้อมูลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อให้สามารถเฝ้าระวังและตรวจสอบระบบแบบออนไลน์ได้ ส่วนที่สามคือการทดสอบชุดขับโซลินอยด์วาล์วโดยการทดลองเปิดวาล์วด้วยระบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนที่สี่เป็นการทดสอบระบบการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี ส่วนที่ห้าคือการคำนวณปริมาณทรัพยากรที่ใช้งานในการทดสอบระบบ และส่วนสุดท้ายคือสรุป

4.2 การทดสอบเก็บข้อมูลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

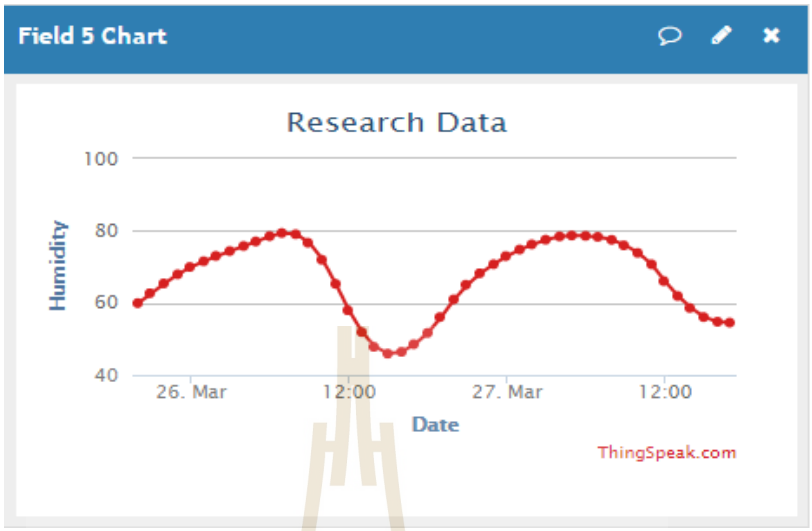
ในการเก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการส่งข้อมูลต่างๆขึ้นเซิร์ฟเวอร์เพื่อให้ง่ายต่อการเฝ้าระวังและตรวจสอบข้อมูลแบบออนไลน์ โดยผู้วิจัยเลือกใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ www.thingspeak.com ซึ่งเป็นเครือข่ายที่มีเสถียรภาพและมีผู้ใช้งานอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในรูปแบบของกราฟิกได้อีกด้วยซึ่งทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบข้อมูล และเมื่อต้องการวิเคราะห์ข้อมูลระบบแบบออฟไลน์คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ก็มีฟังก์ชั่นสำหรับนำข้อมูลออกให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์นามสกุล xls ซึ่งสะดวกต่อการนำไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมอื่นๆเช่น Microsoft Excel หรือ Matlab เป็นต้น

จากการทดลองส่งค่าจากเซ็นเซอร์ขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ www.thingspeak.com เป็นระยะเวลา 6 เดือนผลการทดลองพบว่าสามารถส่งข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์ได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง โดยสามารถแสดงผลในรูปแบบกราฟข้อมูลแสดงดังต่อไปนี้



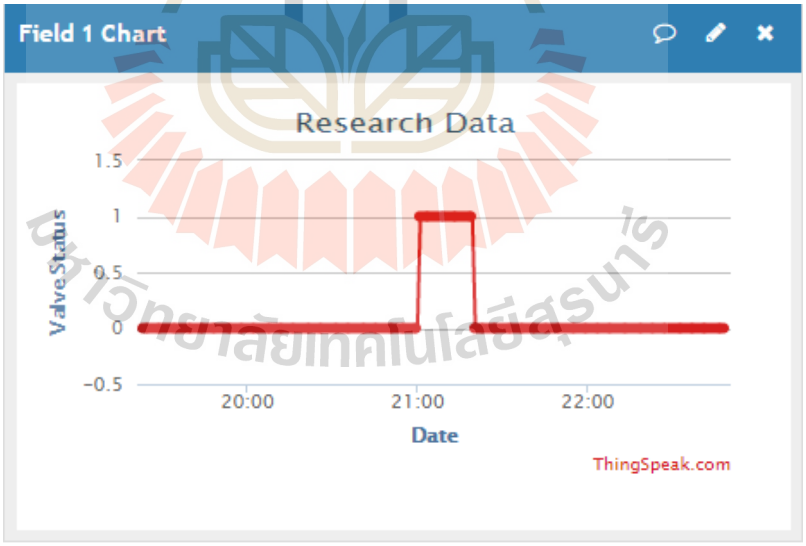
รูปที่ 4.1 การแสดงค่าศักย์ของน้ำในดินในรูปแบบกราฟ

จากรูปที่ 4.1 จะเป็นกราฟซึ่งแสดงผลการเก็บข้อมูลค่าศักย์ของน้ำในดินที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ watermark ตัวที่ 1 โดยแสดงข้อมูลในวันที่ 26 ถึง 27 มีนาคม จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าศักย์ของน้ำในดินจะอยู่ระหว่าง 4 Kpa ถึง 9 Kpa ซึ่งหมายความว่าศักย์ของน้ำในดินต่ำหรือดินมีความชื้นสูง



รูปที่ 4.2 การแสดงค่าความชื้นในอากาศในรูปแบบกราฟ

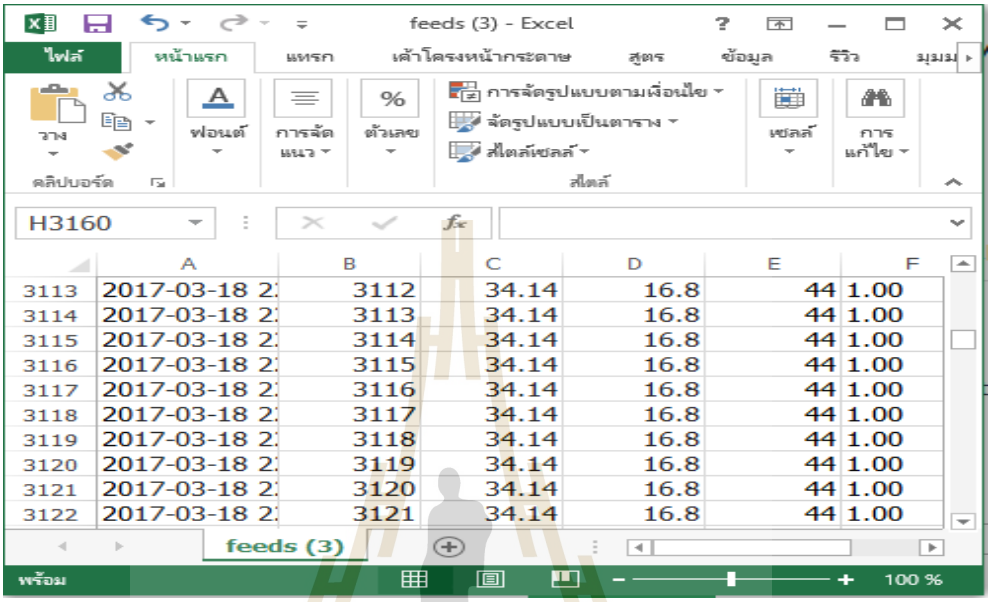
จากรูปที่ 4.2 จะเป็นกราฟซึ่งแสดงผลการเก็บข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ โดยแสดงข้อมูลในวันที่ 26 ถึง 27 มีนาคม จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าความชื้นในอากาศจะอยู่ระหว่าง 45 % ถึง 80 %



รูปที่ 4.3 การแสดงค่าสถานะเปิด-ปิดปั้มน้ำในรูปแบบกราฟ

จากรูปที่ 4.3 จะเป็นกราฟซึ่งแสดงผลสถานะเปิด-ปิดปั้มน้ำซึ่งเป็นเอาต์พุตจากตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้ในการทดลอง โดยถ้าปิดปั้มน้ำ (ปั้มน้ำไม่ทำงาน) จะแสดงสถานะ 0 และถ้าเปิดปั้มน้ำ (ปั้มน้ำทำงาน) จะแสดงสถานะ 1 จากกราฟจะสังเกตได้ว่าในช่วงเวลาประมาณ 21.00 น. มีการเปิดน้ำเป็นระยะเวลา 20 นาที โดยประมาณ

การแสดงผลในรูปแบบกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 จะเห็นได้ว่าในการอ่านค่าจะต้องใช้การประมาณด้วยสายตา เนื่องจากสเกลในการแสดงผลไม่ละเอียด ดังนั้นเมื่อต้องการวิเคราะห์ข้อมูลโดยละเอียดและแม่นยำจึงสามารถนำข้อมูลออกได้เป็นไฟล์นามสกุล xls ซึ่งสามารถใช้งานได้กับโปรแกรม Microsoft excel หรือ Matlab ลักษณะของข้อมูลในรูปแบบ xls ที่เปิดด้วยโปรแกรม Microsoft excel แสดงดังรูปที่ 4.4



	A	B	C	D	E	F
3113	2017-03-18 2:	3112	34.14	16.8	44	1.00
3114	2017-03-18 2:	3113	34.14	16.8	44	1.00
3115	2017-03-18 2:	3114	34.14	16.8	44	1.00
3116	2017-03-18 2:	3115	34.14	16.8	44	1.00
3117	2017-03-18 2:	3116	34.14	16.8	44	1.00
3118	2017-03-18 2:	3117	34.14	16.8	44	1.00
3119	2017-03-18 2:	3118	34.14	16.8	44	1.00
3120	2017-03-18 2:	3119	34.14	16.8	44	1.00
3121	2017-03-18 2:	3120	34.14	16.8	44	1.00
3122	2017-03-18 2:	3121	34.14	16.8	44	1.00

รูปที่ 4.4 การนำข้อมูลออกเป็นไฟล์สกุล xls

ซึ่งจากรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าผู้ใช้งานระบบสามารถวิเคราะห์ข้อมูลในคลาวน์เซิร์ฟเวอร์ได้ง่าย รวดเร็ว และหลากหลายรูปแบบ

4.3 การทดสอบชุดขับโซลินอยด์วาล์ว

โซลินอยด์วาล์วที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือรุ่น Hunter PGV 203 โดยมีพิกัดทางกลคือขนาดท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออกเท่ากับ 2 นิ้ว แรงดันน้ำที่สามารถใช้งานได้คือช่วงแรงดันน้ำขนาด 1.4 ถึง 10.3 บาร์ สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 66 องศาเซลเซียส และมีพิกัดทางไฟฟ้าคือใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 24 โวลต์ โดยเมื่อทำการเปิดน้ำโซลินอยด์วาล์วกินกระแสเท่ากับ 370 มิลลิแอมป์

การทดสอบชุดขับโซลินอยด์วาล์วจะเริ่มจากการจำลองโหนดโคออร์ดิเนเตอร์เพื่อส่งคำสั่งเปิด-ปิดวาล์วผ่านพอร์ตอนุกรมด้วยการส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่าน Xbee ไปยังชุดขับโซลินอยด์วาล์วจากนั้นทำการเปิดปั๊มน้ำเพื่อทดสอบว่าชุดขับโซลินอยด์วาล์วที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์สามารถขับโซลินอยด์วาล์วได้หรือไม่โดยสังเกตผลจากน้ำที่ไหลออกจากท่อเข้าสู่แปลงปลูกมันสำปะหลังและบันทึกผลลงในตารางที่ 4.1 โดยทำการทดลองเป็นจำนวน 10 ครั้งและใช้เวลาห่างกันประมาณ 10-15 นาที

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบชุดขับโซลินอยด์วาล์ว

ครั้งที่	ทดสอบเปิดวาล์ว	ทดสอบปิดวาล์ว
1	✓	✓
2	✓	✓
3	✓	✓
4	✓	✓
5	✓	✓
6	✓	✓
7	✓	✓
8	✓	✓
9	✓	✓
10	✓	✓

ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าจากการทดลอง 10 ครั้ง ชุดขับโซลินอยด์วาล์วสามารถทำงานได้ทั้ง 10 ครั้งซึ่งคิดเป็น 100%

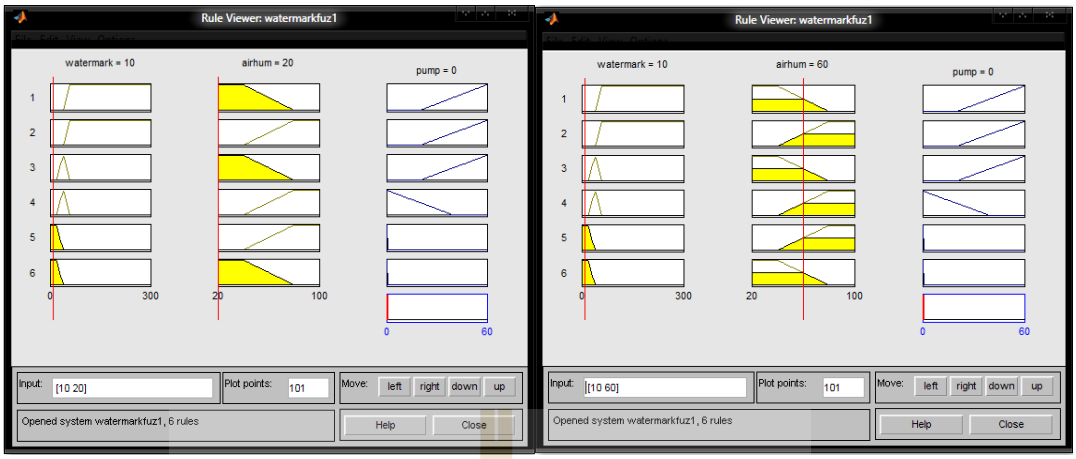
4.4 การทดสอบระบบการให้น้ำอัตโนมัติด้วยฟัซซี

การทดสอบระบบการให้น้ำอัตโนมัติด้วยฟัซซีจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ผลการจำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ออกแบบขึ้นด้วยโปรแกรม Matlab Simulink และผลการตัดสินใจเปิดน้ำจากระบบให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีที่นำไปติดตั้งในแปลงทดลองการปลูกมันสำปะหลังโดยเก็บผลบนเซิร์ฟเวอร์ www.thingspeak.com

4.4.1 การจำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีด้วยเซ็นเซอร์ Watermark

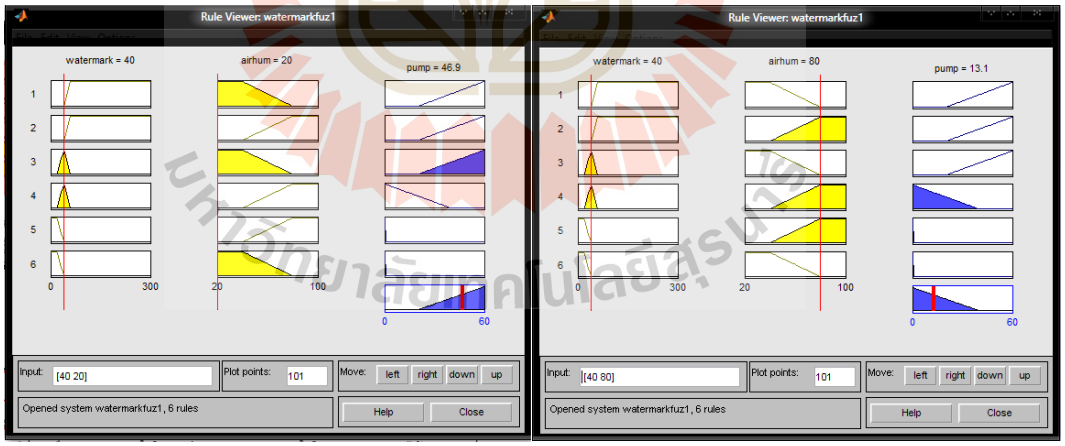
การจำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีจำลองโดยใช้โปรแกรม Matlab Simulink โดยกำหนดเงื่อนไขเพื่อดูว่าตรงตามความต้องการหรือไม่ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อศักย์ของน้ำในดินมีระดับต่ำ (ความชื้นในดินสูง) ได้ผลดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 จำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีด้วยโปรแกรม Matlab Simulink

เมื่อศักย์ของน้ำในดินมีระดับต่ำหมายความว่าพืชสามารถดึงน้ำจากดินไปใช้ได้ง่าย หรือดินมีความชื้นสูงทำให้ไม่จำเป็นต้องให้น้ำแก่พืชอีก ซึ่งสังเกตจากรูปที่ 4.3 จะพบว่า เมื่อศักย์ของน้ำในดินมีค่าประมาณ 10 Kpa ซึ่งมีระดับต่ำ ไม่ว่าความชื้นในดินจะมีระดับต่ำหรือสูง เอาต์พุตก็จะเท่ากับ 0 นาทีเนื่องจากพืชไม่ต้องการน้ำเพิ่มเติมแล้ว กรณีที่ 2 เมื่อศักย์ของน้ำในดินมีระดับกลาง (ความชื้นในดินปานกลาง) ได้ผลดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 จำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีด้วยโปรแกรม Matlab Simulink

เมื่อศักย์ของน้ำในดินมีระดับปานกลางหมายความว่าพืชสามารถดึงน้ำไปใช้ได้ดีพอสมควร ดังนั้นปริมาณน้ำที่พืชต้องการจึงขึ้นอยู่กับอัตราการคายน้ำของพืช ดังนั้นเอาตุพุตของระบบจึงขึ้นอยู่

กับความชื้นในอากาศ จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อศักย์ของน้ำในดินมีค่าประมาณ 40 Kpa ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางจะพบว่าถ้าความชื้นในอากาศต่ำจะทำให้เอาต์พุตมีค่าประมาณ 47 นาทีซึ่งถือว่าสูง แต่ในทางกลับกันถ้าความชื้นในอากาศมีค่าสูงจะทำให้เอาตพุตมีค่าประมาณ 13 นาทีซึ่งถือว่าต่ำซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขในการออกแบบระบบ

กรณีที่ 3 เมื่อศักย์ของน้ำในดินมีระดับสูง (ความชื้นในดินต่ำ) ได้ผลดังรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 จำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีด้วยโปรแกรม Matlab Simulink

เมื่อศักย์ของน้ำในดินมีระดับสูงหมายความว่าพืชสามารถดึงน้ำจากดินไปใช้ได้ลำบาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องให้น้ำในปริมาณมากโดยไม่ให้ความสำคัญกับความชื้นในอากาศเนื่องจากตัวแปรหลักคือค่าศักย์ของน้ำในดิน จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าเมื่อค่าศักย์ของน้ำในดินมีค่าสูง ประมาณ 60 Kpa ไม่ว่าความชื้นในอากาศจะสูงหรือต่ำ เอาต์พุตก็จะมีค่าประมาณ 47 นาทีซึ่งมีค่าสูง

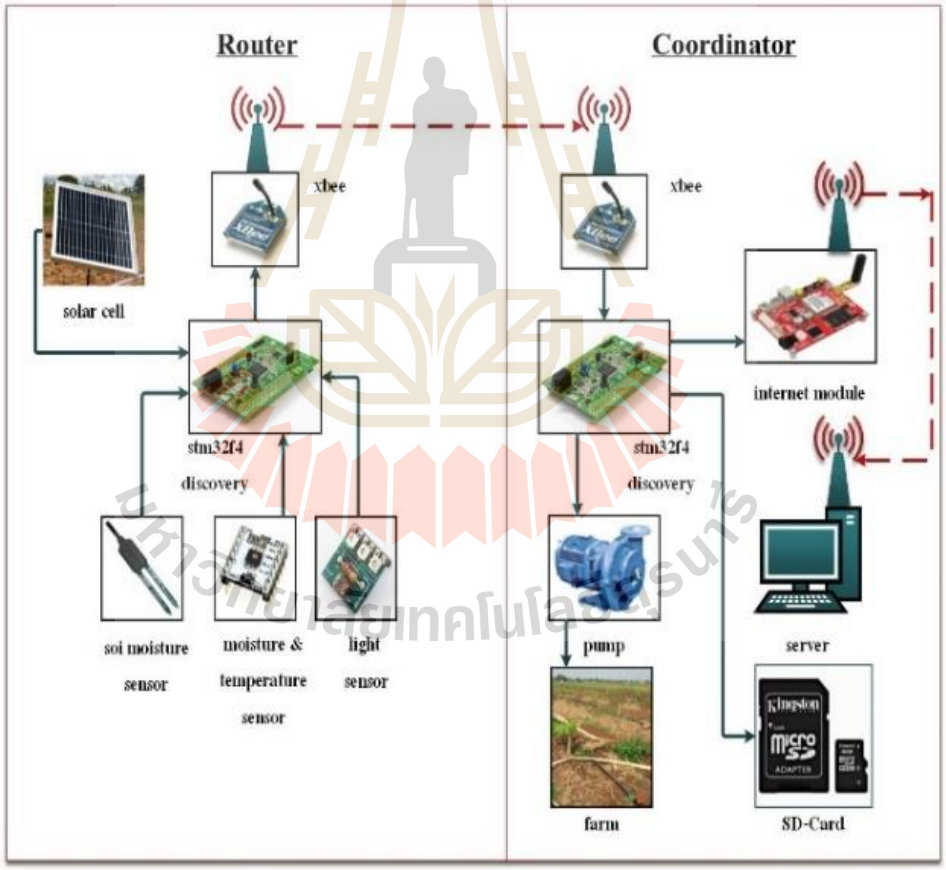
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4.2 การจำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีด้วยเซ็นเซอร์ EC-5

ในช่วงเริ่มต้นการวิจัย ผู้วิจัยได้ออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบควบคุมการให้น้ำโดยใช้ฟัซซีลอจิกซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

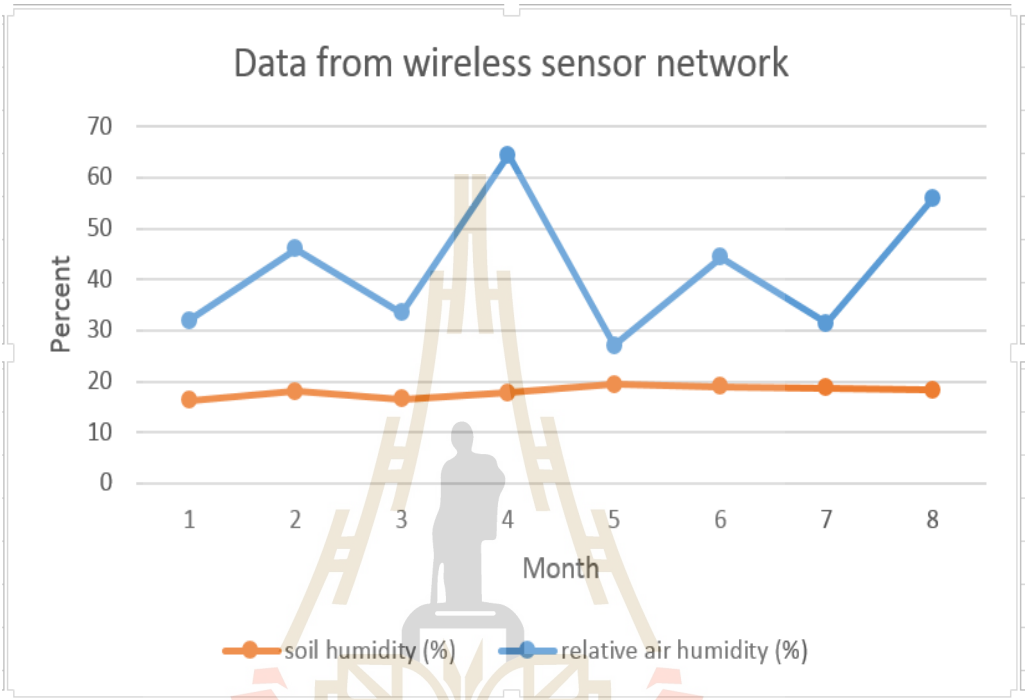
โหนดเราท์เตอร์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery ในการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ 3 ชนิดคือ เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน (EC-5) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และเซ็นเซอร์วัดแสงและส่งข้อมูลเซ็นเซอร์ทั้งหมดไปยังโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ผ่านโมดูลสื่อสารไรสาย Xbee

โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลค่าที่วัดจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆเพื่อประมวลผลในการตัดสินใจให้น้ำ และส่งข้อมูลทั้งหมดขึ้นสู่เซิร์ฟเวอร์ของศูนย์คอมพิวเตอร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีผ่านโมดูลโทรศัพท์ นอกจากนั้นยังมีการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำ SD-Card อีกด้วย ระบบการทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.8



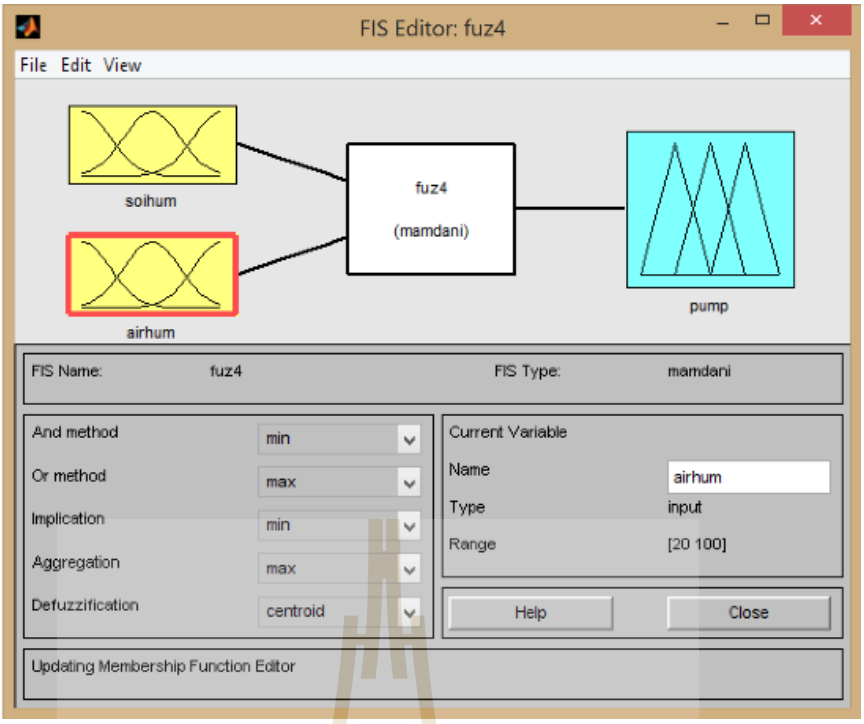
รูปที่ 4.8 การออกแบบระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในระยะเริ่มต้น

จากการทดสอบติดตั้งเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในพื้นที่แปลงทดลองของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีโหนดเราท์เตอร์จำนวน 6 โหนดและโหนดโคออร์ดิเนเตอร์จำนวน 1 โหนด พบว่าระบบสามารถส่งข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และสามารถส่งข้อมูลขึ้นสู่เซิร์ฟเวอร์ผ่านโมดูลโทรศัพท์ได้ ตัวอย่างข้อมูลค่าความชื้นในดินและค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ถูกส่งขึ้นไปยังเซิร์ฟเวอร์แสดงดังรูปที่ 4.9 โดยความชื้นในดินคือกราฟสีแดงและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศคือกราฟสีฟ้า



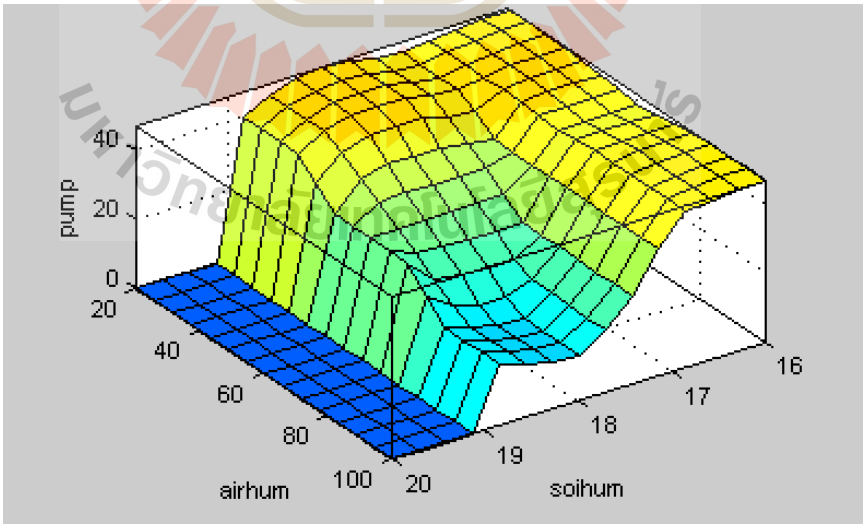
รูปที่ 4.9 การออกแบบระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในระยะเริ่มต้นวิจัย

ในการออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ฟัซซีลอจิก ผู้วิจัยได้เลือกใช้อินพุตจำนวน 2 อินพุตคือ ค่าความชื้นในดิน และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเนื่องจากความชื้นในดินคือปริมาณของน้ำที่อยู่ในดินซึ่งพืชจะสามารถนำไปใช้งานได้ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ซึ่งบ่งบอกถึงอัตราการคายน้ำซึ่งส่งผลต่อการใช้น้ำของพืช การออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ฟัซซีลอกจิกแบบ 2 อิตพุตด้วยโปรแกรม Matlab Simulink แสดงดังรูปที่ 4.10

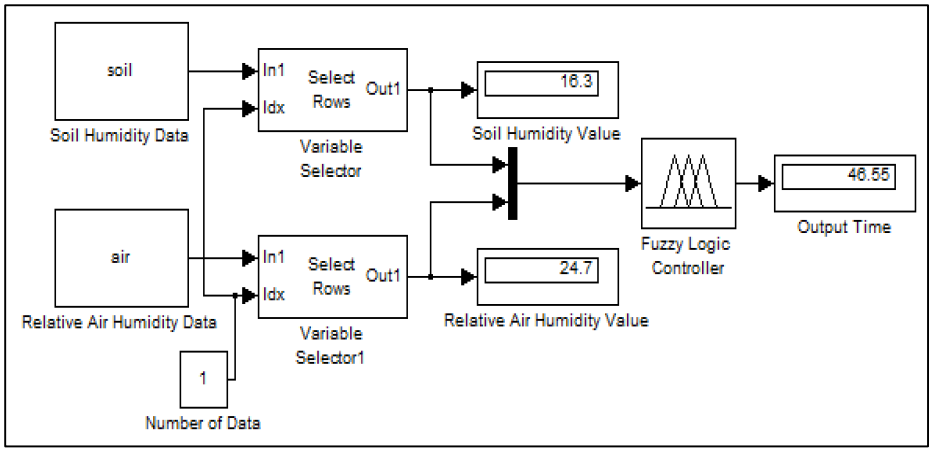


รูปที่ 4.10 การออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ฟัซซีลอกจิก

จุดเด่นของการออกแบบฟัซซีลอจิกในโปรแกรม Matlab Simulink คือสามารถจำลองการทำงานของฟัซซีลอจิกได้หลายรูปแบบ เช่นการแสดงกราฟระหว่าง 2 อินพุตและ 1 เอาต์พุตในรูปแบบสามมิติดังรูปที่ 4.11 และการจำลองการทำงานโดยใช้ฐานข้อมูลที่บันทึกด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ติดตั้งในพื้นที่แปลงทดลองดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 แสดงความสำพันธระหว่าง 2 อินพุตและ 1 เอาพุตแบบสามมิติ



รูปที่ 4.12 การออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ฟัซซีลอกจิก

การออกแบบฟัซซีเซต ความเป็นสมาชิกของฟังก์ชั่น และเงื่อนไขของฟัซซีลอจิกสำหรับระบบซึ่งใช้อินพุตค่าความชื้นในดินจะนั้น ใช้เงื่อนไขเช่นเดียวกับการออกแบบเงื่อนไขของระบบฟัซซีลอจิกที่ใช้อินพุตค่าศักย์ของน้ำในดินซึ่งอธิบายไว้ในบทก่อนหน้า โดยมีเงื่อนไข 6 ข้อแสดงในตารางที่ 4.2 และผลการจำลองการทำงานของระบบที่ออกแบบขึ้นแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 เงื่อนไขการตัดสินใจของระบบควบคุมด้วยฟัซซี

อินพุต 1 ค่าความชื้นในดิน	อินพุต 2 ค่าความชื้นในอากาศ	เอาต์พุต ความต้องการน้ำ
ค่าศักย์ของน้ำในดินสูง (D)	ค่าความชื้นในอากาศต่ำ (D)	ความต้องการน้ำสูง (H)
ค่าศักย์ของน้ำในดินสูง (D)	ค่าความชื้นในอากาศสูง (W)	ความต้องการน้ำสูง (H)
ค่าศักย์ของน้ำในดินปกติ (N)	ค่าความชื้นในอากาศต่ำ (D)	ความต้องการน้ำสูง (H)
ค่าศักย์ของน้ำในดินปกติ (N)	ค่าความชื้นในอากาศสูง (W)	ความต้องการน้ำต่ำ (L)
ค่าศักย์ของน้ำในดินต่ำ (W)	ค่าความชื้นในอากาศต่ำ (D)	ไม่ต้องการน้ำ (NOOP)
ค่าศักย์ของน้ำในดินต่ำ (W)	ค่าความชื้นในอากาศสูง (W)	ไม่ต้องการน้ำ (NOOP)

ตารางที่ 4.3 ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab Simulink

ครั้งที่	ค่าความชื้นในดิน	ค่าความชื้นในอากาศ	ระยะเวลาการเปิดน้ำ
1	16.3 (D)	24.7 (D)	46.5 (H)
2	16.3 (D)	63.3 (W)	44.3 (H)
3	17.5 (N)	28.4 (D)	40.1 (H)
4	17.5 (N)	64.0 (W)	27.0 (L)
5	19.5 (W)	23.7 (D)	0.0 (NOOP)
6	19.5 (W)	67.6 (W)	0.0 (NOOP)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 เมื่อความชื้นในดินต่ำ ไม่ว่าความชื้นในอากาศจะสูงหรือต่ำ ระยะเวลาในการเปิดน้ำก็จะสูงเสมอ เนื่องจากมีปริมาณน้ำในดินน้อยกว่าที่พืชต้องการ

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าในการทดลองครั้งที่ 3 และ 4 เมื่อความชื้นในปานกลาง ถ้าความชื้นในอากาศต่ำ ระยะเวลาในการเปิดน้ำจะสูง แต่ในทางกลับกัน ถ้าความชื้นในอากาศสูง ระยะเวลาในการเปิดน้ำจะต่ำ เนื่องจากมีปริมาณน้ำในดินในระดับเพียงพอต่อพืชแต่อัตราการใช้น้ำของพืชขึ้นอยู่กับความชื้นในอากาศ

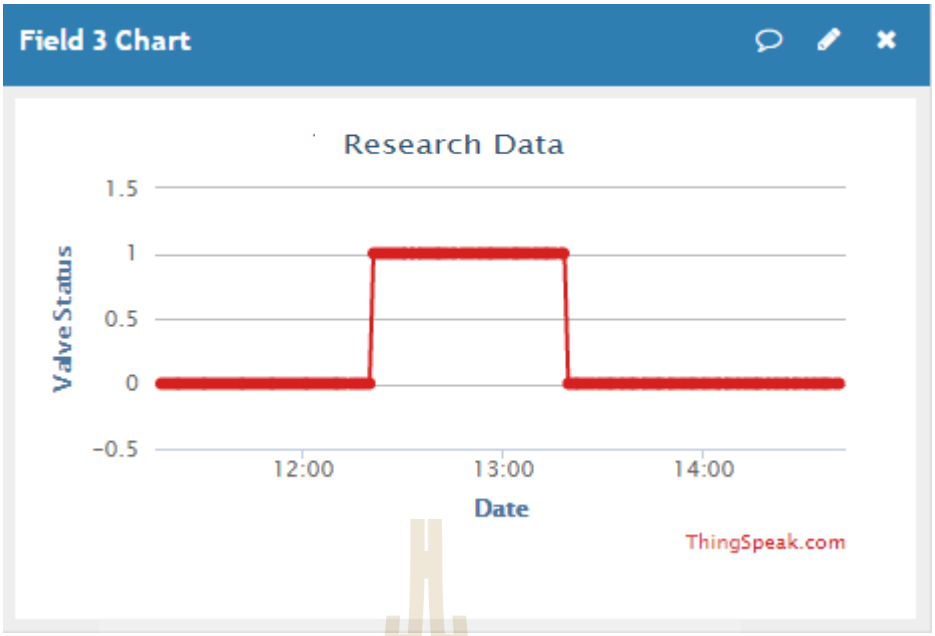
จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าในการทดลองครั้งที่ 5 และ 6 เมื่อความชื้นในสูง ไม่ว่าความชื้นในอากาศจะสูงหรือต่ำ จำไม่มีการเปิดน้ำ เนื่องจากมีปริมาณน้ำในดินมากพอสำหรับพืช

4.4.3 การทดสอบติดตั้งระบบในแปลงทดลอง

การทดสอบติดตั้งระบบในแปลงทดลองการปลูกมันสำปะหลังแบบระบบน้ำหยดในพื้นที่ของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโลยีสุรนารี โดยติดตั้งโหนดเราท์เตอร์เพื่อวัดค่าด้วยเซ็นเซอร์ watermark เพื่อวัดค่าศักย์ของน้ำในดิน และเซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งโหนดโคออร์ดิเนเตอร์เพื่อรับค่าจากโหนดเราท์เตอร์จากนั้นนำค่าที่ได้เป็นอินพุตป้อนให้แก่ตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ออกแบบขึ้นรายละเอียดดังที่กล่าวไปแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการเก็บผลการทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์หรือ 14 วัน จากผลการทดลองพบกว่าระบบได้ทำการให้น้ำแก่แปลงปลูกมันสำปะหลังเป็นจำนวน 6 ครั้ง ดังนี้

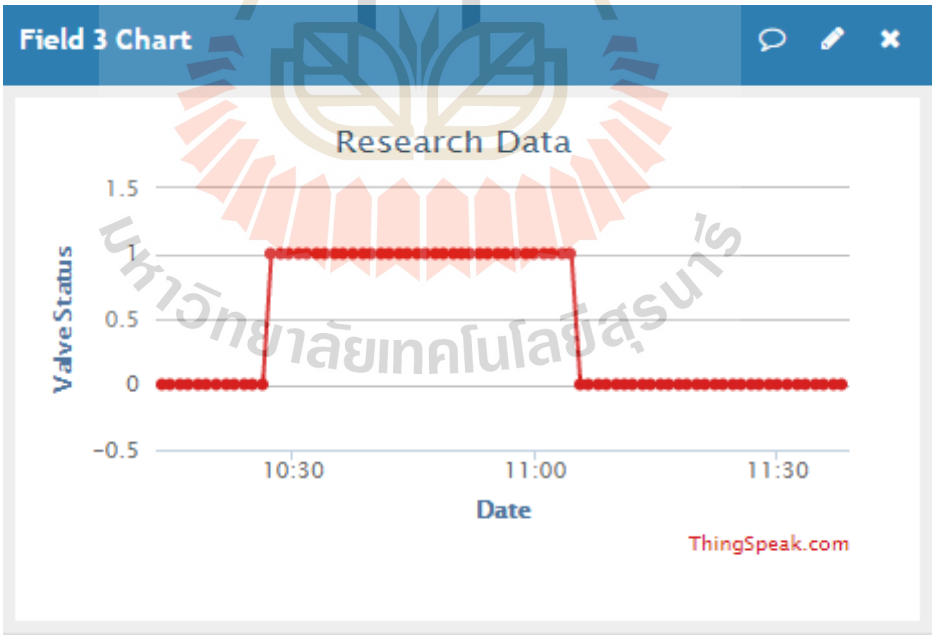
ครั้งที่ 1 วันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2560 เวลา 12:21:08 ถึง 13:18:22 รวมเวลาทั้งสิ้น 57 นาทีแสดงดังรูปที่ 4.13

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



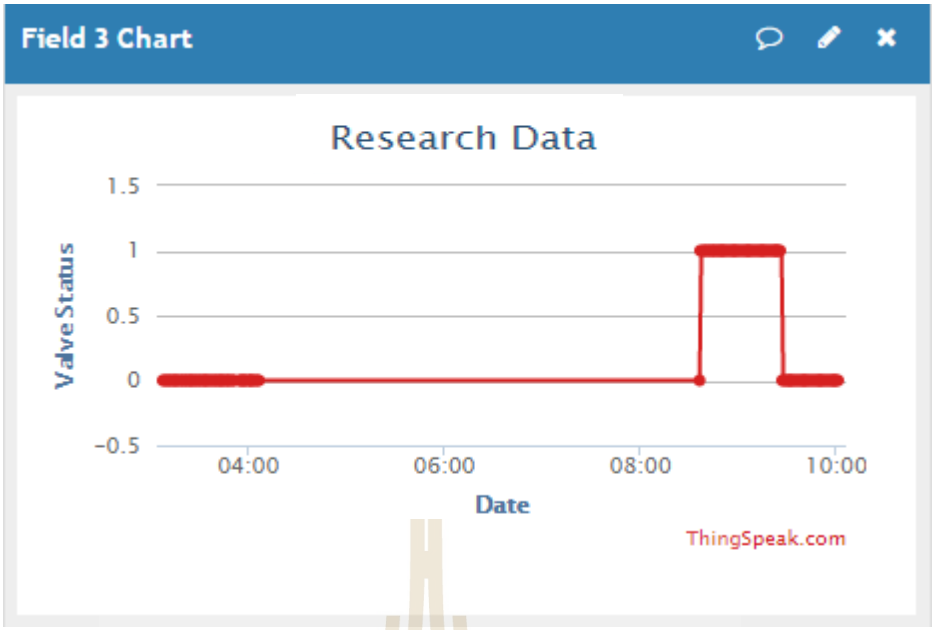
รูปที่ 4.13 ผลการให้น้ำครั้งที่ 1

ครั้งที่ 2 วันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2560 เวลา 10:27:19 ถึง 11:04:28 รวมเวลาทั้งสิ้น 37 นาทีแสดงดังรูปที่ 4.14



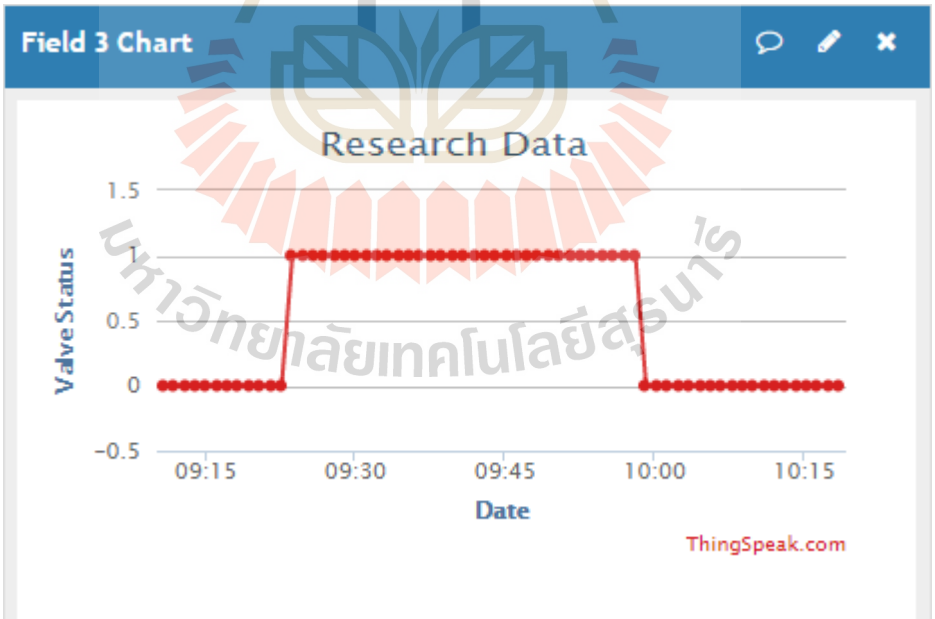
รูปที่ 4.14 ผลการให้น้ำครั้งที่ 2

ครั้งที่ 3 วันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2560 เวลา 8:36:14 ถึง 9:26:23 รวมเวลาทั้งสิ้น 50 นาทีแสดงดังรูปที่ 4.15



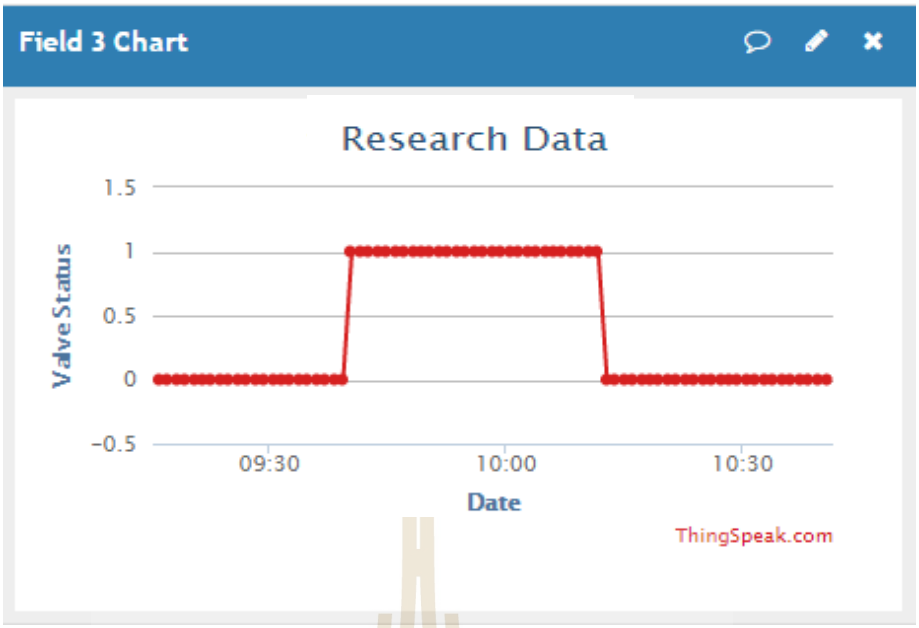
รูปที่ 4.15 ผลการให้น้ำครั้งที่ 3

ครั้งที่ 4 วันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2560 เวลา 9:22:36 ถึง 9:58:04 รวมเวลาทั้งสิ้น 36 นาทีแสดงดังรูปที่ 4.16



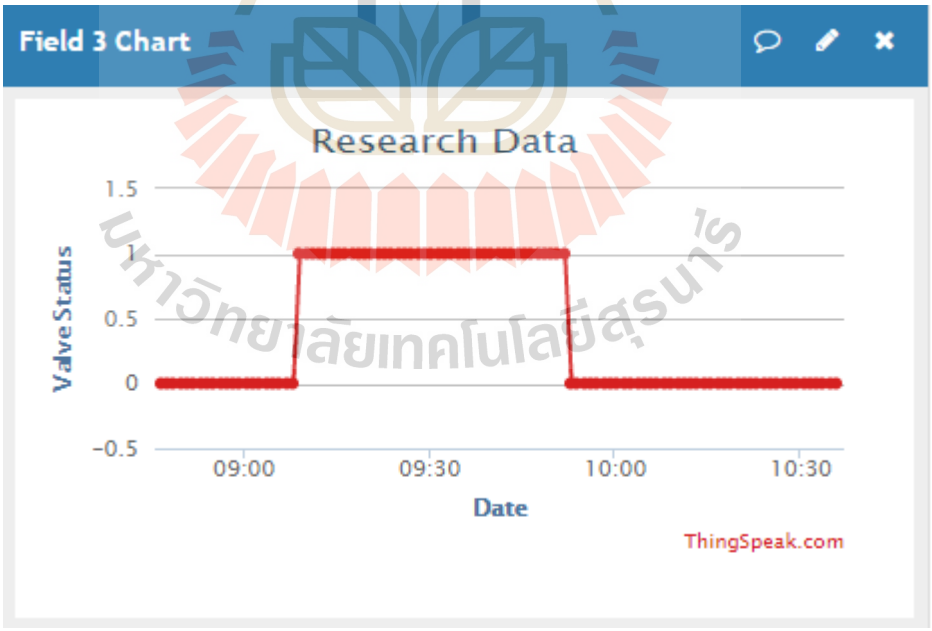
รูปที่ 4.16 ผลการให้น้ำครั้งที่ 4

ครั้งที่ 5 วันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2560 เวลา 9:40:28 ถึง 10:11:43 รวมเวลาทั้งสิ้น 31 นาทีแสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ผลการให้น้ำครั้งที่ 5

ครั้งที่ 6 วันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2560 เวลา 9:09:03 ถึง 9:51:53 รวมเวลาทั้งสิ้น 42 นาทีแสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ผลการให้น้ำครั้งที่ 6

ระยะเวลารวมในการเปิดน้ำตลอดระยะเวลา 2 สัปดาห์เท่ากับ 253 นาที หรือ 4 ชั่วโมง 13 นาที ซึ่งคำนวณเป็นจำนวนชั่วโมงต่อเดือนประมาณ 8 ชั่วโมง 30 นาที โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองให้น้ำแก่แปลงปลูกมันสำปะหลังด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี

การให้น้ำครั้งที่	ระยะเวลาการให้น้ำ (นาที)	ศักย์ของน้ำในดินก่อนให้น้ำ (Kpa)	ศักย์ของน้ำในดินหลังจากให้น้ำ (Kpa)	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศก่อนให้น้ำ (%)
1	57	34.14	8.54	42.30
2	37	26.10	9.64	38.50
3	30	27.50	11.28	32.40
4	36	26.34	10.82	31.50
5	31	26.60	11.28	37.80
6	42	30.26	8.04	36.00

ค่าดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำและปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า โดยการคำนวณดังกล่าวมีค่าคงที่สำหรับการคำนวณดังต่อไปนี้

1. พื้นที่แปลงทดลองขนาด 78 เมตร × 9.6 เมตร (0.47 ไร่)
2. ค่ากำลังไฟฟ้าของปั้มน้ำ 750 วัตต์
3. อัตราการจ่ายน้ำสูงสุดของปั้มน้ำ 7,200 ลิตรต่อชั่วโมง
4. อัตราการจ่ายน้ำของหัวน้ำหยด 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง
5. ระยะห่างระหว่างแถวปลูก 2.5 เมตร
6. ระยะห่างของหัวจ่ายน้ำของเทปน้ำหยด 30 เซนติเมตร

4.5 การคำนวณปริมาณทรัพยากรที่ใช้งาน

4.5.1 การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบน้ำหยดของโครงการวิจัย

1.) คำนวณจำนวนหัวน้ำหยดในแปลงทดลองขนาด 78 เมตร × 9.6 เมตร ดังนี้

ปลูกมัน *1* แถวความยาว *78* เมตร ระยะห่างของหัวน้ำหยดเท่ากับ *30* เซนติเมตร

ดังนั้นจำนวนหัวน้ำหยดต่อ *1* แถวจะเท่ากับ $\frac{7,800}{30} = 260$ หัวน้ำหยด

ปลูกมันทั้งหมด *8* แถวซึ่งจะมีหัวน้ำหยดเท่ากับ *260* × 8 = 2,080 หัวน้ำหยด

2.) คำนวณอัตราการใช้น้ำต่อชั่วโมง ดังนี้

มีหัวน้ำหยดเท่ากับ 2,080 หัวน้ำหยด

อัตราการจ่ายน้ำต่อ *1* หัวน้ำหยดเท่ากับ *2.5* ลิตรต่อชั่วโมง

ดังนั้นอัตราการใช้น้ำเท่ากับ *2,080* × 2.5 = 5,200 ลิตรต่อชั่วโมง

3.) คำนวณอัตราการใช้น้ำต่อเดือน ดังนี้

อัตราการใช้น้ำเท่ากับ 5,200 ลิตรต่อชั่วโมง

ใน *1* เดือนเปิดน้ำประมาณ *8* ชั่วโมง 30 นาที

ดังนั้นอัตราการใช้น้ำเท่ากับ *5,200* × *8.5* = 44,200 ลิตรต่อเดือน

จากการคำนวณพบว่า ปริมาณการให้น้ำในแปลงทดลองขนาดพื้นที่ 0.47 ไร่โดยเฉลี่ยเท่ากับเดือนละ 44,200 ลิตร

4.5.2 การคำนวณปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า

คำนวณหาจำนวนหน่วย (ยูนิต) ของกระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในหนึ่งเดือน ดังนี้

พิกัดของปั๊มน้ำเท่ากับ 750 วัตต์ และเปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 8.5 ชั่วโมงต่อเดือน

จำนวนหน่วย (ยูนิต) $= \left(\frac{750\times1}{1,000}\right) \times 8.5 = 6.375$ หน่วยต่อเดือน

ผลการติดตั้งระบบจริงในพื้นที่แปลงทดลองของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีโดยใช้อุปกรณ์ปั๊มน้ำจากสระน้ำที่อยู่ใกล้บริเวณเพาะปลูก และทำการเก็บข้อมูลการทดลองเป็นจำนวน 2 สัปดาห์ จากนั้นนำข้อมูลการให้น้ำไปคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำและการใช้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนพบว่ามีการใช้น้ำเฉลี่ยเดือนละ 44,200 ลิตร และใช้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเดือนละ 6.375 หน่วย โดยจากข้อมูลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำและกระแสไฟฟ้าดังกล่าว สามารถคำนวณค่าโดยประมาณของการใช้น้ำและการใช้กระแสไฟฟ้าได้ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าโดยประมาณของการใช้น้ำและการใช้กระแสไฟฟ้าในแปลงทดลอง

ระยะเวลาในการปลูก (เดือน)	ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมด (ลิตร)	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (หน่วย)
10	442,000	63.75
11	486,200	70.13
12	530,400	76.5
13	574,600	82.88

ในการประมาณค่าอัตราการใช้กระแสไฟฟ้าและอัตราการใช้น้ำในพื้นที่เพาะปลูกขนาดต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากพื้นที่เพาะปลูกในแปลงทดลองที่มีขนาด 9.6 เมตร × 78 เมตร หรือเท่ากับ 748.8 ตารางเมตร ซึ่งคิดเป็น 47 เปอร์เซ็นต์ของ 1 ไร่ ดังนั้นถ้าติดตั้งระบบในพื้นที่ 1 ไร่หรือเท่ากับ 1,600 ตารางเมตร จะใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือนเพิ่มขึ้นเป็น 11,063 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งคิดเป็น 94,042 ลิตรต่อเดือน โดยจะไม่สามารถใช้ปั๊มน้ำพิกัดเดียวกับแปลงทดลองได้เนื่องจากอัตราการสูบน้ำสูงสุดของปั๊มเท่ากับ 7,200 ลิตรต่อชั่วโมง จึงต้องใช้ปั๊มน้ำที่มีพิกัดมากขึ้น ซึ่งในกรณีนี้จะคำนวณด้วยปั๊มน้ำขนาด

1 HP แรงดัน 220 โวลต์ อัตราการไหล 15,000 ลิตรต่อชั่วโมง ใช้มอเตอร์ขนาด 750 วัตต์ซึ่งมีพิกัดทางไฟฟ้าเท่ากับพิกัดที่ใช้ในพื้นที่ทดลองจึงทำให้มีอัตราการใช้ไฟฟ้าเท่ากับพื้นที่ทดลอง (ปั้มน้ำที่มีพิกัดทางไฟฟ้าเท่ากันแต่มีอัตราการจ่ายน้ำที่สูงกว่าจะมีราคาสูงกว่า)

ถ้าติดตั้งระบบในพื้นที่ 5 ไร่ หรือเท่ากับ 8,000 ตารางเมตร จะใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือนเพิ่มขึ้นเป็น 55,315 ลิตรต่อชั่วโมง หรือ 470,177 ลิตรต่อเดือน ซึ่งจะต้องเพิ่มจำนวนของปั้มขึ้นเป็น 4 ปั้ม (หรือใช้ปั้มน้ำที่มีพิกัดทางไฟฟ้าและทางกลที่มากขึ้น) เพื่อให้ได้อัตราการการสูบน้ำสูงสุด 60,000 ลิตรต่อชั่วโมง จึงจะเพียงพอต่อการใช้งานและจากการคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนจะเท่ากับ 25.5 หน่วย

ถ้าติดตั้งระบบในพื้นที่ 10 ไร่ หรือเท่ากับ 16,000 ตารางเมตร จะใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือนเพิ่มขึ้นเป็น 110,630 ลิตรต่อชั่วโมงหรือ 940,355 ลิตรต่อเดือน ซึ่งจะต้องเพิ่มจำนวนของปั้มขึ้นเป็น 8 ปั้ม (หรือใช้ปั้มน้ำที่มีพิกัดทางไฟฟ้าและทางกลที่มากขึ้น) เพื่อให้ได้อัตราการการสูบน้ำสูงสุด 120,000 ลิตรต่อชั่วโมง จึงจะเพียงพอต่อการใช้งานและจากการคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนจะเท่ากับ 51 หน่วย โดยสามารถสรุปการประมาณค่าอัตราค่าการใช้น้ำในการปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ขนาดต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 อัตราการใช้น้ำในการเพาะปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ขนาดต่างๆ

ขนาดของพื้นที่	ระยะเวลาในการปลูก		
	10 เดือน	11 เดือน	12 เดือน
0.47 ไร่ (9.6x78 ตารางเมตร)	442,000 ลิตร	486,200 ลิตร	530,400 ลิตร
1 ไร่ (1,600 ตารางเมตร)	940,420 ลิตร	1,034,462 ลิตร	1,128,504 ลิตร
5 ไร่ (ตารางเมตร)	4,701,770 ลิตร	5,171,947 ลิตร	5,642,124 ลิตร
10ไร่ (ตารางเมตร)	9,403,550 ลิตร	10,343,905 ลิตร	11,284,260 ลิตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.5.3 การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลังโดยวิธีการทางสถิติ

วิธีการให้น้ำแก่พืชโดยวิธีการทางสถิติจะใช้วิธีการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration) หมายถึงปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย การคายน้ำ และการระเหยซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

$$ET = K_c \times ET_p \tag{4.1}$$

เมื่อ

ET = ค่าการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration)

K_c = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient)

ET_p = ค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration)

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน พืชชนิดเดียวกันอาจมีค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำต่างกันได้ ขึ้นอยู่กับอายุของพืชชนิดนั้นๆ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลังซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลของกรมวิชาการเกษตรแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลังในแต่ละช่วงอายุ

อายุ (เดือน)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K_c	0.30	0.40	0.60	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.70	0.60	0.50	0.30

การหาค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ET_p สามารถทำการคำนวณได้โดยอาศัยข้อมูลสถิติภูมิอากาศของประเทศไทยของกรมอุตุนิยมวิทยากระทรวงคมนาคมซึ่งค่า ET_p ของพื้นที่เพาะปลูกในบริเวณจังหวัดนครราชสีมาที่คำนวณไว้แล้วแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การใช้น้ำของพืชอ้างอิงของพื้นที่เพาะปลูกในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา

เดือน	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
ET_p	3.62	3.86	4.96	5.25	5.61	5.1	5.03	4.71	4.32	4.4	4.1	4.05

การคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของมันสำปะหลังในช่วงระยะเวลาการทดลอง ช่วงเวลาในการทดลองให้น้ำแก่มันสำปะหลังคือเดือนเมษายน พ.ศ. *2560* และในขณะทดลองต้นมันมีอายุประมาณ *2* เดือน ดังนั้น จากตารางที่ *4.4* จะได้ K_c เท่ากับ 0.40 , ET_p เท่ากับ 5.61 มม. ต่อวัน และจากสมการที่ *4.1* ; $ET = K_c \times ET_p = 0.40 \times 5.61 = 2.244$ มม. ต่อวัน ซึ่งปริมาณความต้องการน้ำของมันสำปะหลังใน *1* เดือนจะเท่ากับ *2.244* มม. $\times$ 30 = 67.32 มม. ต้องใช้ปริมาณน้ำทั้งหมดต่อ *1* ไร่ เท่ากับ

$$1 \text{ ไร่} \times 1600 \text{ ม.}^2 \times \frac{67.32 \text{ มม.}}{1000 \text{ มม./ม.}}$$

เท่ากับ *107.7* ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน หรือ *107,700* ลิตรต่อเดือนซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้น้ำของระบบอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีพบว่าระบบที่ออกแบบขึ้นใช้น้ำในการเพาะปลูกน้อยกว่าการให้น้ำแบบทั่วไปประมาณ *13,*658 ลิตร ซึ่งสามารถประหยัดได้ถึง 12.68 เปอร์เซ็นต์ในพื้นที่เพาะปลูกขนาด *1* ไร่

4.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดสอบระบบทั้งหมดที่ออกแบบขึ้นในการทำวิจัยมีรายละเอียดดังนี้ การทดสอบเก็บข้อมูลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ จากผลการทดสอบพบว่าระบบที่ออกแบบสามารถตรวจวัดค่าศักย์ของน้ำในดิน และความชื้นในอากาศจากแปลงทดลองเพื่อส่งค่าขึ้นบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์และแสดงในรูปแบบของกราฟข้อมูลได้อย่างครบถ้วนและถูกต้อง การทดสอบชุดขับโซลินอยด์วาล์ว จากผลการทดลองพบว่าการในการทดลองเปิดวาล์วจำนวน 10 ครั้ง และปิดวาล์วจำนวน 10 ครั้ง การทดลองมีร้อยละของความสำเร็จเท่ากับ 100 การทดสอบจำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซี จากผลการทดลองพบว่าจากการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นและเงื่อนไขในการทำฟัซซีตามคำแนะนำของนักวิชาการทางการเกษตร ส่งผลให้ได้เอาต์พุตที่สอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืชตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี การทดสอบติดตั้งระบบในแปลงทดลอง จากผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถคำนวณและตัดสินใจเปิดน้ำเพื่อจ่ายให้แก่แปลงทดลองได้จริง และจากการเปรียบเทียบกับวิธีการใช้สมการคำนวณค่าความต้องการน้ำของมันสำปะหลังจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชและสภาพภูมิอากาศของพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาพบว่า ระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นสามารถประหยัดน้ำได้ถึง 58.96 เปอร์เซ็นต์ในพื้นที่เพาะปลูกขนาด 1 ไร่

บทที่ 5
สรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ระบบสมองกลฝังตัวและตัวควบคุมแบบฟัซซีในการออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติโดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ จากนั้นได้ทำการทดสอบและติดตั้งในพื้นที่แปลงปลูกมันสำปะหลัง บริเวณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลการดำเนินงานวิจัยสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม ในการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนั้นผู้วิจัยนี้ได้เลือกใช้การเชื่อมต่อแบบไร้สายผ่านโมดูล ZigBee ย่านความถี่ 2.4 GHz ด้วยการข่ายไร้สายแบบเมช (Mesh network) เนื่องจากอุปกรณ์ที่เป็นโหนดเราท์เตอร์ (Router) ซึ่งเป็นโหนดย่อยในการตรวจวัดค่าต่าง ๆสามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้โดยตรงหรือจะสื่อสารผ่านโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ (Coordinator) หรือโหนดหลักก็ได้ และถ้าหากโหนดเราท์เตอร์ไม่สามารถติดต่อผ่านกันได้โดยตรงก็ยังสามารถส่งข้อมูลผ่านอีกเส้นทางหนึ่งเพื่อเชื่อมโยงผ่านไปยังโหนดที่ต้องการสื่อสารได้ ซึ่งการเชื่อมต่อลักษณะนี้สามารถป้องกันข้อผิดพลาดในการสื่อสารของระบบได้เป็นอย่างดี องค์ประกอบหลักของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้นมีดังนี้

1.) โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ทำหน้าที่ในการรวบรวมข้อมสภาพแวดล้อมในแปลงและทำการประมวลผลด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่เพื่อตัดสินใจในการให้น้ำแก่พืช นอกจากนี้โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ยังทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลขึ้นคลาวน์เซิร์ฟเวอร์เพื่อการความแม่นยำของข้อมูลและเพื่อง่ายต่อการจัดการข้อมูล เนื่องจากสามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟ และสามารถนำข้อมูลออกมาวิเคราะห์ได้หลากหลายรูปแบบ

ในส่วนของการส่งค่าจากการตรวจวัดเข้าฐานข้อมูลซึ่งอยู่บนคลาวน์เซิร์ฟเวอร์ของ www.thingspeak.com ผู้วิจัยได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU เป็นอุปกรณ์หลักในการสื่อสารผ่านโมดูลกระจายสัญญาณอินเตอร์เน็ตไร้สาย

2.) โหนดเราท์เตอร์เป็นโหนดตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่ที่ในบริเวณแปลงเพาะปลูกโดยตรง ทำหน้าที่ในการอ่านค่าสัญญาณการตรวจวัดจากเซ็นเซอร์แบบต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์วัดค่าศักย์ของน้ำในดินและ

เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในอากาศ เพื่อรวบรวมส่งผ่านเครือข่ายสื่อสารแบบไร้สายมายังโหนดโคออร์ดิเนเตอร์สำหรับการประมวลผลโดยตัวควบคุมแบบฟัซซีต่อไป

5.1.2 การออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ

การควบคุมระบบการให้น้ำอัตโนมัติ ผู้วิจัยเลือกใช้ระบบสมองกลฝังตัวที่ประสิทธิภาพสูงและมีทรัพยากรที่มากเพียงพอในการประมวลผลสัญญาณรวมถึงการควบคุมและการสั่งการทั้งในด้านของการติดต่อสื่อสารกับโหนดย่อยต่าง ๆและการทำงานในด้านอื่น ๆ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบให้โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ดังกล่าวสามารถทำการควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติได้อีกด้วย โดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32TM ARM 32-bits CortexTM M3 ซึ่งอยู่บนบอร์ด STM32F4 Discovery และสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม MATLAB Simulink ได้เป็นอย่างดี ระบบสมองกลฝังตัวดังกล่าว มีการใช้งานที่ค่อนข้างง่ายโดยเฉพาะในด้านการของเขียนและการพัฒนาโปรแกรมในเชิงกราฟิก (Graphical programming) โดยสามารถทำการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการในการตัดสินใจให้น้ำแก่แปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีโดยมีอินพุตเป็นค่าสภาพแวดล้อมในแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังที่วัดจากเซ็นเซอร์ ซึ่งมี 2 อินพุตคือ ค่าศักย์ของน้ำในดินที่บริเวณรากของมันสำปะหลัง และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และระบบที่ออกแบบขึ้นจะคำนวณหาเอาต์พุต ในรูปของระยะเวลาในการให้น้ำแก่แปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังเพื่อนำไปควบคุมการเปิด-ปิดปั๊มน้ำและโซลินอยด์วาล์วในการให้น้ำแบบอัตโนมัติ

5.1.3 การติดตั้งชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติในพื้นที่การปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นแปลงทดลองของโครงการวิจัยซึ่งมีความกว้าง 9.6 เมตรและยาว 78 เมตร ในบริเวณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการติดตั้งโหนดเราท์เตอร์ซึ่งเป็นโหนดตรวจวัดค่าค่าสภาวะแวดล้อมในแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังจำนวน 2 ค่า ประกอบด้วย ค่าศักย์ของน้ำในดิน และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งไปยังโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ซึ่งเป็นโหนดหลัก จากนั้นจะทำการประมวลผลและตัดสินใจด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี และสั่งการให้ระบบควบคุมการจ่ายน้ำของท่อน้ำหยดตามสภาวะแวดล้อมในแปลงเกษตรโดยระบบดังกล่าวใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์

จากผลการวิจัยพบว่าชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถตรวจวัดค่าสภาวะแวดล้อมต่าง ๆและส่งข้อมูลจากการตรวจวัดเข้าฐานข้อมูลคลาวน์เซิร์ฟเวอร์เพื่อการรายงานผลได้อย่างถูกต้อง

ในการทำงานของระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัตินั้นพบว่า ระบบสามารถควบคุมการให้น้ำได้อย่างถูกต้องสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม Matlab โดยจากการติดตั้งจริงและเก็บข้อมูลและจากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณค่าเฉลี่ยพบว่า ในระยะเวลา 1 เดือน มีระยะเวลาของการให้น้ำประมาณ 8.5 ชั่วโมง คิดเป็นปริมาณน้ำทั้งหมดประมาณ 44,200 ลิตร ซึ่งประหยัดกว่าการให้น้ำด้วยวิธีการทั่วไป 12.68 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ แนวทางในการวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.) การออกแบบและพัฒนาเซ็นเซอร์เพื่อการตรวจวัดในทางเกษตรกรรมแทนการใช้เซ็นเซอร์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากโรงงาน จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้อย่างมาก

2.) เปลี่ยนจากการใช้อุปกรณ์สำเร็จรูปเช่นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery เป็นวงจรที่ออกแบบขึ้นเองเพื่อลดขนาดวงจรให้ติดตั้งได้ง่าย รวมถึงลดต้นทุนและเหมาะสำหรับการใช้งานในเชิงพาณิชย์

3.) ในการนำงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ เช่นมีการเปลี่ยนชนิดของพืชหรือบริเวณที่เพาะปลูก จำเป็นต้องมีการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีขึ้นใหม่โดยใช้องค์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญในด้านพืชชนิดนั้น ๆ จึงมีแนวคิดที่จะนำระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System, ANFIS) ซึ่งสามารถกำหนดฟัซซีเซต ค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชั่นได้ และเงื่อนไขในการอนุมานได้อัตโนมัติอย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยเพียงข้อมูลสถิติในการให้น้ำในอดีต เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานอื่น ๆในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิงของการวิจัย

[1] Available from: http: //www.agriinfo.doae.go.th/

[2] Down to the last drop, UNESCO sources; Vol. 84, 1996.

[3] N. Watthanawisuth, N. Tongrod, T. Kerdcharoen and A.Tuantranont, “Real-Time Monitoring of GPS-Tracking Tractor Based on ZigBee Multi-Hop Mesh Network,” In Proc. the Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology, Vol. 1, pp. 580-583, 2010.

[4] N. Kimura and S. Latifi, “A survey on data compression in wireless sensor networks," In Proc. the Information Technology: Coding and Computing, Vol. 2, pp:8 – 13, 2005.

[5] A. Kulakov and D. Davcev, “Intelligent Data Acquisition and Processing Using Wavelet Neural Networks,” In Proc. IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Vol. 1, pp. 491-494, 2005.

[6] F. J. Maldonado and J. A. Hernandez, “Sensor Calibration by Neural Network in a Smart Wireless System,” In Proc. the IEEE AUTOTESTCON, Vol. 1, pp. 573-577, 2006.

[7] J. W. Barron, A. I. Moustapha, and R. R. Selmic, “Real-Time Implementation of Fault Detection in Wireless Sensor Networks Using Neural Networks,” In Proc. the Fifth International Conference on Information Technology: New Generations, Vol. 1, pp. 378-383, 2008.

[8] A. Goh, S. Craciun, S. Rao, D. Cheney, K. Gugel, J. C. Sanchez, J. C. Principe, “Wireless transmission of neuronal recordings using a portable real-time discrimination/compression algorithm," In Proc. the 30th Annual International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society, pp:4439 – 4442, 2008.

[9] X. Chen, K. Makki, K. Yen, and N. Pissinou, “Sensor Network Security: A Survey,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, No. 2, 2009.

[10] J. Li, X. Zhu, N. Tang and J. Sui, “Study on ZigBee Network Architecture and Routing Algorithm,” In Proc. International Conference on Signal Processing Systems, Vol. 2, pp. 389-393, 2010.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[11] J. Wang, X. Lin, and K. Wu, “ECG data compression research based on wavelet neural network," In Proc. the 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), Vol. 1, pp. 361 – 363, 2010.

[12] M. Nasri, A. Helali, H. Sghaier, and H. Maaref, “Energy-efficient wavelet image compression in Wireless Sensor Network," In Proc. the Communication in Wireless Environments and Ubiquitous Systems: New Challenges (ICWUS), pp. 1 – 7, 2010.

[13] R. V. Kulkarni and G. K. Venayagamoorthy,“Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks: A Survey,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 13, No. 1, pp. 68-96, 2011.

[14] N. Mohsen, H. Abdelhamid, S. Halim and M. Hassen, “Energy-Efficient Wavelet Image Compression in Wireless Sensor Network,” In Proc. the Communication in Wireless Environments and Ubiquitous Systems: New Challenges (ICWUS), pp. 1 – 7, 2010.

[15] Y. Liu, L. Kong, B. Xu, T. Du, S. Hou, and S. Kang,“Design of Intelligent Control System of Crop Partial root-zone Alternative Irrigation,” In. Proc. International Conference on Systems and Informatics, Vol. 1, pp. 397 – 399, May 2012.

[16] S. N. Singh, R. Jha, and M. Nandwana, “Optimal Design of Solar Powered Fuzzy Control Irrigation System for Cultivation of Green Vegetable Plants in Rural India ” The 1st International Conference on Recent Advances in Information Technology, Vol. 1, pp. 877 - 882, March 2012.

[17] S. Li, “Application of the Internet of Things Technology in Precision Agriculture Irrigation Systems” Proc. 2012 International Conference on Computer Science and Service System, Vol. 2, pp. 1009 – 1013, August 2012.

[14]“หนังสือหลักการชลประทาน” บุญมา ป้านประดิษฐ์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

[15]“คูมือการหาปริมาณการใชน้ำของพืช ปริมาณการใชน้ำของพืชอางอิงและคาสัมประสิทธิ์พืช” สวนการใชน้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน (ฉบับปรับปรุง กรกฎาคม 2554)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Teerapat Charoenpru, Tanasan Srikotrand, Prayoth Kumsawat, “INTELLIGENT WATER-SAVING IRRIGATION SYSTEM FOR CASSAVA FIELD USING FUZZY CONTROLLER,” In Proc. The 10^{th} SEATUC symposium, February 23-24, 2016, Shibaura Institute of Technology, Tokyo, Japan.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

INTELLIGENT WATER-SAVING IRRIGATION SYSTEM FOR CASSAVA FIELD USING FUZZY CONTROLLER

Teerapat Charoenpru, Tanasan Srikotr and Prayoth Kumsawat
School of Electronics Engineering, Institute of Engineering
Suranaree University of Technology
teerapat_97@hotmail.com

ABSTRACT

This paper presents the design and implementation work of an automated irrigation control system based on the ARM 32-bits CortexTM M3 microcontroller using fuzzy controller. This system uses soil humidity values in the plant root zone and relative humidity values in the air to control the amount of water to apply to the cassava field. We focus on fuzzy control technology to intelligent water-saving irrigation. Each sensor module was installed at router node and its sensory data was sent to coordinator node via wireless communication module which operates in the 2.4 GHz. This wireless sensor network was powered by solar cell module which is suitable for the remote farm area where a typical power supply is inconveniently available. After commissioning in the laboratory and the field, it is showed that an automated fuzzy irrigation control system is stable and reliable and can fully meet the design goals and criteria.

1. INTRODUCTION

Cassava is considered one of the most important economic crops in Thailand, because this plant is resistant to drought and easy to grow even the soil is poor. In addition to be food the cassava can also be used in ethanol producing which is renewable energy as well. Then the cassava is widely popular plant for Thai farmers. In the past, most of the water problem in Thailand during the dry season is happening as a normal cycle, however, the climate change causes less precipitation. Therefore, the drought problem in Thailand is more frequent and severe combined with increasing of water requirement. Currently, wireless sensor network (WSN) play an important role in agriculture production. It has been widely used as a tool for precision agriculture. WSN enables farmers to efficiently use the pesticides, fertilizers and water. With the help of several types of sensors, a farmer can collect the information about the soil, water and other related factors and then can take any decision. Therefore, to resolve the drought problem is cassava field, this paper presents the design and implementation work of an automated irrigation control system based on the microcontroller using fuzzy controller.

In previous work, W. Cheng, Q. Xiaojun, Z. Yunhe, Y. Chengbo L. Yanfei [1], proposed an improved design of ZigBee Wireless Sensor Network that the coordinator only deal with the task on the ZigBee network, the rest tasks will be processed by another processor. The processor connected with the Coordinator by RS-232 interface. All data information will be sent to the processor though the serial port. So the processor undertakes the task to deal with data, conserve the network information, and communicate with the host computer for protect the effect of bad real-time, data packet loss, and stability decrease from the coordinator carry too much load.

Application of the artificial intelligent has been utilized in different areas including wireless sensor network applications. X. Peng , G. Liu [2], proposed The system build on Fuzzy control and wireless sensor network for water saving irrigation for crop using 2 input parameters (soil humidity and air temperature) for Fuzzy controller and output of this system is time to watering for crop water demand. Y. Liu, L. Kong, B. Xu, T. Du, S. Hou, and S. Kang [3], proposed the design of irrigation control system using the soil humidity of the root plant area at various depths for decide to watering. C. Wang, L. Wang, and J. Qin [4], propose the automated guided vehicle improved vision navigation with Fuzzy Control Algorithm. This navigation system combined the vehicle mechanism characters and the navigation deviation parameters obtained from image processing with the motion and control characteristics of the automated guided vehicle, the Fuzzy Control Algorithm is designed to navigate the automated guided vehicle moving along the road marking line.

1.1 Fuzzy Logic

Fuzzy logic is one of artificial intelligent witch can explain fuzzy or unclear variable by Fuzzy set theory to represent the ambiguity. Thus, the volume of the data detected by the wireless sensor network from farms. Including the collection of statistics such as input from the user represented by fuzzy variables steps of fuzzy (Fuzzification). Using fuzzy variables in the model variant for can using unclear data such as the information is obtained from the farms, Whether the sensor. Or from estimation to various applications (The distance between the nozzle drip), The water holding capacity of the soil, etc. Then, Fuzzy systems to estimate the output from the rule of the relationship between variables Fuzzy of these rules have been converted from the knowledge from expert in the field of irrigation water. The outputs of the inference rules will lead to defuzzy for the numerical value of the rate of irrigation valves. The diagram of intelligent water-saving irrigation system using Fuzzy logic controller is shown in Figure 1.

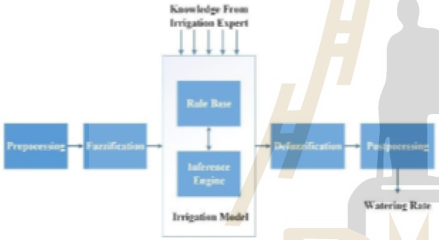


Fig. 1 Block diagram of Fuzzy control

2. EXPERIMENT

In this section, we first give a brief overview of the WSN embedded system architecture and Fuzzy logic controller. Then, the experimental results are shown. The conclusions of our study can be found in the last section.

2.1 Wireless sensor network experiment

Fig. 2 shows diagram of a wireless sensor network. The main microcontroller unit (MCU) of the WSN is the STM32F4 discovery board. It contains read only memory, random access memory, a 12 bit analog to digital convertor (ADC), a 12 bit digital to analog convertor (DAC), timer and few comparators. We have integrated sensors such as relative temperature and humidity sensor, light sensor, soil humidity sensor to the router node. This sensor is connected to the MCU through the I2C interface. Other analog sensors, such as soil humidity sensor and light sensor can be easily connected to the ADC interface of the MCU. The router node is powered by solar panel with 10.0 W. The RF module is ZigBee and takes responsibility of transferring data in the wireless networks. A high power integrated module which covers distance range up to 1.5 Km is suitable for farmland monitor. The coordinator node is connected with the GPRS module to send the data to the remote data center via the mobile network. The coordinator node is receive a sensory data from the router node for determine water demand of cassava and send output signal to control pump.

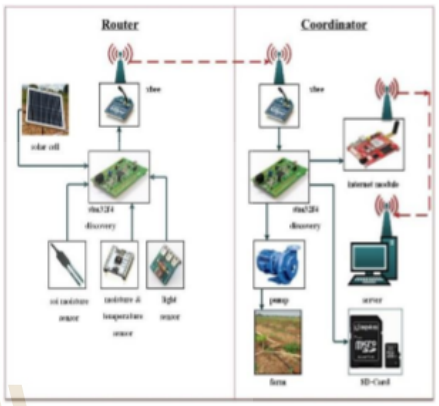


Fig. 2 Wireless sensors network diagram

In this experiment, we demonstrate the efficiency of this scheme under real-world applications with limited number of data samples. The four router nodes were deployed in a farmland environment at Suranaree University of Technology (SUT). The installation shown in Figure 3.

Fig. 3 Router node installation in SUT cassava field

2.2 Fuzzy logic controller experiment

In this work, Fuzzy controller embedded in the WSN coordinator node takes soil humidity values and relative air humidity values as its input and obtained water demand amount of cassava through fuzzy inference. Then, the fuzzy judge and output it to irrigation controller (the duration of pumping). We separate value of soil humidity to be a membership function of three set as dry (D), normal (N) and wet (W). The relative air humidity is separated as dry (D) and wet (W). Typically, Soil humidity stay in the range of fifteen to twenty percent and relative

air humidity stay in the range of twenty to seventy percent. After processing the output is shown in the form of time to on pump separate as short (S), long (L) and no operation (NOP). Therefore, the output time can calculate to volume of water in watering. Fuzzy controller diagram is shown in figure 4.

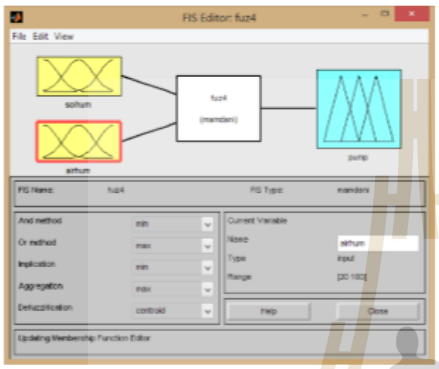


Fig. 4 Fuzzy controller diagram

This simulation base on Mamdani's fuzzy with sixth rule bases. All of rule base is shown in Table 1.

Table 1 Fuzzy control rule table.

Rule No.	Soil Humidity	Relative Air Humidity	Pump Time
1	Dry (D)	Dry (D)	Long (L)
2	Dry (D)	Wet (W)	Long (L)
3	Normal (N)	Dry (D)	Long (L)
4	Normal (N)	Wet (W)	Short (S)
5	Wet (W)	Dry (D)	No Operation (NOP)
6	Wet (W)	Wet (W)	No Operation (NOP)

In this work, the soil humidity is the most important parameters for irrigation controller. Therefore, the output will belong (L) when soil humidity is dry (D) and output is No Operation (NOP) when soil humidity is wet (W). However, If soil humidity is normal, the output is depend on relative air humidity.

3. RESULT

In this topic we mention the experiment as two parts too first is the wireless sensor network result another one is Fuzzy logic controller simulation result.

3.1 Wireless sensor network results

result is data from sixth router node that installed over test area size 9.6 x 78 square meter seen that almost sensors workable. More ever, this system has a data filtering program witch select the data that in the normal range only. Therefore, the data that out of range will ignore. The soil humidity and the relative air humidity from the router node are shown is Figure 5.

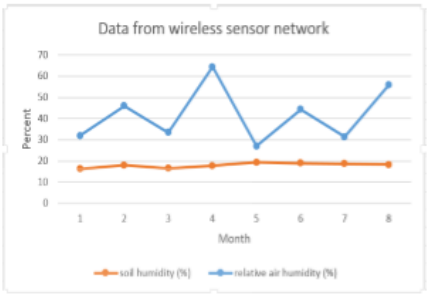


Fig. 5 Soil humidity and air humidity from router node

3.2 Fuzzy controller results

The computed data for the given conditions under case study of our project and the desired results have been validated with MATLAB Simulink. The 3-D surface of Fuzzy results is shown in Figure 6. This surface simply shows the mapping graphically between those two inputs and one output. It has been verified for all possible simulated value of the input variables.

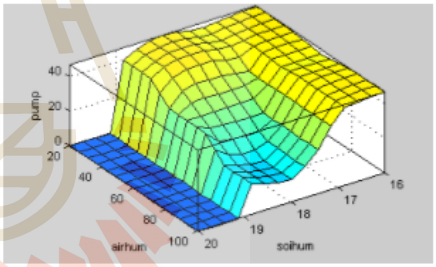


Fig. 6 All of the possible Fuzzy results

In this work, we build a simulator by using real-world inputs from farming area shown in Figure 7. As can be seen, the controller is operated with two inputs namely soil humidity and relative air humidity and one output variable i.e. the duration of pumping. The simulation results are shown in Table 2.

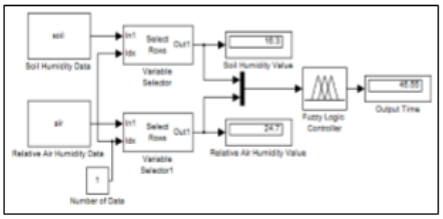


Fig. 7 Simulator with real inputs

Table 2 Real input Fuzzy controller result

Example No.	Soil Humidity (%)	Relative Air Humidity (%)	Pumping Time (minutes)
1	16.3 (D)	24.7	46.5 (L)
2	16.3 (D)	63.3	44.3 (L)
3	17.5 (N)	28.4	40.1 (L)
4	17.5 (N)	64.0	27.0 (S)
5	19.5 (W)	23.7	0.0 (NOP)
6	19.5 (W)	67.6	0.0 (NOP)

Table 3 Cassava field parameters

Parameters	Value
Size of area	750 square meters
Distance between row	2.5 meters
Distance between drip head	0.3 meters
Drip head flowrate	2.5 liters per hour
Amount of water	**87 liters per minute**

In case of example No.1 (Table 2), We can determine amount of water from 87×46.5 = 4,045.5 liters

CONCLUSION

This paper presents the design and implementation of water-saving irrigation control system using fuzzy controller. This system uses soil humidity value in the plant root zone and relative humidity value to control the amount of water to apply to the cassava field. Each sensor module was installed at router node and its sensory data was sent to coordinator node via wireless communication. This wireless sensor network was powered by solar cell module which is suitable for the remote farm area where a typical power supply is inconveniently available. After commissioning in the laboratory and the cassava field, it is showed that an automated fuzzy irrigation control system is stable and reliable and can fully meet the design goals and criteria. The completed system will be deployed and evaluate efficiency of water-saving in the future.

REFERENCES

[1] W. Cheng, Q. Xiaojun, Z. Yunhe, Y. Chengbo L. Yanfei "An Improved Design of ZigBee Wireless Sensor Network" IEEE international conference on computer science and information technology, 2009.

[2] X. Peng , G. Liu "Intelligent Water-saving Irrigation System Base on Fuzzy Control and Wireless Sensor Network" IEEE international conference on Digital Home (ICDH), 2012.

[3] Y. Liu, L. Kong, B. Xu, T. Du, S. Hou, and S. Kang "Design of Intelligent Control System of Crop Partial root-zone Alternative Irrigation" IEEE international conference on systems and informatics (ICSAI), 2012.

[4] C. Wang, L. Wang, and J. Qin "Development of a Vision Navigation System with Fuzzy Control Algorithm for Automated Guided Vehicle" IEEE international conference, 2015.

T. Charoenpru was born in Nakhon Ratchasima, Thailand. He received the B.Eng. degree in Electronics engineering from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, in 2014. He is currently working toward the M.Eng. degree in the School of Electronics Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. His research interests include wireless sensor networks and artificial intelligence.

T. Srikotr was born in Nakhon Ratchasima, Thailand. He received the B.Eng. degree in Telecomunication engineering from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, in 2014. He is currently working toward the M.Eng. degree in the School of Telecomunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. His research interests include digital signal processing, and wireless sensor networks

P. Kumsawat was born in Maehongson, Thailand. He received the B.Eng. degree in electrical engineering from the Royal Thai Air Force Academy, Bangkok, Thailand, in 1994, the M.Eng. degree in electrical engineering from Kasetsart University, Bangkok, Thailand, in 1997 and Ph.D. degree in electrical engineering from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, in 2006. Since 1999, he has been with the Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, where he is currently an Assistant Professor in the School of Telecommunication Engineering. His research interests include digital signal processing, image processing, artificial intelligence and embedded systems.

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์

(ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Flt.Lt.Dr.Prayoth Kumsawat

ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ที่อยู่ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 044 224392 โทรสาร 044 224603
E-mail: prayoth@sut.ac.th

ประวัติการศึกษา

2549 วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2541 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2536 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) โรงเรียนนายเรืออากาศ

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- Digital signal and image processing
- Artificial intelligence and applications
- Microcontroller and embedded systems