

รหัสโครงการ SUT 7-709-56-12-59



รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครือข่ายเซนเซอร์สำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ
(Sensory Network Development for
Autonomous Irrigation System)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครือข่ายเซนเซอร์สำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ (Sensory Network Development for Autonomous Irrigation System)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2558

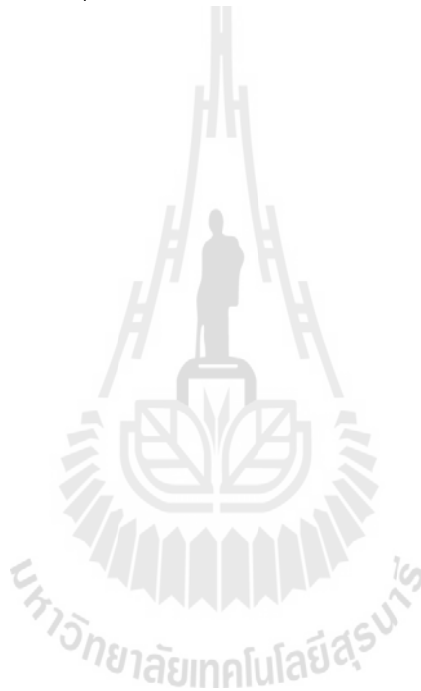
กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2556

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของสถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันวิจัยพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความสะดวกในด้านข้อมูล งานเอกสารแบบฟอร์มต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย จนทำให้งานเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายเกริกฤทธิ์ ศรีเคนและนายธีระภัทร เจริญปรุ นักศึกษาปริญญาโท สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ช่วยงานวิจัย เก็บข้อมูลการทดลอง จนทำให้งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วง

ประโยชน์ คำสวัสดิ์



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอ การออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับระบบฟาร์มอัจฉริยะ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม โดยติดตั้งโนดเซนเซอร์ในบริเวณแปลงเพาะปลูกสำหรับตรวจวัดค่าต่าง ๆ เช่น ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นในดินและความเข้มแสง จากนั้นส่งค่าการตรวจวัดผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สายด้วยโมดูล ZigBee ไปยังโนดโคออร์ดิเนเตอร์เพื่อการประมวลผลและรายงานผลโดยที่โนดโคออร์ดิเนเตอร์ที่ออกแบบขึ้นสามารถสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อนำข้อมูลจากการตรวจวัดขึ้นเซิร์ฟเวอร์ได้ งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองสำหรับระบบควบคุมแบบพีซีในการควบคุมช่วงเวลาการให้น้ำของระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ โดยใช้ค่าความชื้นในดินและค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจากเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ติดตั้งในแปลงเกษตรกรรม ผลการจำลองการทำงานที่นำเสนอแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมและความเป็นไปได้ในการประยุกต์เพื่อการใช้งานได้จริง

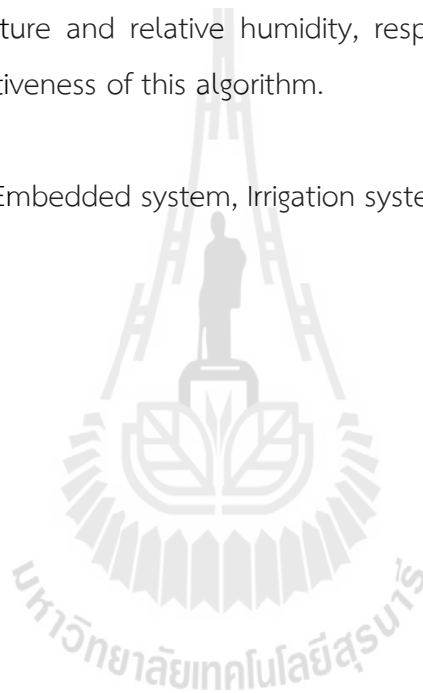
คำหลัก : เครือข่ายเซนเซอร์ ระบบสมองกลฝังตัว ระบบชลประทาน เซลล์แสงอาทิตย์



Abstract

This research project presents design of wireless sensor network for intelligent farm system. The proposed wireless sensor network mainly used microcontroller-based modules for control various sensors modules. Different types of sensors were applied in the farm of cassava including relative humidity, temperature and soil moisture. Each sensor module was installed at router node and its sensory data were sent to coordinator node via wireless communication module. This research work employs the use of Fuzzy logic control methodology to control the irrigation duration. Two sensing mechanisms are used in the system to monitor soil moisture and relative humidity, respectively. Experimental results show the feasibility and effectiveness of this algorithm.

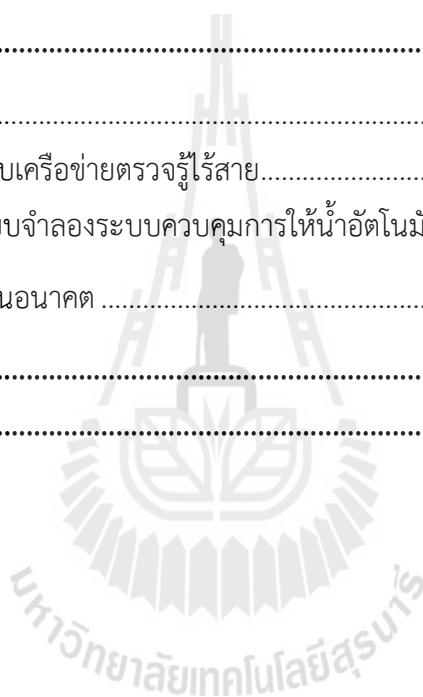
Keywords: Sensory network, Embedded system, Irrigation system, Solar cell



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยและสถานที่วิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system).....	4
2.3 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network).....	5
2.4 ตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy controller).....	6
2.5 สรุป	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย.....	8
3.1 บทนำ	8
3.2 การออกแบบทดสอบการทำงานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	8
3.2.1 การทดสอบการทำงานของโมดูลสื่อสาร Xbee.....	9
3.2.2 การทดสอบการเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee กับไมโครคอนโทรลเลอร์	11
3.2.3 การทดสอบวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT11).....	13
3.2.4 การทดสอบวงจรเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน.....	15
3.2.5 การทดสอบวงจรเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง	16

3.2.6	การทดสอบการเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่	17
3.3	การติดตั้งเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	17
3.4	ผลการทดสอบการทำงานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	18
3.5	แบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ	18
3.5.1	การออกแบบระบบเบื้องต้น	20
3.5.2	แบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟuzzy	21
3.6	ผลการจำลองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ	30
3.7	สรุป	33
บทที่ 4	บทสรุป	34
4.1	สรุป	34
4.1.1	การออกแบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย	35
4.1.2	การสร้างแบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ	36
4.2	แนวทางการวิจัยต่อไปในอนาคต	37
	บรรณานุกรม	38
	ภาคผนวก	40



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1: ผลการทดสอบหาระยะการส่งข้อมูลของอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย Xbee	11
ตารางที่ 3.2: การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิต่าง ๆ สำหรับคำนวณค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้	13
ตารางที่ 3.3: การกำหนดค่าคงที่ซึ่งต้องใช้ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์จริงที่วัดได้	14
ตารางที่ 3.4: ปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากการให้น้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน	21
ตารางที่ 3.5: ผลการทดลองระบบควบคุมด้วยพีซี 3 อินพุตในกรณีต่าง ๆ	31
ตารางที่ 3.6: ผลการทดลองระบบควบคุมด้วยพีซี 2 อินพุตในกรณีต่าง ๆ	33



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบมองกลฝังตัวในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.....	4
รูปที่ 2.2 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.....	5
รูปที่ 2.3 แผนภาพตัวควบคุมแบบพีซี	7
รูปที่ 3.1 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายพร้อมระบบควบคุมการเปิด-ปิดน้ำ	9
รูปที่ 3.2 การตั้งค่า Xbee ให้เป็นโหนดโคออดิเนเตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU.....	9
รูปที่ 3.3 การตั้งค่า Xbee ให้เป็นเรพอร์ทเตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU	10
รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	10
รูปที่ 3.5 ระยะห่างระหว่างโหนดเรพอร์ทเตอร์ที่คาดว่าจะครอบคลุมพื้นที่ในการรับ-ส่งข้อมูล	12
รูปที่ 3.6 วงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ SHT11	14
รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ SHT11 กับบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์	15
รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน EC-5 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	15
รูปที่ 3.9 วงจรเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง	16
รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสง เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง	16
รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	17
รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อโมดูล GSM เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	17
รูปที่ 3.13 กล่องอุปกรณ์เซ็นเซอร์โหนด เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน EC-5.....	18
รูปที่ 3.14 การติดตั้งโหนดเซ็นเซอร์เพื่อเก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงปลูกมันสำปะหลัง	18
รูปที่ 3.15 การทำงานของระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ	20
รูปที่ 3.16 ระบบควบคุมด้วยพีซีโดยใช้ 3 อินพุต.....	22
รูปที่ 3.17 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตความชื้นในดิน.....	22
รูปที่ 3.18 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตความชื้นในอากาศ.....	23
รูปที่ 3.19 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตอุณหภูมิ.....	23
รูปที่ 3.20 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุต.....	24
รูปที่ 3.21 ฐานกฎสำหรับการตัดสินใจของพีซี	26
รูปที่ 3.22 ระบบควบคุมด้วยพีซีโดยใช้ 2 อินพุต.....	27
รูปที่ 3.23 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตความชื้นในดิน.....	27
รูปที่ 3.24 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตความชื้นในอากาศ.....	28
รูปที่ 3.25 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุต.....	28

รูปที่ 3.26 ฐานกฎสำหรับการตัดสินใจของฟิชชี 29

รูปที่ 3.27 ทดสอบระบบควบคุมด้วยฟิชชี 3 อินพุต 30

รูปที่ 3.28 เงื่อนไขของฐานกฎแบบสามมิติของระบบ 3 อินพุต 30

รูปที่ 3.29 ทดสอบระบบควบคุมด้วยฟิชชี 2 อินพุต 32

รูปที่ 3.30 เงื่อนไขของฐานกฎแบบสามมิติของระบบ 2 อินพุต 32



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในประเทศไทย ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศมีอาชีพทางการเกษตรและเกษตรต่อเนื่อง โดยจากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตรรายงานว่า ในปี 2553 ประเทศไทยมีพื้นที่ 320.6 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ถือครองเพื่อการเกษตรประมาณ 132.7 ล้านไร่ และมีแนวโน้มว่าจะขยายตัวเพิ่มขึ้น (พื้นที่การเกษตรมีความต้องการใช้น้ำสูง) แต่ทว่าปัจจุบันมีพื้นที่ชลประทานที่สนับสนุนภาคการเกษตร ได้ 29.3 ล้านไร่ ส่วนพื้นที่การเกษตรที่เหลือจะต้องพึ่งแต่น้ำฝนตามธรรมชาติซึ่งมีความไม่แน่นอน ส่งผลให้ฐานรายได้ภาคการเกษตรมีความไม่แน่นอนตามไปด้วย และจากสภาพการกระจายตัวของน้ำฝนและน้ำท่าที่ไม่สม่ำเสมอตลอดปี ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาอุทกภัยและปัญหาการขาดแคลนน้ำรุนแรงขึ้น ดังนั้นประเทศไทยจะต้องมีการพัฒนาระบบชลประทานเพื่อการเก็บกักและจะต้องมีการใช้งานระบบชลประทานหรือมีวิธีการใช้น้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

การชลประทาน (Irrigation) คือ การให้น้ำในขนาดที่พอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งน้ำจะถูกบรรจุลงในช่องว่างระหว่างเม็ดดินเพื่อให้ดินนั้นมีความชุ่มชื้นพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช โดยอาจรวมถึงการเก็บกักและการทอนน้ำ เป็นต้น วัตถุประสงค์ของการชลประทานนั้นก็เพื่อให้ดินนั้นมีความชุ่มชื้นที่พอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช เพื่อเป็นหลักประกันว่าพืชจะไม่ขาดน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูก เพื่อให้ดินอ่อนนุ่มสะดวกต่อการเตรียมดินและรากสามารถขยายตัวได้ดีขึ้น นอกจากนี้การชลประทานยังทำให้เกษตรกรสามารถปลูกพืชได้หลายครั้งต่อปีอีกด้วย

เนื่องจากในปัจจุบัน เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมและเครือข่ายคอมพิวเตอร์มีความเจริญรุดหน้าไปมาก การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออำนวยความสะดวกในการเฝ้าติดตาม การบริหารและการจัดการฟาร์มเกษตรกรรมในรูปแบบที่เรียกว่า ระบบฟาร์มอัจฉริยะ (Smart farm system) เป็นกุญแจสำคัญดอกหนึ่งของการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงและใช้งานเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้รับการขนานนามว่าเป็นเกษตรกรรมความแม่นยำสูง (Precision agriculture) ในการเก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในฟาร์มจะใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) โดยมีการเชื่อมต่อหลาย ๆ โหนดเซนเซอร์เข้าด้วยกันให้เป็นเครือข่าย (Network) ตามโครงสร้างของเครือข่าย (Topology network) ที่ได้กำหนดขึ้น องค์ประกอบหลักของโนดเซนเซอร์ไร้สายคือ ตัวเซนเซอร์ (Sensors) อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย โมโครคอนโทรลเลอร์และแบตเตอรี่ขนาดเล็ก โดยข้อมูลต่าง ๆ ที่ตรวจวัดได้จากโนดเซนเซอร์ต่าง ๆ จะถูกรวบรวมโดยสถานีฐาน (Base station หรือ Sink node) จากนั้นสถานีฐานจะทำการส่งข้อมูลมายังศูนย์กลางการควบคุม (Control center) โดยผ่านเครือข่ายสื่อสาร เช่น เครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานหรือเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาเครือข่ายเซนเซอร์สำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบควบคุมการใช้น้ำในภาคการเกษตรให้มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ากับผลผลิตทางการเกษตร โดยผู้วิจัยจะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ระบบสมองกลฝังตัวและเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเครือข่าย

เซนเซอร์ ซึ่งเครือข่ายเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นจะสามารถส่งข้อมูลจากโนดเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่การเกษตรที่แตกต่างกันเข้าสู่ศูนย์กลางการควบคุมผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย ระบบดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารและการจัดการฟาร์มเกษตรกรรมในรูปแบบของระบบฟาร์มอัจฉริยะ ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรน้ำให้เป็นไปอย่างแม่นยำและตรงต่อความต้องการของพืช จึงสามารถช่วยในการเพิ่มผลผลิตและช่วยลดการสูญเสียทรัพยากรน้ำได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ ระบบสมองกลฝังตัวและการควบคุมอัตโนมัติ
2. เพื่อดำเนินการออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ
3. เพื่อดำเนินการออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมการส่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์ต่างๆเข้าสู่ศูนย์กลางการควบคุม
4. เพื่อสร้างแบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติสำหรับระบบสมองกลฝังตัว
5. เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการพัฒนาเครือข่ายเซนเซอร์สำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ และเสริมสร้างความแข็งแกร่งทางด้านเทคโนโลยีให้กับการทำระบบฟาร์มอัจฉริยะในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายตามมาตรฐานโปรโตคอล ZigBee / IEEE 802.15.4
2. ทำการออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบสมองกลฝังตัว

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

วิธีการดำเนินการวิจัย: มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ระบบสมองกลฝังตัวและเทคโนโลยีการส่งน้ำในระบบชลประทาน
2. ศึกษาข้อมูลทางด้านฮาร์ดแวร์ในการออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม
3. ดำเนินการออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม
4. ดำเนินการสร้างแบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำแก่พืชสำหรับระบบสมองกลฝังตัว
5. ดำเนินการจำลองผลและพัฒนาแบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำแก่พืชสำหรับระบบสมองกลฝังตัว
6. ทำการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ผล จัดทำรายงานการวิจัย

สถานที่วิจัย:

- อาคารเครื่องมือ 4 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้ในด้านการออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
2. ได้แบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติ
3. องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัย จะนำไปใช้ในการเรียนการสอนนักศึกษาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคมทั้งในระดับปริญญาตรี ปริญญาโทและปริญญาเอก เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไปในอนาคต
4. ได้นักวิจัยรุ่นใหม่



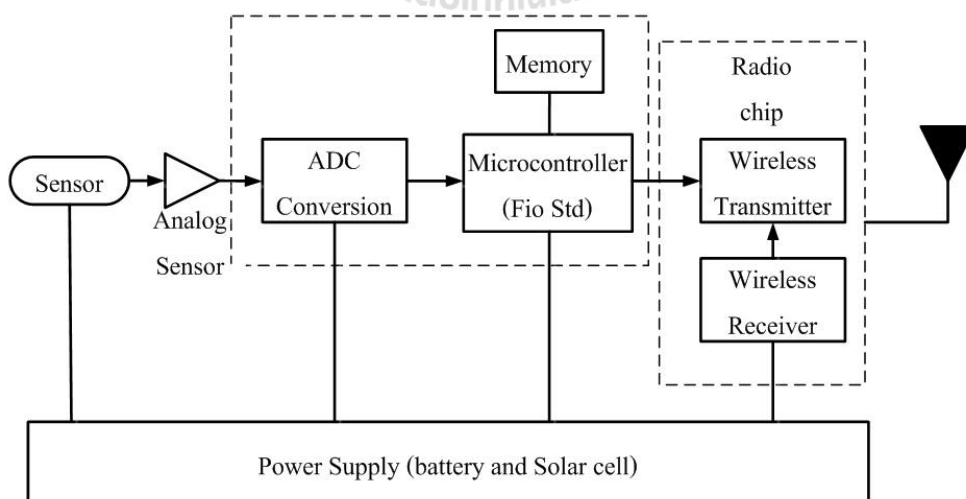
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอ ระบบสมองกลฝังตัว เครื่องข่ายเซนเซอร์และการควบคุมแบบพีซี ซึ่งระบบสมองกลฝังตัวจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมการรับ-ส่งสัญญาณต่าง ๆ ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมเครือข่ายเซนเซอร์ ในส่วนของการควบคุมการให้น้ำในระบบชลประทานแบบอัตโนมัติ ผู้วิจัยจะออกแบบตัวให้เป็นตัวควบคุมแบบพีซี

2.2 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system)

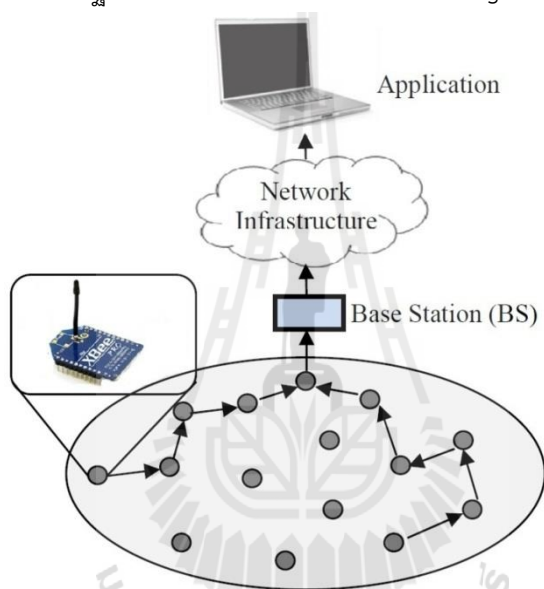
ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system) เปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) หรือคอมพิวเตอร์วางตั้ง (Notebook) ที่คนส่วนใหญ่รู้จักและใช้งานทุกวันนี้ แต่ระบบสมองกลฝังตัวจะเป็นการย่อเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เล็กลงโดยเหลือเพียงแผงวงจรรีเลย์ขนาดเล็กและมีขีดความสามารถน้อยกว่า วัตถุประสงค์หลักของการใช้งานระบบสมองกลฝังตัวคือนำไปใส่ในอุปกรณ์ที่ต้องการให้ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ เสมือนมีสมองกลฝังตัวอยู่ภายใน ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในชีวิตประจำวันหรืออุปกรณ์ควบคุมที่มีความซับซ้อน เป็นต้น ระบบสมองกลฝังตัว ได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมต่าง ๆ เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพ [1]-[3] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำระบบสมองกลฝังตัวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมต่าง ๆ ในเครือข่ายเซนเซอร์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ระบบสมองกลฝังตัวในการประยุกต์ใช้ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมอดูลเซนเซอร์ (Sensor module) ที่ใช้ทดสอบในโครงการนี้จะประกอบด้วย เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ เซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นในอากาศ เซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นในดิน เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง และเซนเซอร์ตรวจวัดค่า pH



รูปที่ 2.1 ระบบสมองกลฝังตัวในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

2.3 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network)

การสื่อสารไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee เป็นเทคโนโลยีที่ถูกคิดค้นขึ้นสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) ที่ใช้อัตราการส่งข้อมูลต่ำโดยเฉพาะ โดยชุดอุปกรณ์มีราคาถูกและประหยัดพลังงาน และถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นเครือข่ายส่วนบุคคลแบบไร้สาย (Wireless personal area network, WPAN) โดยมีแอปพลิเคชันรองรับจำนวนมาก เครือข่ายไร้สาย ZigBee ลักษณะนี้ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างเครื่องตรวจวัดหรือตัวเซนเซอร์ที่ต้องการสื่อสารแบบไร้สายเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนสำหรับการติดตั้ง เช่น การสร้างระบบเครือข่ายอัตโนมัติ ระบบรักษาความปลอดภัยภายในบ้าน ระบบเครือข่ายในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับการตรวจวัดค่าทางด้านการเกษตรกรรม ระบบเฝ้าระวังการเกิดน้ำท่วม ระบบเฝ้าระวังการเกิดดินถล่มและระบบเฝ้าระวังการเกิดไฟป่า เป็นต้น [4]-[9] โดยองค์ประกอบพื้นฐานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee แสดงดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee

ในการเปรียบเทียบการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่ายอื่น ๆ แล้วพบว่า ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee มีความซับซ้อนน้อยกว่า ใช้ทรัพยากรน้อยกว่า และที่สำคัญคือเป็นมาตรฐานการสื่อสารไร้สายที่ใช้เทคโนโลยี IEEE 802.15.4 สำหรับการรับส่งข้อมูลเบื้องต้นในวงจรเครื่องรับวิทยุ (Physical layer) และการควบคุมการรับส่ง (Link layer) ซึ่งมีช่องสัญญาณย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้มี 3 ย่านความถี่ โดยแต่ละย่านความถี่ยังแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณต่าง ๆ มีอัตราการการรับส่งข้อมูลที่มีความเร็วประมาณ 20 – 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) ระยะทางในการติดต่อสื่อสารประมาณ 10 – 1,500 เมตร และความสามารถในการปรับแต่งเครือข่ายและความปลอดภัยของระบบที่ดี ระบบเครือข่าย ZigBee มีช่องสัญญาณย่านความถี่สำหรับการทำงานเป็น 3 ย่านความถี่ คือ 2.4 GHz 915 MHz และ 868 MHz ในแต่ละย่านความถี่จะมีจำนวนช่องสัญญาณที่กำหนดอยู่ช่วงหนึ่ง ซึ่งย่านความถี่ 2.4 GHz จะมีช่องสัญญาณ 16 ช่องและมีย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ในประเทศไทย

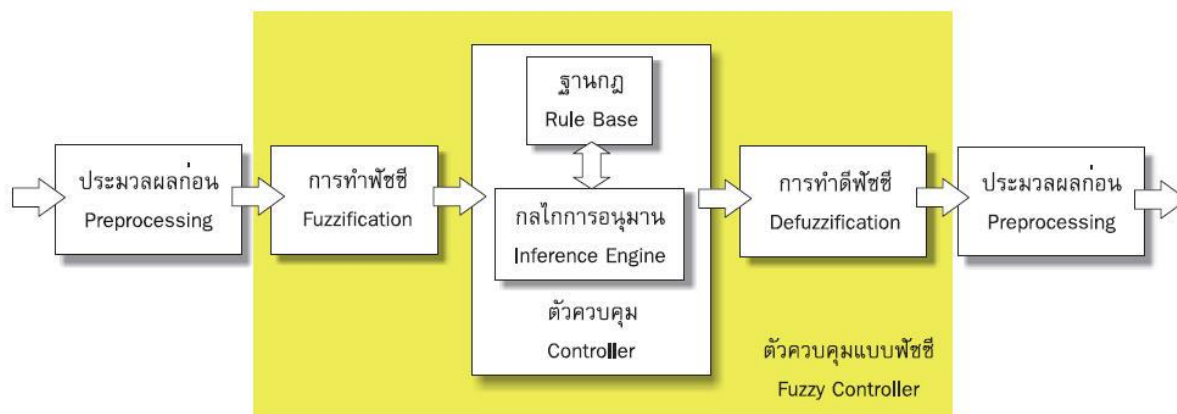
ในการพัฒนาเครือข่ายเซนเซอร์สำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบควบคุมการใช้น้ำในภาคการเกษตรให้มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ากับผลผลิตทางการเกษตรนั้น ระบบจะต้องมีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการให้น้ำที่เหมาะสมกับแปลงเกษตร อัตราการให้น้ำที่มากเกินไปทำให้เกิดความสูญเสียสิ้นเปลืองโดยพืชไม่สามารถนำเอาน้ำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ อัตราการให้น้ำที่น้อยเกินไปทำให้พืชรับน้ำไม่เพียงพอ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ได้ พารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการให้น้ำประกอบไปด้วยค่าสภาพภูมิอากาศของพื้นที่แปลงเกษตร สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช รูปแบบการวางท่อให้น้ำหัด คุณลักษณะของดิน คุณลักษณะการเจริญเติบโตของรากพืช เป็นต้น

2.4 ตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy controller)

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic) ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นโดยศาสตราจารย์ Lotfi A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 [4] และได้มีการพัฒนาทฤษฎี เพื่อนำมาใช้ในระบบควบคุมแบบฟัซซีกันอย่างแพร่หลาย โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมแบบฟัซซีมีองค์ประกอบหลักอยู่ 4 ส่วน คือ หน่วยปฏิบัติการฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification unit) ฐานความรู้ (Knowledge base) ลอจิกเพื่อการตัดสินใจ (Decision making logic) และหน่วยปฏิบัติการดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification unit) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตจะเข้าสู่ตัวควบคุมฟัซซี จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตจากตัวควบคุมฟัซซีจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบที่ต้องการควบคุม โดยมีหน่วยปฏิบัติการฟัซซีฟิเคชันทำหน้าที่แปลงสัญญาณทางด้านอินพุตซึ่งเป็นข้อมูลแบบธรรมดาไปเป็นตัวแปรทางภาษาหรือตัวแปรฟัซซี (Fuzzy variable)

ในส่วนของฐานความรู้จะประกอบด้วยฐานข้อมูล (Data base) และฐานกฎการควบคุม (Control rule base) เพื่อใช้ในการกำหนดนิยาม กฎการควบคุมและเป็นศูนย์รวมของกฎการควบคุมแบบตัวแปรทางภาษา (Linguistic variable) ซึ่งแสดงถึงแนวทางการควบคุมให้ระบบมีพฤติกรรมตามต้องการ

ในส่วนของลอจิกเพื่อการตัดสินใจ เป็นส่วนที่ให้การเลียนแบบการตัดสินใจของมนุษย์ โดยอาศัยแนวความคิดทางคณิตศาสตร์และการอนุมานแบบฟัซซี (Fuzzy inference) และในองค์ประกอบสุดท้าย หน่วยปฏิบัติการดีฟัซซีฟิเคชัน จะทำหน้าที่แปลข้อมูลแบบฟัซซีไปเป็นตัวแปรธรรมดา (Conventional variable) ที่สอดคล้องกับการทำงานจริงของระบบเพื่อให้ระบบควบคุมสามารถเข้าใจสัญญาณดังกล่าวได้ หลังจากนั้นจึงทำการดีนอร์มัลไลซ์ (Denormalization) เพื่อแปลงค่าเอาต์พุตให้อยู่ในขอบเขตของเอาต์พุตจริงต่อไป จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบฟัซซีมีลักษณะของการใช้ฐานกฎ (Rule base) ที่มาจากการควบคุมด้วยคนจริง ๆ ได้ ตัวควบคุมแบบนี้จึงมีประโยชน์มากในการประยุกต์ใช้กับงานเชิงปฏิบัติการจริงด้วยผู้เชี่ยวชาญ ขณะเดียวกันฟัซซีลอจิกเป็นระบบที่มีเสถียรภาพสูง ไม่จำเป็นต้องใช้กับอินพุตที่มีค่าแน่นอนหรือปราศจากสัญญาณรบกวน ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนอินพุตหรือเอาต์พุตสามารถใช้กับงานที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ ทำให้ตัวควบคุมแบบฟัซซีถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุตสาหกรรมต่าง ๆ



รูปที่ 2.3 แผนภาพตัวควบคุมแบบฟัซซี

ในการทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้องในฐานข้อมูลต่าง ๆ พบว่าในปัจจุบันเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายและตัวควบคุมแบบฟัซซีได้รับการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านเกษตรกรรมอย่างกว้างขวางยกตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ S. N. Singh et.al. [5] ได้นำเสนอการออกแบบระบบการควบคุมการให้น้ำแก่พืชแบบฟัซซีโดยทีมวิจัยใช้ข้อมูลจากสถานะแวดล้อมในแปลงเพาะปลูกเป็นหลักในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับการปลูกมะเขือเทศ ซึ่งพบว่าสามารถประหยัดน้ำได้ถึง 50-60% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทั่วไป และในงานวิจัยของ K. M. Al-Aubidy et.al. [6] นำเสนอการประยุกต์ใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในการตรวจวัดค่าสถานะแวดล้อมต่าง ๆ ในโรงเรือนและประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุมสภาพอากาศเฉพาะพื้นที่ (Microclimate) เช่น การควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ทำความร้อน อุปกรณ์ทำความเย็น พัดลมระบายอากาศ หลังคากันแดดหรือหน้าต่างของโรงเรือน เป็นต้น ซึ่งผลการวิจัยได้แสดงให้เห็นว่านักวิจัยสามารถควบคุมสถานะแวดล้อมให้ตรงตามที่ต้องการได้ถูกต้องมากขึ้น

2.5 สรุป

บทนี้นำเสนอ ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ระบบสมองกลฝังตัว เครือข่ายเซนเซอร์และการควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งระบบสมองกลฝังตัวจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมการรับ-ส่งสัญญาณต่าง ๆ ในเครือข่ายเซนเซอร์ ไร้สาย ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมเครือข่ายเซนเซอร์ ในส่วนของการควบคุมการให้น้ำในระบบชลประทานแบบอัตโนมัติ นั้น ผู้วิจัยจะออกแบบตัวให้เป็นตัวควบคุมแบบฟัซซี

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

3.1 บทนำ

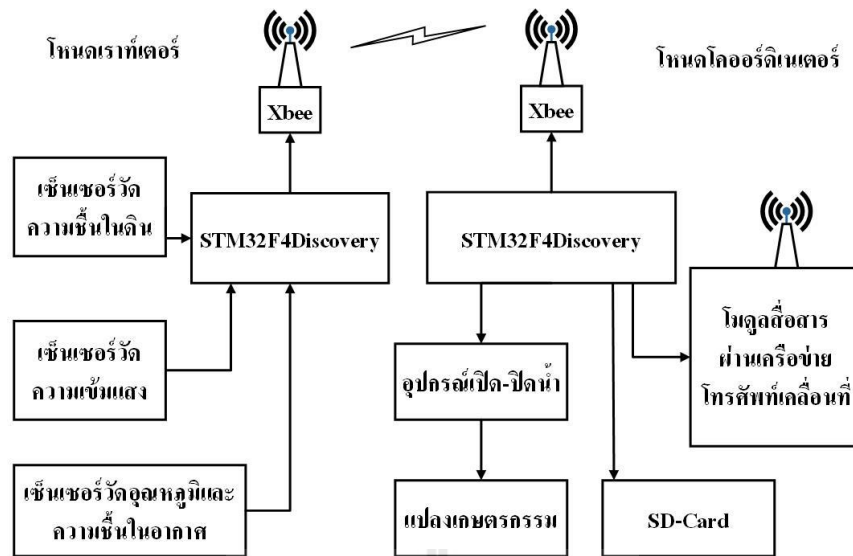
ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัยในโครงการ โดยจะแยกเป็น 3 ส่วน คือ ผลการออกแบบและทดสอบการทำงานของอุปกรณ์สื่อสารและเซนเซอร์ตรวจวัดค่าต่าง ๆ ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย จากนั้นจะกล่าวถึงผลการติดตั้งเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อทำการเก็บข้อมูลโดยติดตั้งในแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และจะกล่าวถึงแบบจำลองระบบการควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีเป็นส่วนสุดท้าย

3.2 การออกแบบและทดสอบการทำงานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม สำหรับใช้เป็นโนดตรวจวัดค่าสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตรกรรมแบบไร้สายที่ใช้แหล่งพลังงานสะอาดจากแสงอาทิตย์ ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งในพื้นที่การทำเกษตรกรรม ค่าที่ได้จากการตรวจวัดโดยเซนเซอร์แบบต่าง ๆ จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลดิบของระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติที่ผู้วิจัยกำลังดำเนินการและจะพัฒนาเป็นระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติที่ใช้เทคโนโลยีการควบคุมแบบฟัซซีในปีต่อไปของโครงการวิจัย

ในการออกแบบและสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้การเชื่อมต่อแบบไร้สายผ่านโมดูล ZigBee ย่านความถี่ 2.4 GHz ด้วยการสร้างเครือข่ายไร้สายแบบเมช (Mesh network) เนื่องจากอุปกรณ์ที่เป็นโนดเราท์เตอร์ (Router) ซึ่งเป็นโนดย่อยในการตรวจวัดค่าต่าง ๆ สามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้โดยตรงหรือจะสื่อสารผ่านโนดโคออร์ดิเนเตอร์ (Coordinator) หรือโนดหลักก็ได้ และถ้าหากโนดเราท์เตอร์ไม่สามารถติดต่อผ่านกันได้โดยตรงก็ยังสามารถส่งข้อมูลผ่านอีกเส้นทางหนึ่งเพื่อเชื่อมโยงไปยังโนดที่ต้องการสื่อสารได้ ซึ่งการเชื่อมต่อลักษณะนี้สามารถป้องกันข้อผิดพลาดในการสื่อสารของระบบได้เป็นอย่างดี

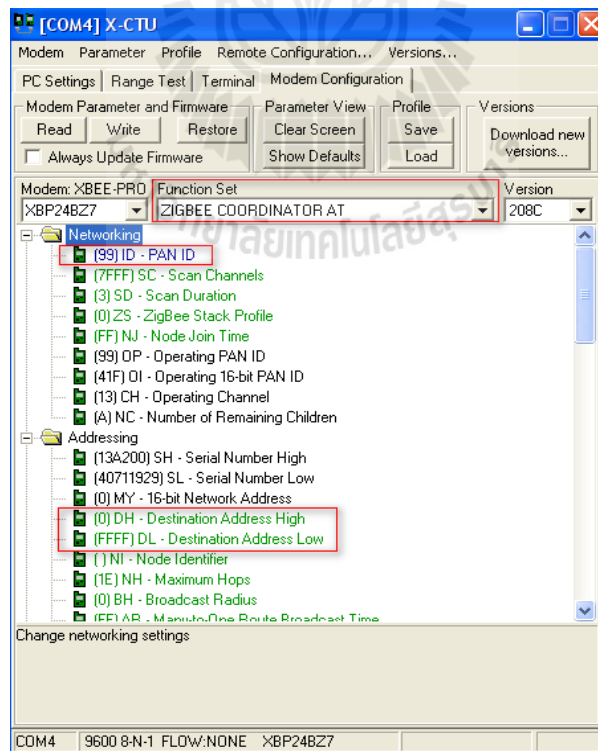
สำหรับระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุมการทำงาน ผู้วิจัยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32TM ARM 32-bits CortexTM M3 ซึ่งอยู่บนบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ และบอร์ด Waijung ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม MATLAB Simulink ได้เป็นอย่างดี ประกอบกับมีการใช้งานที่ง่ายโดยเฉพาะด้านการเขียนและการพัฒนาโปรแกรม โดยสามารถทำการเขียนโปรแกรมเชิงกราฟิก (Graphical programming) ผ่านโปรแกรม Simulink ซึ่งเป็นโมดูลหนึ่งในโปรแกรม MATLAB และในส่วนของ การสร้างเครือข่ายแบบไร้สายเพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้น ผู้วิจัยได้ทำการเชื่อมต่อผ่านโมดูลสื่อสารเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (GSM Module) ทำให้สามารถส่งข้อมูลการตรวจวัดขึ้นเวปเซิร์ฟเวอร์เก็บเป็นฐานข้อมูลการวิจัยต่อไป แผนภาพเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้นแสดงในรูปที่ 3.1



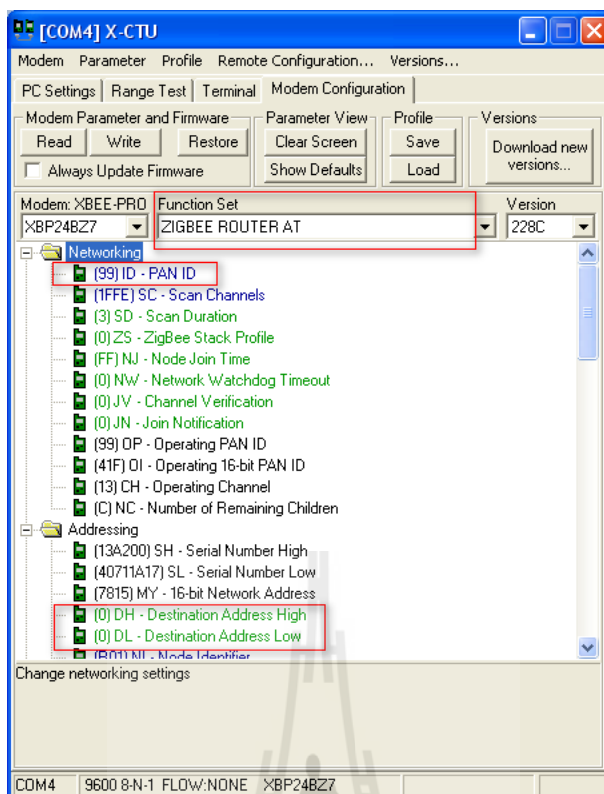
รูปที่ 3.1 เครื่องข่ายเซนเซอร์ไร้สายพร้อมระบบควบคุมการเปิด-ปิดน้ำ

3.2.1 การทดสอบการทำงานโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee

ในการสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบเมชด้วยโมดูล Xbee จะต้องมีการกำหนดค่าต่างๆ ให้กับโมดูล Xbee โดยใช้ Xbee 1 ตัวทำหน้าที่เป็นโนนดโคออดิเนเตอร์ (Coordinator) และใช้ Xbee อีก 4 ตัวสำหรับทำหน้าที่เป็นโนนดเรทเตอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 3.5) ซึ่งการกำหนดรูปแบบการทำงานดังกล่าวให้กับโมดูล Xbee แต่ละโมดูลสามารถทำได้ด้วยตั้งค่าผ่านโปรแกรม X-CTU ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 การตั้งค่า Xbee ให้เป็นโนนดโคออดิเนเตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU



รูปที่ 3.3 การตั้งค่า Xbee ให้เป็นเราท์เตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU



รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.2 การทดสอบการเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

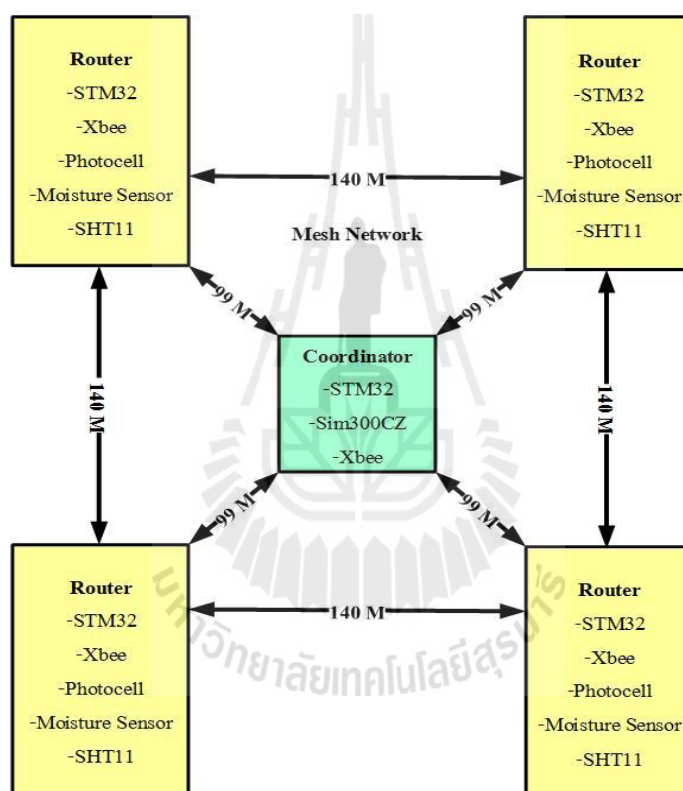
ในการเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Waijung เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สื่อสารไร้สายประจำโน้ตบุ๊ก ผู้วิจัยทำการเชื่อมต่อขาสัญญาณ Tx และ Rx ของโมดูล Xbee เข้ากับขาสัญญาณ Rx และ Tx (Serial Interface 2) ของบอร์ดดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยกำหนดอัตราเร็วของการรับ-ส่งข้อมูลด้วยอัตราบอดเท่ากับ 9,600 bps กำหนดค่าการควบคุม Flow control เท่ากับ NONE กำหนดขนาดบิตข้อมูลเท่ากับ 8 บิต กำหนด Parity เท่ากับ NONE และกำหนด Stop bits เท่ากับ 1 บิต

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาระยะทางในการส่งข้อมูลที่ไกลที่สุดของโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee โดยทำการทดลองในพื้นที่ของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้วิจัยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทดสอบในการส่งข้อมูลระหว่างโมดูล Xbee จำนวน 2 โมดูลว่ารับ-ส่งข้อมูลกันได้ปกติหรือไม่โดยเริ่มการทดสอบจากการส่งข้อมูลในระยะใกล้ก่อน จากนั้นค่อย ๆ เพิ่มระยะทางการรับ-ส่งข้อมูลขึ้นเรื่อย ๆ ครั้งละ 20 เมตร ผลการทดสอบแสดงได้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบหาระยะการส่งข้อมูลของอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย Xbee

ระยะทาง (เมตร)	การส่งข้อมูลครั้งที่ 1	การส่งข้อมูลครั้งที่ 2	การส่งข้อมูลครั้งที่ 3
20	ส่งได้	ส่งได้	ส่งได้
40	ส่งได้	ส่งได้	ส่งได้
60	ส่งได้	ส่งได้	ส่งได้
80	ส่งได้	ส่งได้	ส่งได้
100	ส่งได้	ส่งได้	ส่งได้
120	ส่งได้	ส่งได้	ส่งได้
140	ส่งได้	ส่งได้	ส่งได้
145	ส่งไม่ได้	ส่งได้	ส่งได้
150	ส่งไม่ได้	ส่งไม่ได้	ส่งไม่ได้
155	ส่งไม่ได้	ส่งไม่ได้	ส่งไม่ได้
160	ส่งไม่ได้	ส่งไม่ได้	ส่งไม่ได้

จากผลการทดสอบในตารางที่ 3.1 ในหระยะการส่งข้อมูลของอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย Xbee ที่คาดว่า จะส่งได้ไกลที่สุดในการทดลองจำนวน 3 ครั้งพบว่า อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย Xbee สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ไกล สุดที่ระยะทาง 140 เมตรโดยไม่มีข้อผิดพลาด ซึ่งเป็นระยะทางที่มากกว่าค่าที่ระบุไว้ในเอกสารทางเทคนิค (Data specification sheet) ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบในพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งกีดขวางทำให้การรับ-ส่ง สัญญาณเป็นไปอย่างเต็มประสิทธิภาพ ระยะทางดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการวางแผนการติดตั้งโนดเร้าเตอร์ ซึ่งเป็นโนดย่อยที่จะทำการตรวจวัดค่าสภาวะแวดล้อมในพื้นที่เกษตรกรรม เพื่อให้สามารถทำการรับ-ส่งข้อมูล อย่างถูกต้องต่อไป แผนภาพตัวอย่างการติดตั้งและระยะห่างระหว่างโนดเร้าเตอร์หรือโนดย่อยที่สามารถ ครอบคลุมพื้นที่ในการรับ-ส่งสัญญาณประมาณ 12 ไร่ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ระยะห่างระหว่างโนดเร้าเตอร์ที่คาดว่าจะครอบคลุมพื้นที่ในการรับ-ส่งข้อมูล

3.2.3 การทดสอบวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT11)

ในการออกแบบวงจรที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อเซนเซอร์ SHT11 ซึ่งเป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เป็นวงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อเซนเซอร์ SHT11 และรูปที่ 3.7 แสดงการเชื่อมต่อเซนเซอร์ SHT11 กับบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยกำหนดรูปแบบของการเชื่อมต่อเป็นแบบ I2C เพียงสองเส้น และ SHT11 ให้เอาต์พุตเป็นดิจิตอลขนาด 14 บิต ซึ่งจะต้องอ่านข้อมูลดิบ (Raw data) จากโมดูล SHT11 เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้การคำนวณตามสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิที่ถูกต้อง โดยคำนวณตามสมการที่ (3.1) ซึ่งบริษัท Sensirion ผู้ผลิตโมดูล SHT11 [10] กำหนดไว้ดังนี้

$$Temperature = d1 + (d2 \times SO_T) \quad (3.1)$$

โดยที่ *Temperature* คือค่าอุณหภูมิจริง (องศาเซลเซียส)

d1 คือค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับขา V_{DD} ของ SHT11 ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.2

d2 คือค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับความละเอียดของอุณหภูมิที่ต้องการ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.2

SO_T คือค่าอุณหภูมิดิบที่อ่านได้จากโมดูล SHT11

ตารางที่ 3.2 การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิ $d1$ และ $d2$ สำหรับคำนวณค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้

ไฟเลี้ยง	ค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 1 ($d1$)		ความละเอียด	ค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 2 ($d2$)	
	หน่วย °C	หน่วย °F		หน่วย °C	หน่วย °F
+5V	-40.00	-40.00	14 บิต	0.01	0.018
+4V	-39.75	-39.50	12 บิต	0.04	0.072
+3.5V	-39.66	-39.35			
+3V	-39.60	-39.28			
+2.5V	-39.55	-39.23			

สำหรับการอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์จากโมดูล SHT11 จะต้องอ่านข้อมูลดิบจากโมดูล SHT11 เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ออกมา โดยคำนวณได้จากสมการที่กำหนดมาจาก Sensirion ผู้ผลิตโมดูล SHT11 [10] ดังนี้

$$RH_{true} = (T - 25) \times [t_1 + (t_2 \times SO_{RH})] + RH_{linear} \quad (3.2)$$

$$RH_{linear} = c_1 + (c_2 \times SO_{RH}) + [c_3 \times (SO_{RH})^2] \quad (3.3)$$

โดยที่ RH_{true} คือค่าความชื้นสัมพัทธ์จริง

T คือ ค่าอุณหภูมิจริงที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

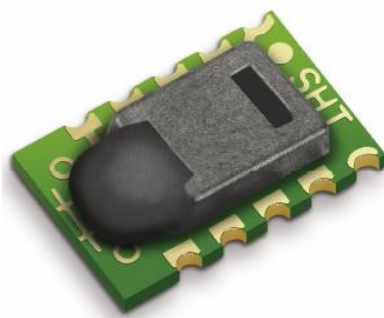
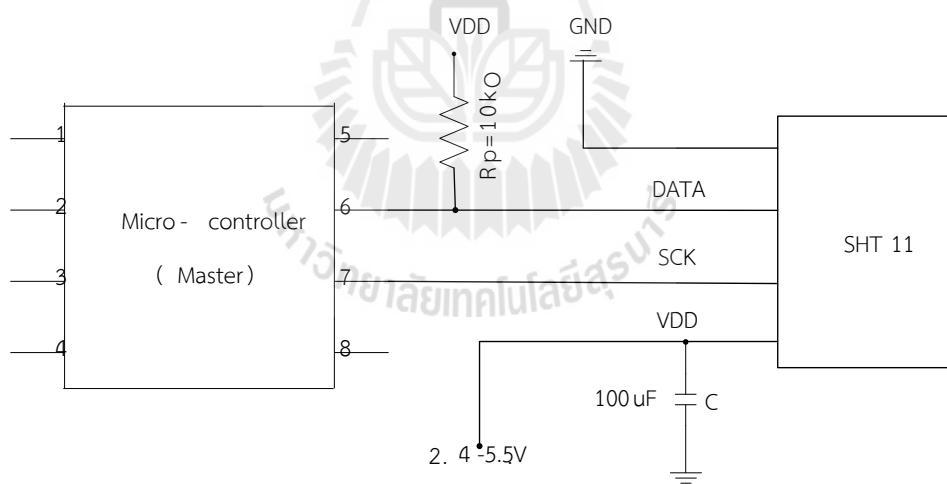
t_1 และ t_2 คือค่าคงที่โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจากโมดูล SHT11 ตามรายละเอียดในตารางที่ 3.3

c_1 , c_2 และ c_3 คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจากโมดูล SHT11 ตามรายละเอียดในตารางที่ 3.3

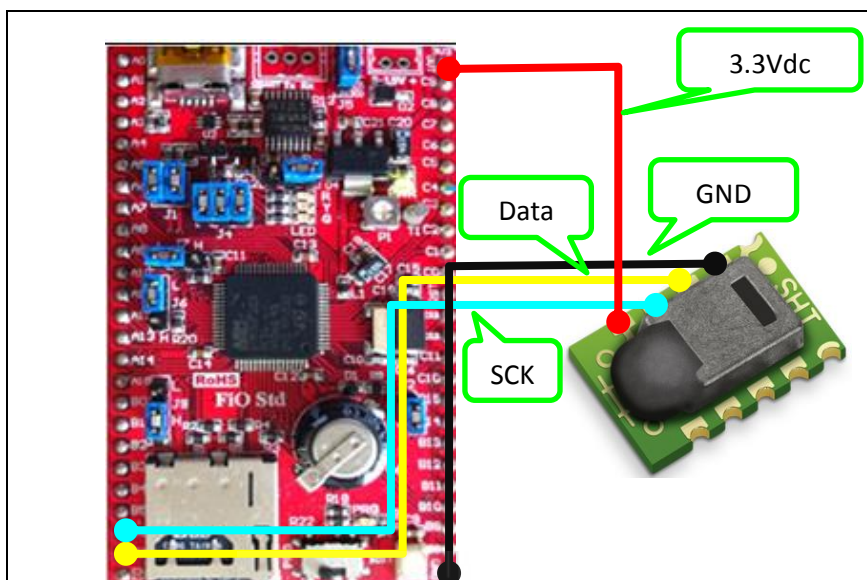
SO_{RH} คือค่าข้อมูลดิบของความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้จากโมดูล SHT11

ตารางที่ 3.3 การกำหนดค่าคงที่ซึ่งต้องใช้ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์จริงที่วัดได้

ความละเอียด	ค่าคงที่		ความละเอียด	ค่าคงที่		
	t_1	t_2		c_1	c_2	c_3
12 บิต	0.01	0.00008	12 บิต	-4	0.0405	-2.8×10^{-6}
8 บิต	0.01	0.00128	8 บิต	-4	0.648	-7.2×10^{-4}



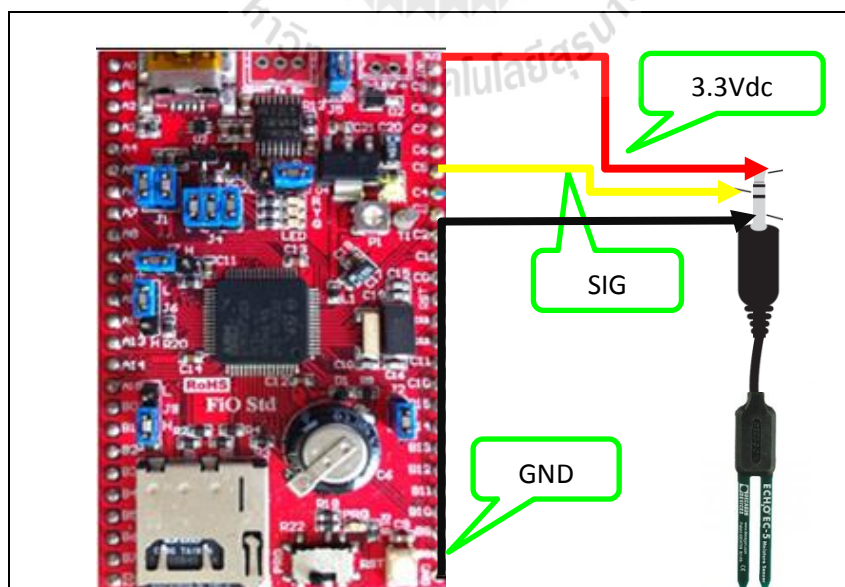
รูปที่ 3.6 วงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อเซนเซอร์ SHT11



รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อเซนเซอร์ SHT11 กับบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.4 การทดสอบวงจรเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (EC-5)

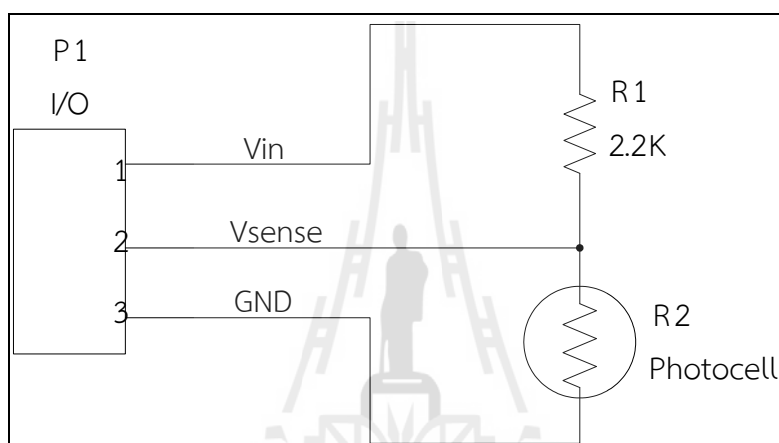
ผู้วิจัยใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน EC-5 ในการวัดค่าความชื้นของดินในบริเวณพื้นที่ทำการเกษตร โดยรูปที่ 3.8 แสดงการเชื่อมต่อเซนเซอร์กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดเป็นสัญญาณแอนะล็อก ดังนั้นก่อนการประมวลผลจะต้องผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยในงานวิจัยนี้กำหนดจำนวนบิตของการเข้ารหัสข้อมูลขนาด 12 บิต แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยทำการทดลองวัดค่าความชื้นในดินที่ระดับความชื้นที่ต่างกักัน



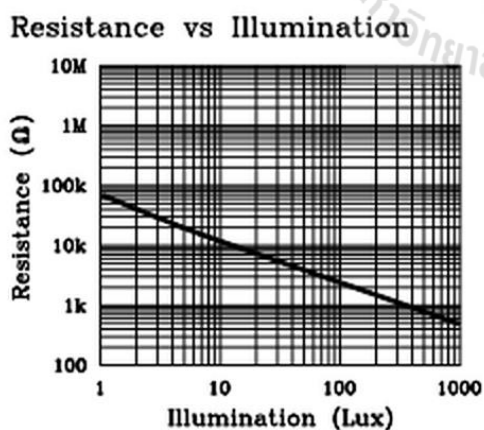
รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน EC-5 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.5 การทดสอบวงจรเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

เซนเซอร์วัดความเข้มแสงเป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์โดยใช้อุปกรณ์โฟโต้เซลล์ (Photo Cell) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยค่าความต้านทานจะขึ้นกับปริมาณแสงที่ตกกระทบที่โฟโต้เซลล์ สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดค่าความเข้มแสงจะเป็นสัญญาณแอนะล็อกซึ่งต้องผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลก่อนที่จะแปลผลออกมาเป็นค่าความส่องสว่าง (Lux) อีกครั้งหนึ่งและในงานวิจัยนี้ใช้การเข้ารหัสสัญญาณขนาด 12 บิต วงจรเซนเซอร์วัดความเข้มแสง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับค่าความเข้มแสงและการเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความเข้มแสงกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงในรูปที่ 3.9 ถึงรูปที่ 3.11 ตามลำดับ



รูปที่ 3.9 วงจรเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

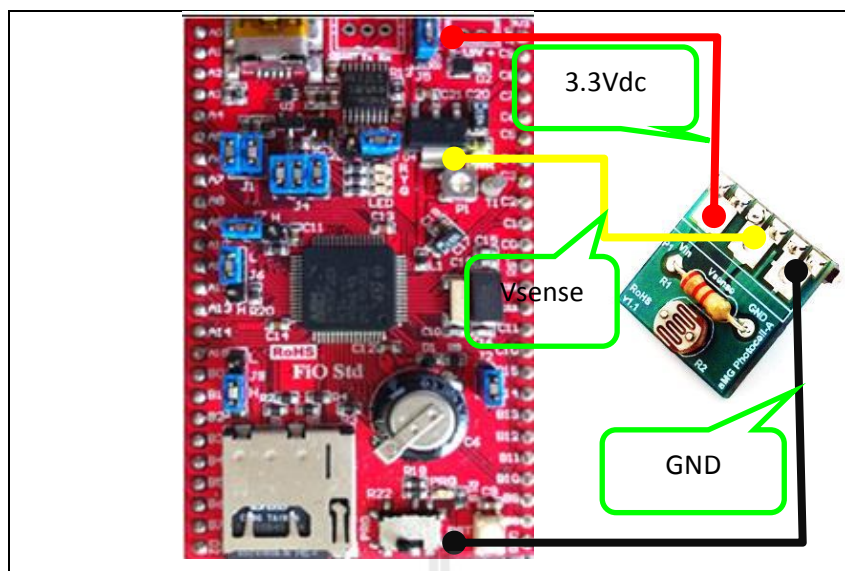


(ก)



(ข)

รูปที่ 3.10 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสง (ข) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง



รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความเข้มแสงเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.6 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

ผู้วิจัยได้ทำการเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (GSM module) เข้ากับบอร์ดควบคุม โดยต่อขาสัญญาณ Tx, Rx ของโมดูล GPRS เข้ากับ Rx, Tx (Serial1) ของบอร์ด Waijung ซึ่งบอร์ดนี้ทำหน้าที่เป็นโนดโคออดิเนเตอร์สำหรับเชื่อมโยงกับโนดเราท์เตอร์ตัวอื่น ๆ และยังทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลที่รับมาจากเซนเซอร์ที่โนดเราท์เตอร์เพื่อส่งข้อมูลต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ส่วนกลาง ซึ่งจะส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในรูปแบบของข้อมูลแพ็คเกจ GPRS (General packet radio service) โดยมีความเร็วสูงสุด 60 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเฝ้าระวังเหตุการณ์จากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว รูปที่ 3.12 แสดงเชื่อมต่อโมดูล GSM เข้ากับบอร์ด Waijung และเมื่อนำอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้ทั้งหมดเชื่อมต่อเพื่อทำงานร่วมกันก็จะได้ต้นแบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย



รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อโมดูล GSM เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3 การติดตั้งเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในพื้นที่การปลูกมันสำปะหลัง ในบริเวณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อตรวจวัดค่าสถานะแวดล้อมในแปลงปลูกมันสำปะหลัง ได้แก่ ค่าความชื้นในดิน ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ค่าอุณหภูมิและความเข้มแสง ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งไปยังโนดประมวลผลหลัก เพื่อบันทึกผลการตรวจวัดสำหรับใช้ในการออกแบบระบบควบคุมการจ่ายน้ำตามสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตรกรรมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีซี รูปภาพของกล่องอุปกรณ์เซนเซอร์โนดและเซนเซอร์หลักที่ใช้ในการวัดความชื้นในดิน EC-5 แสดงในรูปที่ 3.13 และภาพการติดตั้งเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแสดงในรูปที่ 3.14



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 (ก) กล่องอุปกรณ์เซนเซอร์โนด (ข) เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน EC-5



รูปที่ 3.14 การติดตั้งโนดเซนเซอร์เพื่อเก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงปลูกมันสำปะหลัง

3.4 ผลการทดสอบการทำงานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม โดยในการสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้น ผู้วิจัยนี้ได้เลือกใช้การเชื่อมต่อระหว่างหน่วยย่อยของการตรวจวัดที่จุดต่าง ๆ ในพื้นที่เกษตรกรรมด้วยการสื่อสารแบบไร้สายผ่านโมดูล ZigBee ทำงานที่ย่านความถี่ 2.4 GHz และมีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยโมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

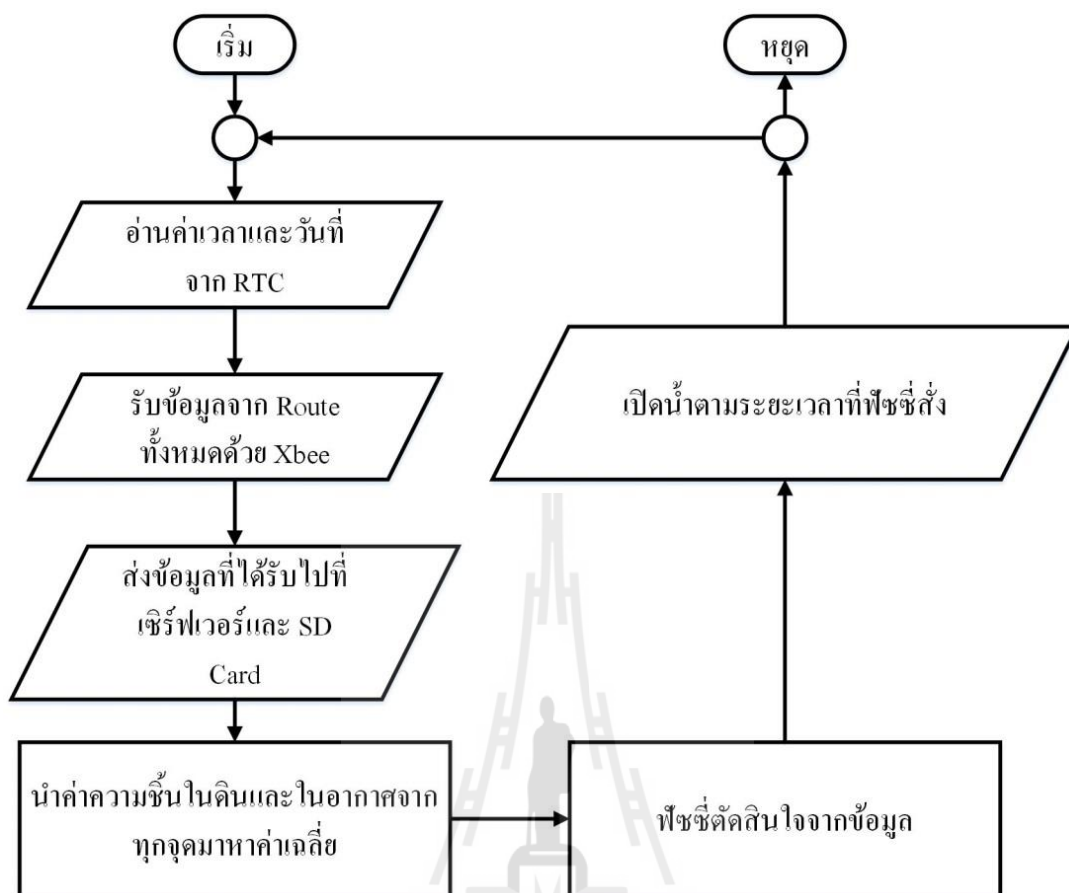
ในการตรวจวัดค่าสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตรกรรมด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้น นอกจากจะสามารถตรวจวัดและแสดงผลในพื้นที่ของการตรวจวัดโดยตรงแล้ว ระบบที่ออกแบบขึ้นยังสามารถแสดงผลการตรวจวัดบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามเพื่อป้องกันปัญหาอันเกิดจากความไม่แน่นอนของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งผู้วิจัยใช้ในการเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตกับเซิร์ฟเวอร์ ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการสำรองข้อมูลลงในอุปกรณ์บันทึกข้อมูลแบบ SD-Card ที่ติดตั้งอยู่ที่โน้ตบุ๊คคอมพิวเตอร์เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูล และในขณะเดียวกันก็จะทำการส่งข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์ด้วยโมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยระบุปลายทางไปที่เซิร์ฟเวอร์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งผลการทดลองพบว่าข้อมูลทั้ง 2 ส่วนมีความถูกต้องและตรงกันทุกประการ ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติต่อไป

3.5 แบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ

3.5.1 การออกแบบระบบเบื้องต้น

ในการสร้างแบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ ผู้วิจัยเลือกใช้ระบบควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy controller) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ที่ติดตั้งในบริเวณแปลงเกษตรกรรมมาเป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการให้น้ำแก่พืช โดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินเป็นหลักเนื่องจากมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดินมากที่สุด ขณะเดียวกันก็ใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและค่าอุณหภูมิในอากาศซึ่งมีความสัมพันธ์กับการคายน้ำของพืช ในการออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ ผู้วิจัยได้สร้างอัลกอริทึมสำหรับการติดตั้งดังรูปที่ 3.15

การทำงานของระบบควบคุมการให้น้ำดังกล่าวจะเริ่มต้นด้วยการอ่านค่าเวลาและวันที่จากโมดูล Real Time Clock จากนั้น Coordinator จะรับข้อมูลที่ส่งจาก Router ทั้ง 4 โหนดผ่านทาง Zigbee เพื่อนำค่าความชื้นในอากาศและความชื้นในดินมาคำนวณค่าเฉลี่ย จากนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปเป็นอินพุตให้กับฟัซซี จากนั้นตัวควบคุมแบบฟัซซีจะประมวลผลและให้เอาต์พุตออกมาเป็นค่าระยะเวลาในการเปิด-ปิดน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณเป็นปริมาณน้ำที่จ่ายให้ไร่มันสำปะหลังได้ดังนี้



รูปที่ 3.15 การทำงานของระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ

1.) คำนวณจำนวนหัวน้ำหยดในแปลงทดลองขนาด 93.6 เมตร \times 3.6 เมตร ดังนี้
 ปลูกมัน 1 แถวความยาว 93.6 เมตร ระยะห่างของหัวน้ำหยดเท่ากับ 30 เซนติเมตร ดังนั้นจำนวนหัวน้ำหยดต่อ 1 แถวจะเท่ากับ $\frac{9,360}{30} = 312$ หัวน้ำหยด

2.) ในพื้นที่การทดลองมีการปลูกมันทั้งหมด 4 แถว ซึ่งจะมีจำนวนของหัวน้ำหยดเท่ากับ $312 \times 4 = 1,248$ หัวน้ำหยด

3.) หัวน้ำหยดแต่ละหัว มีอัตราการจ่ายน้ำต่อ 1 หัวน้ำหยดเท่ากับ 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง ดังนั้นอัตราการใช้น้ำเท่ากับ $1,248 \times 2.5 = 3,120$ ลิตรต่อชั่วโมง

ซึ่งจากการคำนวณดังกล่าวสามารถสรุปอัตราปริมาณให้น้ำต่อระยะเวลาการเปิดปั๊มได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากการให้น้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

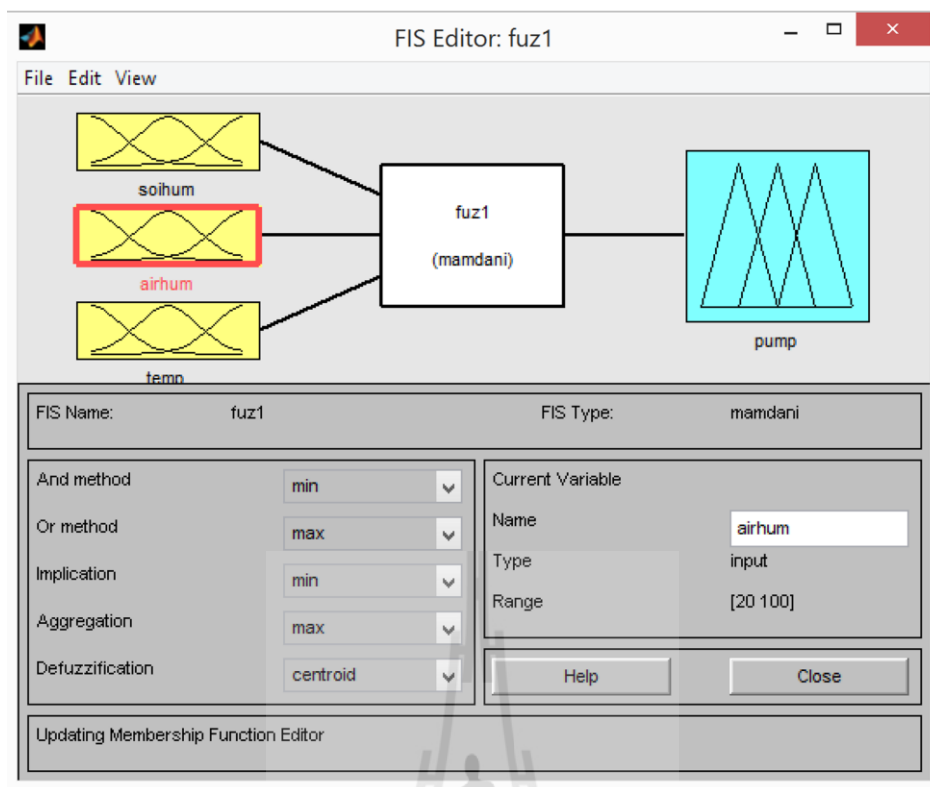
เวลาในการให้น้ำ (นาท)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)
1	52
5	260
10	520
30	1,560
60	3,120

3.5.2 แบบจำลองระบบการควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี

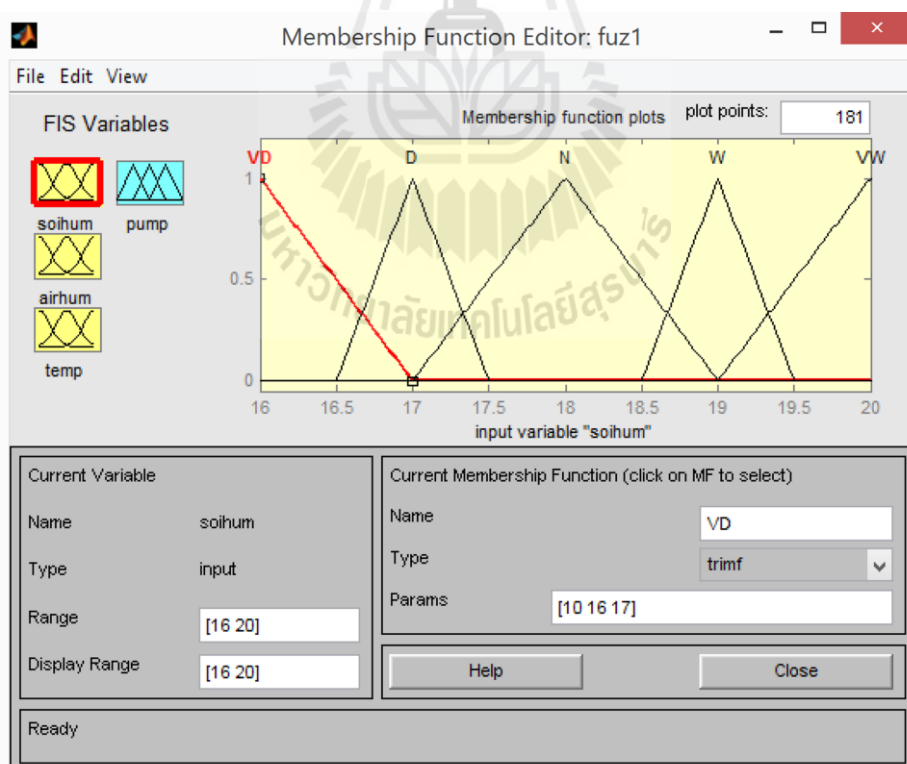
ในการออกแบบระบบควบคุมด้วยฟัซซีผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Matlab Simulink ในการออกแบบ เนื่องจากสามารถใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Stm32f4 discovery ได้ง่าย โดยแบ่งการออกเป็นการใช้ 3 อินพุต และ 2 อินพุต ซึ่งมีการกำหนดฐานกฎของฟัซซีที่แตกต่างกัน โดยมีการพิจารณาข้อมูลในอดีตเพื่อแบ่งระดับของค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละเซตของอินพุตต่างกัันดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ทำการออกแบบระบบโดยใช้อินพุตจากเซนเซอร์จำนวน 3 อินพุต ซึ่งประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยของความชื้นในดิน ค่าเฉลี่ยของความชื้นในอากาศ และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.16 เนื่องจากผู้วิจัยได้พิจารณาว่าความชื้นในอากาศมีผลต่ออัตราการคายน้ำของใบพืชซึ่งแปรผันกับการดูดซึมน้ำจากดิน ส่วนอุณหภูมินั้นมีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำในดิน โดยมีการตั้งค่าความเป็นสมาชิกในฟังก์ชันของแต่ละอินพุตดังนี้

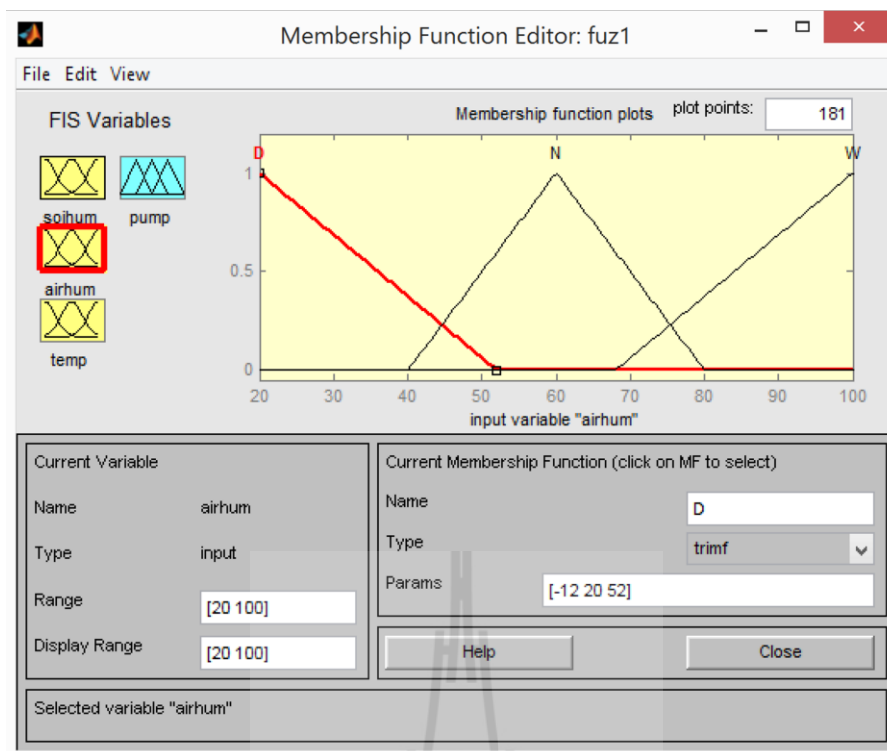
ในการกำหนดฐานกฎของฟัซซี ได้ทำการแบ่งค่าความชื้นในดินออกเป็น 5 ระดับคือ แห้งมาก (VD) แห้ง (D) ปกติ (N) ชื้น (W) และชื้นมาก (VW) แสดงดังรูปที่ 3.17 ความชื้นในอากาศ แบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ แห้ง (D) ปกติ (N) และชื้น (W) แสดงดังรูปที่ 3.18 และอุณหภูมิ แบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ร้อน (H) ปกติ (N) และเย็น (C) แสดงดังรูปที่ 3.12 ส่วนเอาต์พุตมีเพียง 1 เอาต์พุต คือระยะเวลาในการเปิดปั๊มน้ำซึ่งสามารถแปลงเป็นปริมาณน้ำได้ตามตารางที่ 3.1 โดย แบ่งออกเป็น 5 ระดับคือ ไม่เปิดน้ำ (no) เปิดน้ำเบา (L) เปิดน้ำปานกลาง (N) เปิดน้ำแรง (H) เปิดน้ำแรงมาก (VH) ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.19



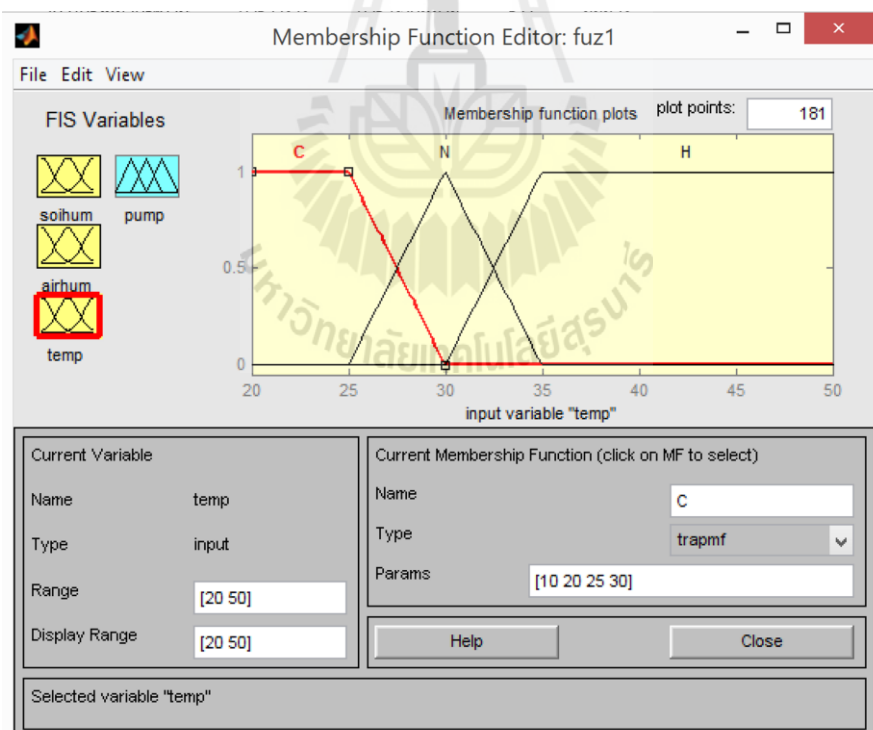
รูปที่ 3.16 ระบบควบคุมด้วยฟัซซีโดยใช้ 3 อินพุต



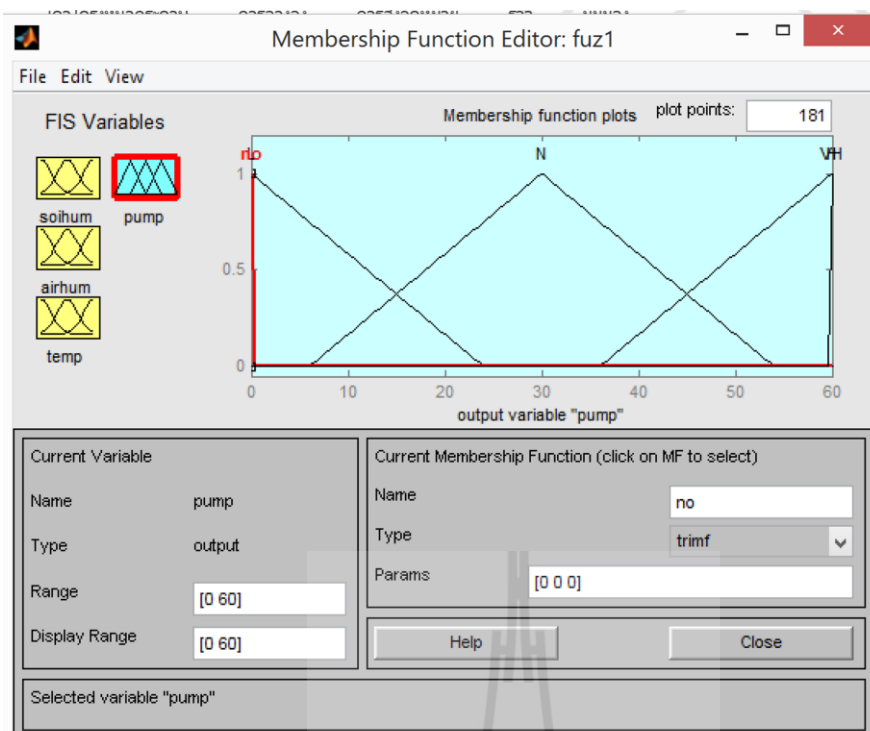
รูปที่ 3.17 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตความชื้นในดิน



รูปที่ 3.18 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตความชื้นในอากาศ



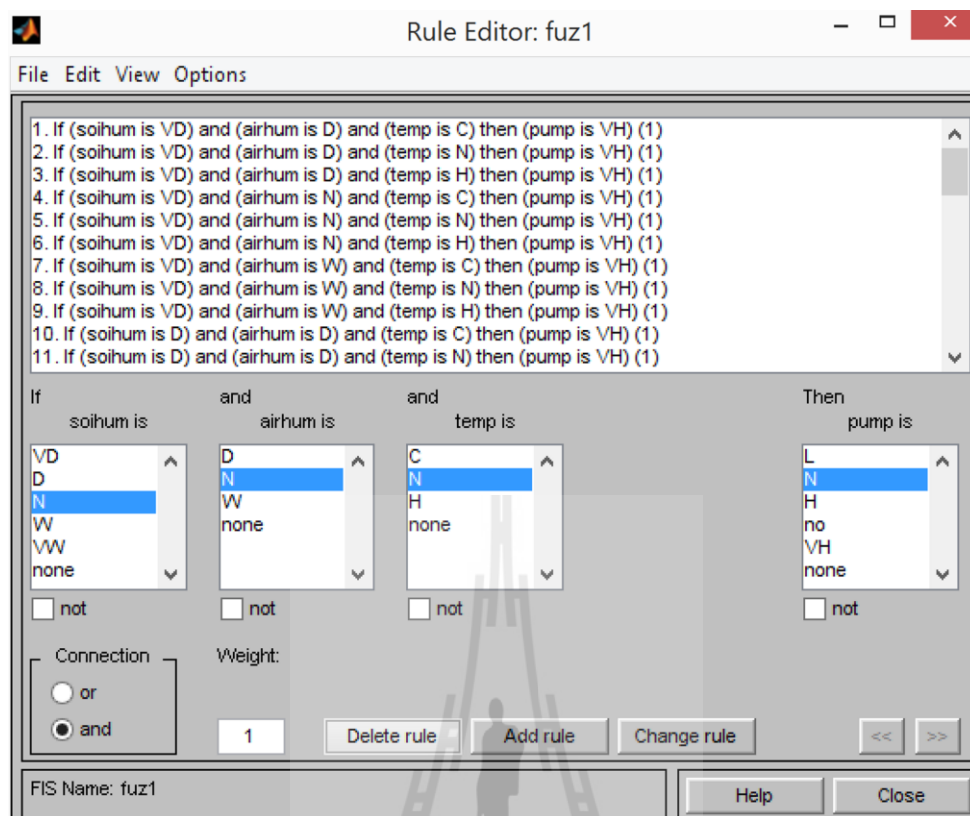
รูปที่ 3.19 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตอุณหภูมิ



รูปที่ 3.20 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุต

สำหรับฐานกฎในการตัดสินใจของตัวควบคุมแบบฟัซซีถูกออกแบบโดยใช้ทุกกรณีที่สามารถเป็นไปได้ ซึ่งมีทั้งหมด 45 แบบ ดังนี้

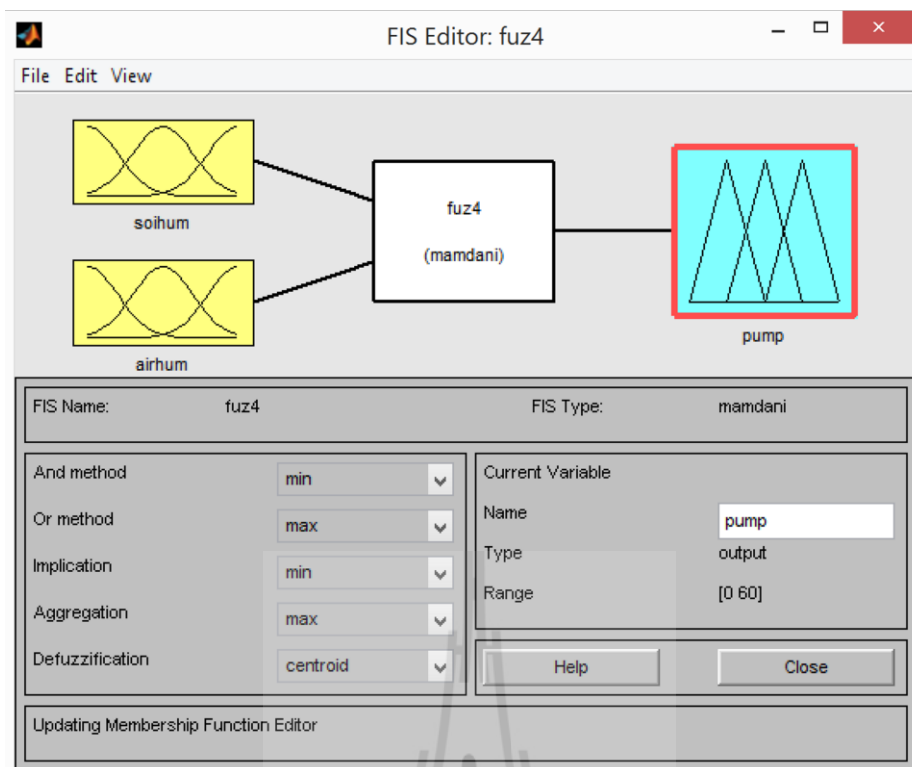
ข้อที่ 1	ถ้าความชื้นในดินแห้งมาก และความชื้นในอากาศแห้งอากาศ และร้อน	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 2	ถ้าความชื้นในดินแห้งมาก และความชื้นในอากาศแห้ง และอากาศปกติ	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 3	ถ้าความชื้นในดินแห้งมาก และความชื้นในอากาศแห้ง และอากาศเย็น	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 4	ถ้าความชื้นในดินแห้งมาก และความชื้นในอากาศปกติ และอากาศร้อน	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 5	ถ้าความชื้นในดินแห้งมาก และความชื้นในอากาศปกติ และอากาศปกติ	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 6	ถ้าความชื้นในดินแห้งมาก และความชื้นในอากาศปกติ และอากาศเย็น	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 7	ถ้าความชื้นในดินแห้งมาก และความชื้นในอากาศชื้น และอากาศร้อน	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 8	ถ้าความชื้นในดินแห้งมาก และความชื้นในอากาศชื้น และอากาศปกติ	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 9	ถ้าความชื้นในดินแห้งมาก และความชื้นในอากาศชื้น และอากาศเย็น	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 10	ถ้าความชื้นในดินแห้ง และความชื้นในอากาศแห้ง และอากาศร้อน	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 11	ถ้าความชื้นในดินแห้ง และความชื้นในอากาศแห้ง และอากาศปกติ	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 12	ถ้าความชื้นในดินแห้ง และความชื้นในอากาศแห้ง และอากาศเย็น	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 13	ถ้าความชื้นในดินแห้ง และความชื้นในอากาศปกติ และอากาศร้อน	เปิดน้ำแรง
ข้อที่ 14	ถ้าความชื้นในดินแห้ง และความชื้นในอากาศปกติ และอากาศปกติ	เปิดน้ำแรงมาก
ข้อที่ 15	ถ้าความชื้นในดินแห้ง และความชื้นในอากาศปกติ และอากาศเย็น	เปิดน้ำแรงมาก



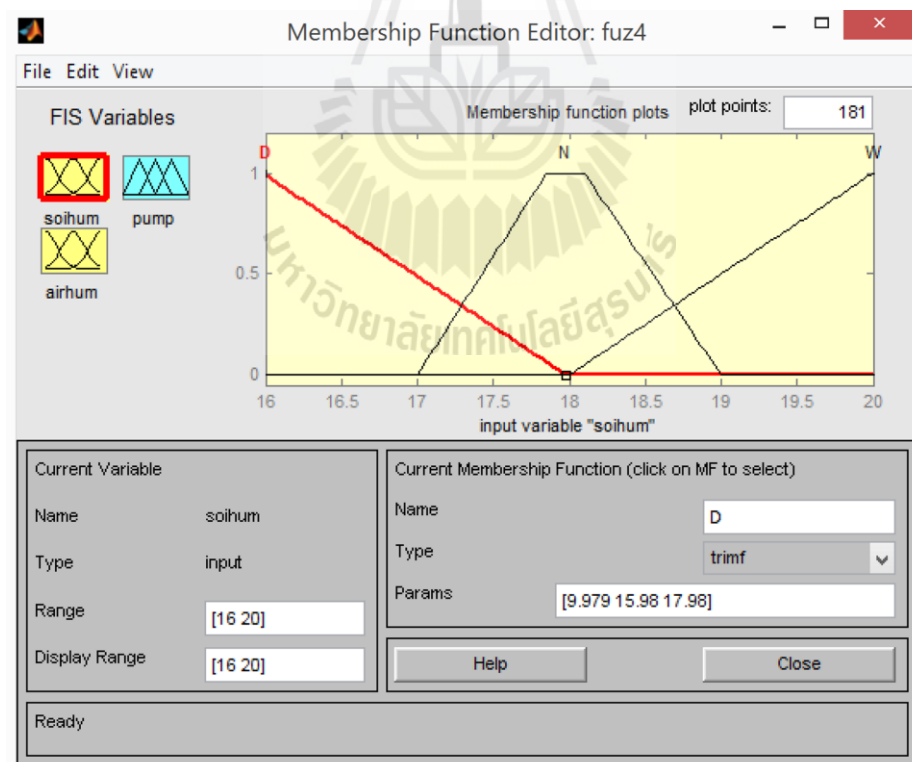
รูปที่ 3.21 ฐานกฎสำหรับการตัดสินใจของฟัซซี

กรณีที่ 2 ผู้วิจัยได้ตรวจสอบการทำงานในกรณีที่ 1 ทั้งในส่วนของระบบสมองฝังตัวและการตอบสนองต่อเงื่อนไขหรือฐานกฎในการตัดสินใจของระบบควบคุมแบบฟัซซีพบว่า การทำงานและการตอบสนองของระบบค่อนข้างช้าเนื่องจากจำนวนของฐานกฎมีมากเกินไป ผู้วิจัยจึงได้ปรึกษานักวิชาการทางการเกษตรและได้รับคำแนะนำให้ทำการปรับลดจำนวนอินพุตและปรับลดฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ไม่จำเป็นออกไปเพื่อให้ฐานกฎมีจำนวนลดน้อยลงส่งผลให้โปรแกรมประมวลผลสามารถทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากตัวประมวลผลที่จะใช้ในระบบควบคุมจริงนั้นเป็นระบบสมองฝังตัวซึ่งมีจำกัดในด้านของความสามารถในการประมวลผลรวมถึงทรัพยากรต่างๆในระบบ ดังนั้นในกรณีที่ 2 นี้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบโดยใช้อินพุตจากเซนเซอร์จำนวน 2 อินพุต ซึ่งประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยของความชื้นในดิน และค่าเฉลี่ยของความชื้นในอากาศ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.22

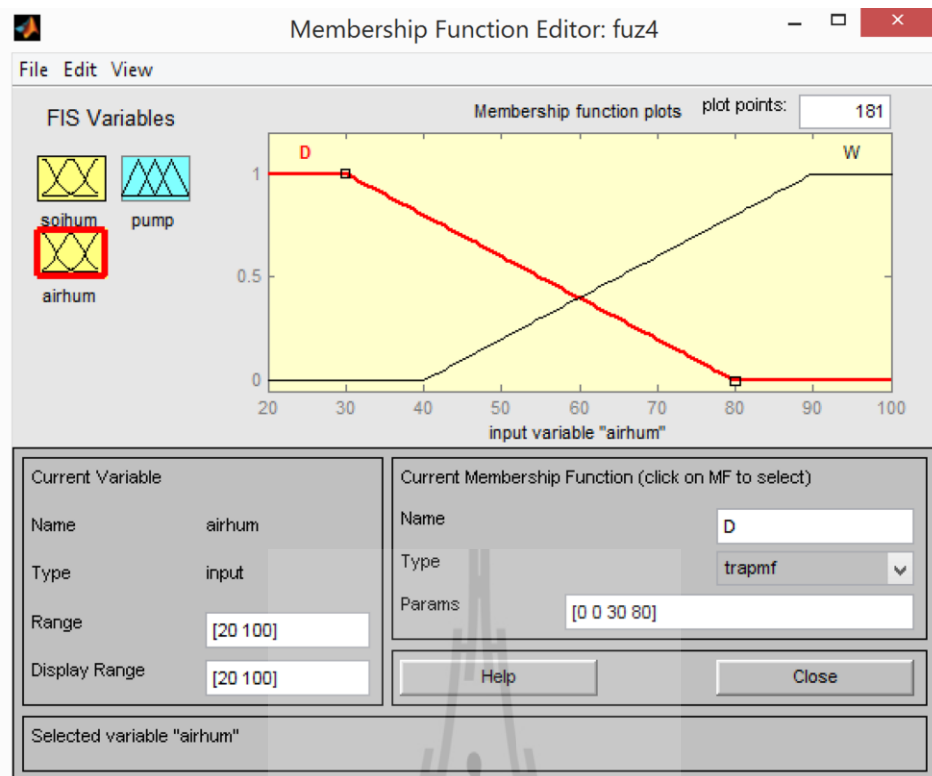
ในการกำหนดฐานกฎของฟัซซี ได้ทำการแบ่งค่าความชื้นในดินออกเป็น 3 ระดับคือ แห้ง (D) ปกติ (N) และชื้น (W) แสดงดังรูปที่ 3.23 ความชื้นในอากาศ ลดลงเหลือ 2 ระดับคือ แห้ง (D) และ ชื้น (W) แสดงดังรูปที่ 3.24 ส่วนเอาต์พุตลดลงเหลือ 3 ระดับคือ ไม่เปิดน้ำ (no) เปิดน้ำเบา (L) และเปิดน้ำแรง (H) แสดงดังรูปที่ 3.25



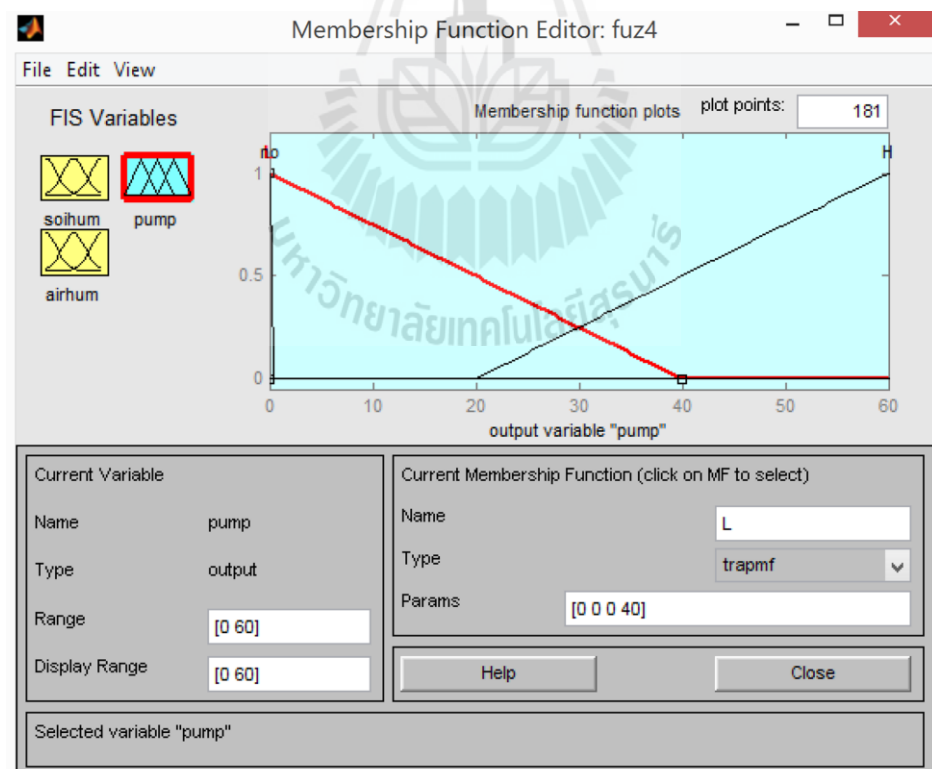
รูปที่ 3.22 ระบบควบคุมด้วยฟัซซีโดยใช้ 2 อินพุต



รูปที่ 3.23 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตความชื้นในดิน



รูปที่ 3.24 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตความชื้นในอากาศ

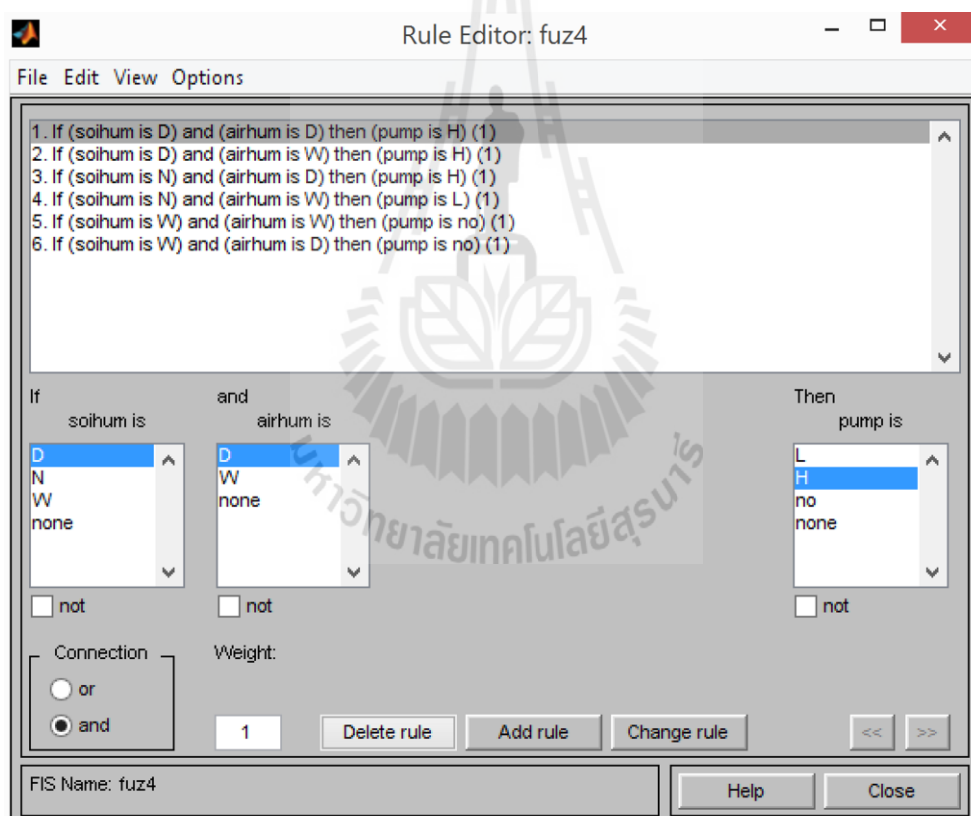


รูปที่ 3.25 ค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุต

สำหรับฐานกฎในการตัดสินใจของตัวควบคุมแบบฟัซซี ถูกออกแบบให้มีจำนวนลดลงเหลือเพียง 6 ข้อ โดยผู้วิจัยได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญในการปลุกมันสำปะหลังและนักวิชาการทางการเกษตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังนี้

ข้อที่ 1	ความชื้นในดินแห้ง และความชื้นในอากาศแห้ง	เปิดน้ำแรง
ข้อที่ 2	ความชื้นในดินแห้ง และความชื้นในอากาศชื้น	เปิดน้ำแรง
ข้อที่ 3	ความชื้นในดินปกติ และความชื้นในอากาศแห้ง	เปิดน้ำแรง
ข้อที่ 4	ความชื้นในดินปกติ และความชื้นในอากาศชื้น	เปิดน้ำเบา
ข้อที่ 5	ความชื้นในดินชื้น และความชื้นในอากาศแห้ง	ไม่เปิดน้ำ
ข้อที่ 6	ความชื้นในดินชื้น และความชื้นในอากาศชื้น	ไม่เปิดน้ำ

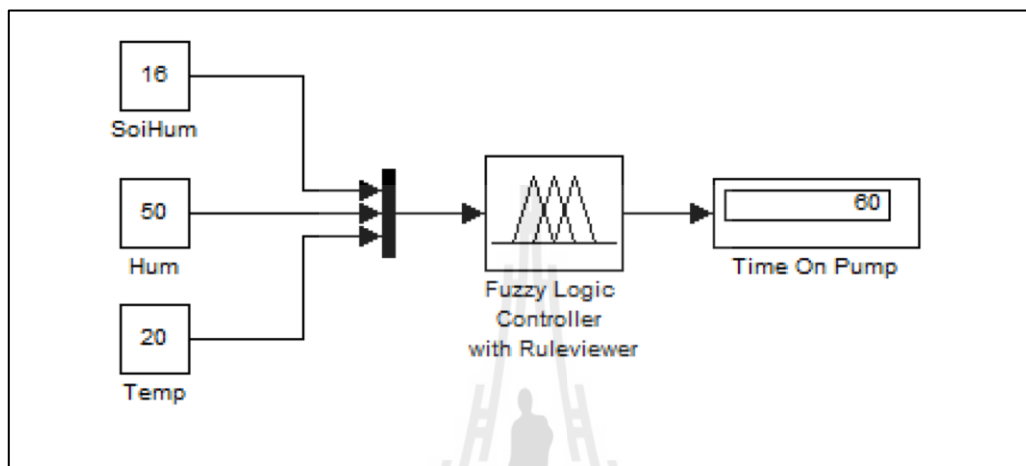
จากฐานกฎในการตัดสินใจของตัวควบคุมแบบฟัซซีดังกล่าว นำมาทำการออกแบบโปรแกรมดังรูปที่ 3.26



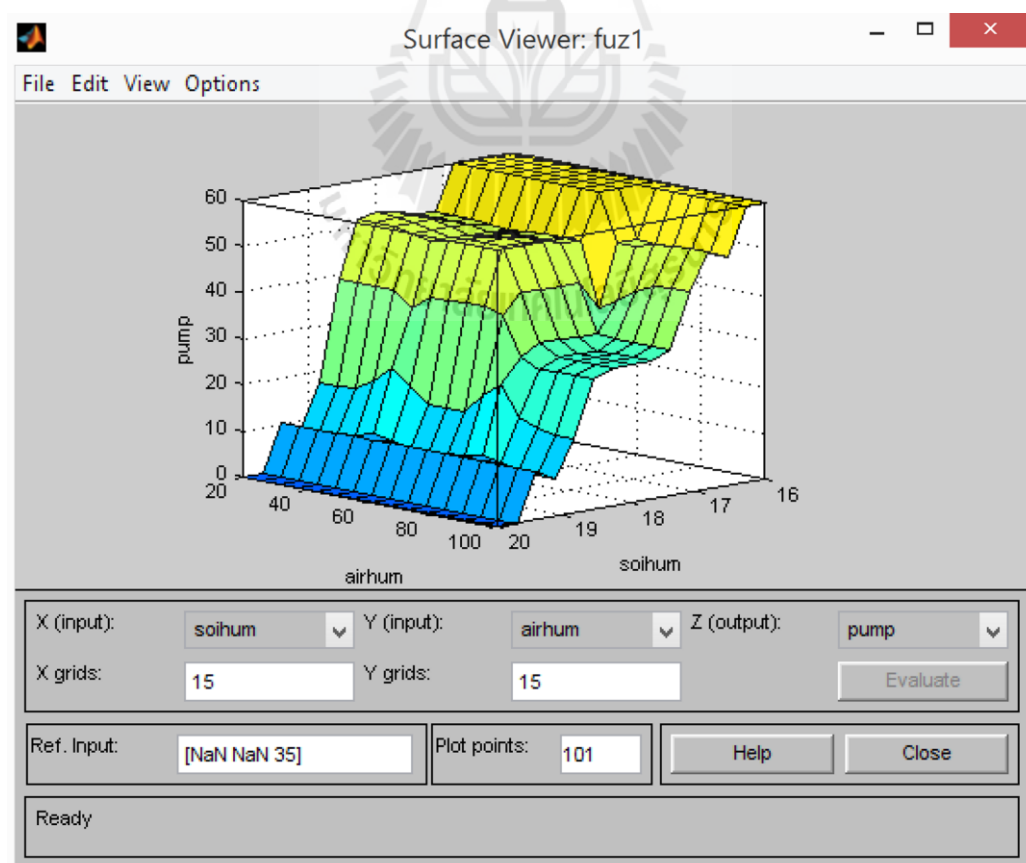
รูปที่ 3.26 ฐานกฎสำหรับการตัดสินใจของฟัซซี

3.6 ผลการจำลองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ

ในส่วนนี้จะเป็นการนำระบบควบคุมด้วยฟัซซีที่ผู้วิจัยได้ออกแบบขึ้นทั้ง 2 แบบมาทำการจำลองเขียนโปรแกรมใน Matlab Simulink และทดลองกำหนดค่าของอินพุตในกรณีต่าง ๆ เพื่อสังเกตค่าเอาต์พุตที่ได้จากการตัดสินใจของฟัซซีว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ ก่อนที่จะนำระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติดังกล่าวไปทดสอบ ปรับปรุงระบบและพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นก่อนนำไปใช้งานจริงต่อไป การจำลองระบบดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3.27 และเงื่อนไขของฐานกฎแบบสามมิติได้แสดงดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.27 ทดสอบระบบควบคุมด้วยฟัซซี 3 อินพุต



รูปที่ 3.28 เงื่อนไขของฐานกฎแบบสามมิติของระบบ 3 อินพุต

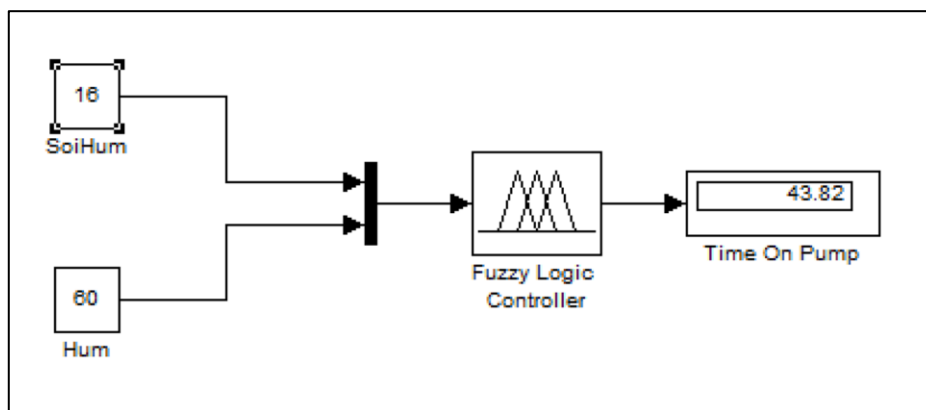
ผลการทดสอบระบบควบคุมแบบฟuzzyที่ใช้อินพุตจำนวน 3 อินพุตซึ่งเป็นกรณีที่ 1 ผู้วิจัยได้กำหนดค่าอินพุตที่แตกต่างกันเพื่อสังเกตผลลัพธ์ในหลากหลายกรณีที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ผลการทดลองระบบควบคุมด้วยฟuzzy 3 อินพุตในกรณีต่าง ๆ

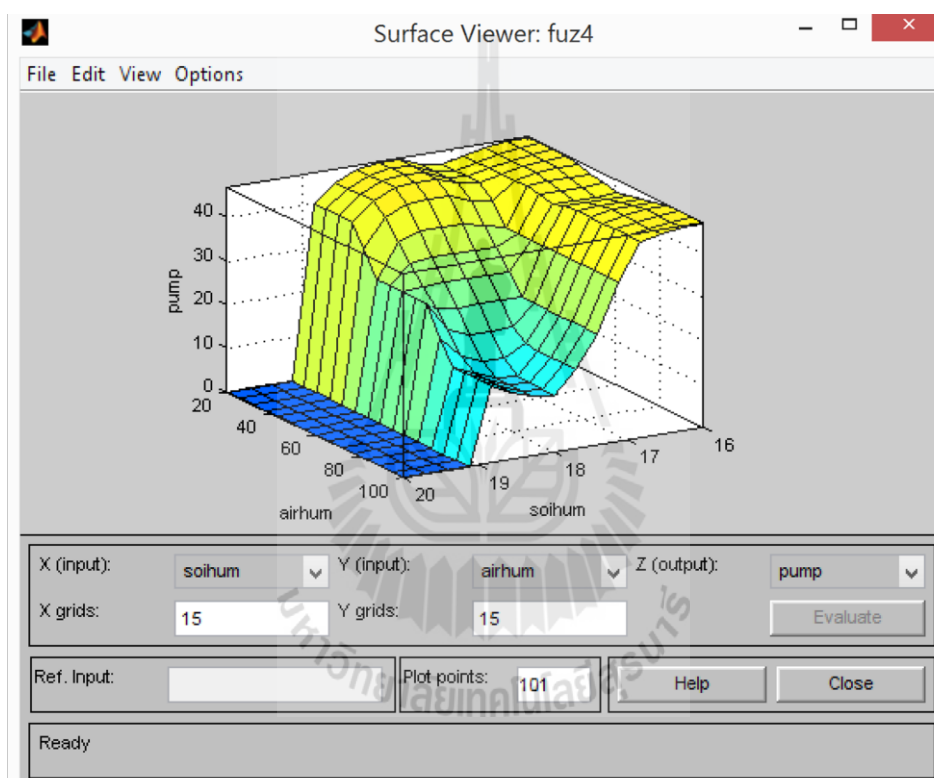
กรณีที่	ความชื้นในดิน (%)	ความชื้นในอากาศ (%)	อุณหภูมิ (องศา C)	ระยะเวลาเปิดน้ำ (นาท)
1	16 (แห้งมาก)	60 (ปกติ)	30 (ปกติ)	60
2	17 (แห้ง)	60 (ปกติ)	30 (ปกติ)	60
3	18 (ปกติ)	60 (ปกติ)	30 (ปกติ)	30
4	19 (ชื้น)	60(ปกติ)	30 (ปกติ)	7
5	20 (ชื้นมาก)	60 (ปกติ)	30 (ปกติ)	0
6	18 (ปกติ)	30 (แห้ง)	30 (ปกติ)	30
7	18 (ปกติ)	80 (ชื้น)	30 (ปกติ)	30
8	18 (ปกติ)	60 (ปกติ)	35 (ร้อน)	52.2
9	18 (ปกติ)	60 (ปกติ)	25 (เย็น)	30

จากผลการทดลองในตารางที่ 3.5 จะเห็นว่า ในกรณีที่ความชื้นในดินแห้งมากหรือแห้ง ระบบจะเปิดปั้มน้ำแรงที่สุดโดยไม่สนใจเงื่อนไขอื่น ส่วนในกรณีที่ดินมีความชื้นระบบก็จะเปิดน้ำเบาถึงไม่เปิดเลย ซึ่งเป็นไปตามที่ต้องการ แต่จากผลในตารางที่ 3.5 จะเห็นว่าเมื่ออินพุตที่เหลือเปลี่ยนไปยังส่งผลทำให้ระบบผิดพลาด เช่นอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5 องศา แต่เปิดน้ำเพิ่มขึ้นถึง 22.2 นาท ซึ่งในความเป็นจริงแล้วค่าอุณหภูมิไม่ควรส่งผลต่อความชื้นมากนัก ความผิดพลาดนี้อาจเกิดจากการออกแบบความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของอินพุต หรือฐานกฎของฟuzzy

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองระบบควบคุมด้วยฟuzzyแบบ 2 อินพุตหรือกรณีที่ 2 ซึ่งทำการออกแบบเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการประมวลผลและลดการใช้ทรัพยากรในระบบ ขณะเดียวกันก็มีการปรับแก้เงื่อนไขให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ขั้นตอนในการทดลองจะเป็นลักษณะที่ใกล้เคียงกับการทดลองของระบบฟuzzyที่มี 3 อินพุตโดยทำการทดลองด้วย Matlab Simulink ดังรูปที่ 3.29 และแสดงเงื่อนไขของฐานกฎสามมิติได้ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.29 ทดสอบระบบควบคุมด้วยฟัซซี่ 2 อินพุต



รูปที่ 3.30 เงื่อนไขของฐานกฎแบบสามมิติของระบบ 2 อินพุต

ผลการทดสอบระบบควบคุมแบบพีซีที่ใช้อินพุตจำนวน 2 อินพุตซึ่งเป็นกรณีที่ 1 ผู้วิจัยได้กำหนดค่าอินพุตที่แตกต่างกันเพื่อสังเกตผลลัพธ์ในหลากหลายกรณีที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ผลการทดลองระบบควบคุมด้วยพีซี 2 อินพุตในกรณีต่าง ๆ

กรณีที่	ความชื้นในดิน (%)	ความชื้นในอากาศ (%)	ระยะเวลาเปิดน้ำ (นาที)
1	16 (แห้ง)	60 (ปกติ)	43.82
2	17 (ปกติ)	60 (ปกติ)	43.82
3	17.5 (ปกติ)	60 (ปกติ)	30
4	18 (ปกติ)	60 (ปกติ)	30
5	19 (ชื้น)	60 (ปกติ)	0
6	18 (ปกติ)	50 (แห้ง)	37.88
7	18 (ปกติ)	70 (ชื้น)	22.12

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 3.6 จะเห็นว่า ในกรณีที่ความชื้นในดินแห้งระบบจะเปิดปั๊มน้ำแรงที่สุดโดยไม่สนใจเงื่อนไขอื่น และในกรณีที่ความชื้นในดินสูงระบบก็จะปิดปั๊มน้ำเช่นกัน แต่ในกรณีที่ความชื้นในดินปานกลาง ระบบจะพิจารณาค่าความชื้นในอากาศด้วยซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่ผู้วิจัยต้องการ

3.7 สรุป

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุมการทำงานทั้งหมด และในโครงสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้น มีองค์ประกอบหลักคือโนดโคออร์ดิเนเตอร์และโนดเรพอร์ทเตอร์ โดยแต่ละโนดสามารถเชื่อมต่อแบบไร้สายด้วยโมดูล ZigBee ทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz และมีการสร้างเครือข่ายไร้สายแบบเมช เนื่องจากเครือข่ายไร้สายแบบเมชนั้นอุปกรณ์ที่เป็นโนดเรพอร์ทเตอร์สามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้โดยตรงหรือจะสื่อสารผ่านโนดโคออร์ดิเนเตอร์ก็ได้ และถ้าหากโนดเรพอร์ทเตอร์ไม่สามารถติดต่อผ่านกันได้โดยตรงก็ยังสามารถส่งข้อมูลผ่านอีกเส้นทางหนึ่งเพื่อเชื่อมโยงไปยังโนดที่ต้องการสื่อสารได้ ซึ่งการเชื่อมต่อลักษณะนี้สามารถป้องกันข้อผิดพลาดในการสื่อสารของระบบได้เป็นอย่างดี

ในการออกแบบระบบควบคุมด้วยสมองกลฝังตัว ผู้วิจัยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32TM ARM 32-bits CortexTM M3 ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม MATLAB Simulink ได้เป็นอย่างดี โดย

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้นจะประกอบด้วยโนดเรดาห์เตอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดค่าสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ในแปลงเพาะปลูก โนดเรดาห์เตอร์เหล่านี้จะถูกติดตั้งที่จุดตรวจวัดต่าง ๆ ในบริเวณแปลงเพาะปลูก จากนั้นจะส่งผลการตรวจวัดทั้งหมดผ่านเครือข่ายสื่อสารแบบไร้สายมาให้กับโนดโคออร์ดิเนเตอร์ ซึ่งเป็นโนดหลักที่ทำหน้าที่ในการรวบรวมข้อมูลและประมวลผลเพื่อทำการตัดสินใจในการจ่ายน้ำให้แก่พืช นอกจากนี้โนดโคออร์ดิเนเตอร์ดังกล่าวยังทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์เพื่อการตรวจสอบและรายงานผลอีกด้วย และในการตัดสินใจเปิด-ปิดปั๊มน้ำ

ผู้วิจัยยังได้ออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี โดยได้ทำการออกแบบทั้งหมด 2 ระบบคือ ระบบควบคุมที่มี 3 อินพุตและ 2 อินพุตตามลำดับ จากการทดสอบและการจำลองผลเบื้องต้นโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดค่าสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ และการบันทึกข้อมูลของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ติดตั้งในบริเวณแปลงมันสำปะหลังของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีพบว่า การสร้างระบบควบคุมแบบฟัซซีที่มี 3 อินพุตทำให้ระบบมีการทำงานที่ซับซ้อนโดยมีเงื่อนไขถึง 45 ฐานกฎซึ่งทำให้ยากต่อการออกแบบและทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรต่าง ๆ ในระบบ ส่วนระบบควบคุมแบบฟัซซีที่มี 2 อินพุตนั้นสามารถออกแบบได้ง่ายกว่าและระบบมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน และให้ผลการควบคุมที่แม่นยำในลักษณะที่เพียงพอต่อการใช้งาน อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่สร้างขึ้นดังกล่าวนี้นี้จะต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นก่อนนำไปประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป



บทที่ 4

สรุป

4.1 สรุป

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอ การประยุกต์ใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ในการออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติร่วมกับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ผู้วิจัยได้เลือกใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีสำหรับทำหน้าที่ในการตัดสินใจแทนผู้เชี่ยวชาญในการจ่ายน้ำในระบบชลประทานไร่มั่นสำปะหลัง โดยในรายงานฉบับนี้ได้นำเสนอที่มาและความสำคัญของปัญหา การออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย รวมถึงการนำเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ ผู้วิจัยยังได้จำลองการทำงานของระบบควบคุมดังกล่าวโดยใช้ Fuzzy Tools box ในโปรแกรม MATLAB Simulink สำหรับทดสอบและการจำลองผลการทำงานโดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

4.1.1 การออกแบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม ในการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนั้นผู้วิจัยได้เลือกใช้การเชื่อมต่อแบบไร้สายผ่านโมดูล ZigBee ย่านความถี่ 2.4 GHz ด้วยการสร้างเครือข่ายไร้สายแบบเมช (Mesh network) เนื่องจากอุปกรณ์ที่เป็นโนดเราท์เตอร์ (Router) ซึ่งเป็นโนดย่อยในการตรวจวัดค่าต่าง ๆ สามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้โดยตรงหรือจะสื่อสารผ่านโนดโคออร์ดิเนเตอร์ (Coordinator) หรือโนดหลักก็ได้ และถ้าหากโนดเราท์เตอร์ไม่สามารถติดต่อผ่านกันได้โดยตรงก็ยังสามารถส่งข้อมูลผ่านอีกเส้นทางหนึ่งเพื่อเชื่อมโยงผ่านไปยังโนดที่ต้องการสื่อสารได้ ซึ่งการเชื่อมต่อลักษณะนี้สามารถป้องกันข้อผิดพลาดในการสื่อสารของระบบได้เป็นอย่างดี องค์ประกอบหลักของเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายที่ออกแบบขึ้นมีดังนี้

1.) **โนดโคออร์ดิเนเตอร์** ทำหน้าที่ในการรวบรวมข้อมูลที่และทำการประมวลผลเพื่อประกอบการตัดสินใจในการให้น้ำแก่พืช นอกจากนี้โนดโคออร์ดิเนเตอร์ยังทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์เพื่อการตรวจสอบและรายงานผล อย่างไรก็ตาม เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการสำรองข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดทั้งหมดลงในอุปกรณ์หน่วยความจำแบบ SD Card ซึ่งจะบันทึกข้อมูลการตรวจวัดพร้อมทั้งเวลาที่ทำการตรวจวัดเพื่อใช้ตรวจสอบในกรณีที่การส่งข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์มีปัญหาหรือมีข้อขัดข้องใด ๆ เกิดขึ้น

ในส่วนของการส่งค่าจากการตรวจวัดเข้าฐานข้อมูลซึ่งอยู่บนเว็บเซิร์ฟเวอร์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีนั้น ผู้วิจัยได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมโดยประยุกต์ใช้โมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (GSM Module) ในการสร้างเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ดังกล่าว และใช้ภาษา PHP ในการเขียนโปรแกรมเพื่อรับค่าจากโนดโคออร์ดิเนเตอร์แล้วส่งข้อมูลที่เข้าฐานข้อมูลการวิจัยต่อไป

2.) **โนดเรทเตอร์** เป็นโนดตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่ที่ในบริเวณแปลงเพาะปลูกโดยตรง ทำหน้าที่ในการอ่านค่าสัญญาณการตรวจวัดจากเซนเซอร์แบบต่าง ๆ เช่น เซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน เซนเซอร์วัดค่าความชื้นในอากาศ เซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสง เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ เพื่อรวบรวมส่งผ่านเครือข่ายสื่อสารแบบไร้สายมายังโนดโคออร์ดิเนเตอร์สำหรับการประมวลผลต่อไป

4.1.2. การสร้างแบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ

เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นตัวประมวลผลหลักของโนดโคออร์ดิเนเตอร์มีประสิทธิภาพและมีทรัพยากรที่มากเพียงพอสำหรับการประมวลผลสัญญาณรวมถึงการควบคุมและการส่งการตั้งในด้านของการติดต่อสื่อสารกับโนดย่อยต่าง ๆ และการทำงานในด้านอื่น ๆ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบให้โนดโคออร์ดิเนเตอร์ดังกล่าวสามารถทำการควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติได้อีกด้วย ซึ่งการออกแบบระบบในรูปแบบดังกล่าวสามารถลดระยะเวลาในการสร้างฮาร์ดแวร์และยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย

ในการออกแบบระบบควบคุมด้วยสมองกลฝังตัว ผู้วิจัยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32TM ARM 32-bits CortexTM M3 ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม MATLAB Simulink ได้เป็นอย่างดี โดยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้นจะประกอบด้วยโนดเรทเตอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดค่าสถานะแวดล้อมต่าง ๆ ในแปลงเพาะปลูก โนดเรทเตอร์เหล่านี้จะถูกติดตั้งที่จุดตรวจวัดต่าง ๆ ในบริเวณแปลงเพาะปลูก จากนั้นจะส่งผลการตรวจวัดทั้งหมดผ่านเครือข่ายสื่อสารแบบไร้สายมาให้กับโนดโคออร์ดิเนเตอร์ ซึ่งเป็นโนดหลักที่ทำหน้าที่ในการรวบรวมข้อมูลและประมวลผลเพื่อทำการตัดสินใจในการจ่ายน้ำให้แก่พืช นอกจากนี้โนดโคออร์ดิเนเตอร์ดังกล่าวยังทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์เพื่อการตรวจสอบและรายงานผลอีกด้วย และในการตัดสินใจเปิด-ปิดปั้มน้ำ

ผู้วิจัยยังได้ออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy controller) โดยได้ทำการออกแบบทั้งหมด 2 ระบบคือ ระบบควบคุมที่มี 3 อินพุต และ 2 อินพุตตามลำดับ จากการทดสอบและการจำลองผลเบื้องต้นโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดค่าสถานะแวดล้อมต่าง ๆ และการบันทึกข้อมูลของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ติดตั้งในบริเวณแปลงมันสำปะหลังของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีพบว่า การสร้างระบบควบคุมแบบฟัซซีที่มี 3 อินพุตทำให้ระบบมีการทำงานที่ซับซ้อนโดยมีเงื่อนไขถึง 45 ฐานกฎซึ่งทำให้ยากต่อการออกแบบและทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรต่าง ๆ ในระบบ ส่วนระบบควบคุมแบบฟัซซีที่มี 2 อินพุตนั้น ผู้วิจัยออกแบบให้ระบบมีเงื่อนไขการทำงานเพียง 6 ฐานกฎ ทำให้สามารถทำการออกแบบได้ง่ายกว่าและระบบมีการทำงานที่ซับซ้อนน้อยกว่า ขณะเดียวกันก็ให้ผลการควบคุมที่แม่นยำในลักษณะที่เพียงพอต่อการใช้งาน

ผลจากการจำลองการทำงานที่นำเสนอข้างต้นได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของอัลกอริทึมและความเป็นไปได้ในการประยุกต์เพื่อการใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่สร้างขึ้นดังกล่าวนี้จะต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นก่อนที่จะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป

4.2 แนวทางในการวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต

- 1.) การปรับปรุงเงื่อนไขในการควบคุมของพีชซีตามสภาพการใช้งานจริงหรือตามชนิดของพีช
- 2.) การออกแบบและพัฒนาเซนเซอร์เพื่อการตรวจวัดในทางเกษตรกรรมแทนการใช้เซนเซอร์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากโรงงาน จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้อย่างมาก
- 3.) การออกแบบระบบควบคุมการใช้น้ำผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จะทำให้เกษตรกรสามารถเฝ้าระวังและติดตามค่าสถานะแวดล้อมของพื้นที่เกษตรกรรม ตลอดจนสามารถควบคุมการให้น้ำแก่พืชได้จากทุกแห่งที่มีอินเทอร์เน็ตใช้งาน



บรรณานุกรม

- [1] 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.
- [2] X. Chen, K. Makki, K. Yen, and N. Pissinou, "Sensor Network Security: A Survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, No. 2, 2009.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] K. M. Al-Aubidy, M. M. Ali, A. M. Derbas and A. W. Al-Mutairi, "Real-time Monitoring and Intelligent Control for Greenhouses Based on Wireless Sensor Network," In Proc. 2014 International Conference on Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), Vol. 1, pp. 1-7, Feb. 2014.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Available from: http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT1x_Datasheet_V5.pdf